

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

**DISSERTAÇÃO**

**Qualidade da adesão de juntas coladas expostas a  
condições de serviço externo e interno**

**Delanie Lima da Costa Tienne**

**2006**



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

**QUALIDADE DA ADESÃO DE JUNTAS COLADAS EXPOSTAS A  
CONDIÇÕES DE SERVIÇO EXTERNO E INTERNO**

**DELANIE LIMA DA COSTA TIENNE**

*Sob a orientação do Professor*  
**Alexandre Miguel do Nascimento**

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

Seropédica, RJ  
Março de 2006

668.38

T562q

T

Tienne, Delanie Lima da Costa, 1981-  
Qualidade da adesão de juntas coladas  
expostas a condições de serviço externo e  
interno / delanie Lima da Costa Tienne. -  
2006.  
68f. : il.

Orientador: Alexandre Miguel do  
Nascimento.

Dissertação (mestrado) - Universidade  
Federal Rural do Rio de Janeiro, Instituto  
de Florestas.

Bibliografia: f. 47-51.

1. Adesivos - Teses. 2. Madeira -  
Juntas - Teses. 3. Madeira - Testes -  
Teses. 4. Taninos - Teses. I. Nascimento,  
Alexandre Miguel do, 1961- II.  
Universidade Federal Rural do Rio de  
Janeiro. Instituto de Florestas. III.  
*Título.*

Bibliotecário: \_\_\_\_\_

Data: \_\_\_ / \_\_\_ / \_\_\_

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

**DELANIE LIMA DA COSTA TIENNE**

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

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 30/03/2006

---

Alexandre Miguel do Nascimento. Prof. Dr. UFRRJ  
(Orientador)

---

Fabio Akira Mori. Prof. Dr. UFLA

---

Roberto Carlos Costa Lelis. Prof. Dr. UFRRJ

## **Dedicatória**

Aos meus pais, a minha irmã, ao  
meu esposo e aos amigos,  
Dedico.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus em primeiro lugar, pela força para enfrentar todos os momentos.

Ao meu esposo Leonardo Tienne pelo companheirismo e compreensão.

Aos meus pais Nilton e Fatima e a minha irmã Delisie que mesmo de longe torciam por esse trabalho.

Ao meu orientador Professor Alexandre Miguel do Nascimento pela sabedoria demonstrada durante todos os anos que trabalhamos juntos.

Aos amigos Daniele Andrade e Igor B. Rubim que estiveram presentes nos principais momentos desta dissertação e aos amigos Henrique Trevisan, Julio e Carol que me ajudaram em alguns momentos de sufoco.

Aos funcionários da marcenaria, DPF, queimadinho e IF, pela atenção demonstrada.

A FLONA Mario Xavier, ao Sr. Chain e ao Sr. Jair que liberaram a furadeira de bancada para confecção dos corpos de tração e pela atenção nos dada.

Agradeço também a Borden Química e a TANAC adesivos, pela doação dos adesivos para os experimentos.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de pesquisa concedida.

## LISTA DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| <b>Figura 1:</b> Material selecionado e descartado pela presença de medula e nós, executada no DPF/IF/UFRRJ. ....   | 15 |
| <b>Figura 2:</b> Prensagem das juntas, realizada no DPF/IF/UFRRJ.....   | 16 |
| <b>Figura 3:</b> Esquema do Corpo-de-prova de tração segundo ABNT-NBR 7190.....   | 17 |
| <b>Figura 4:</b> Esquema do Corpo de prova segundo a norma da ASTM D-905. ....  | 18 |
| <b>Figura 5:</b> Esquema dos corpos-de-prova de madeira sólida para teste de cisalhamento segundo a norma ASTM D-143.....   | 18 |
| <b>Figura 6:</b> Corpos-de-prova de pinus para teste de delaminação segundo a norma da ASTM D-1101.....   | 20 |
| <b>Figura 7:</b> Comparação entre médias pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade para madeira quaruba no teste de tração.....   | 22 |
| <b>Figura 8:</b> Comparação entre médias da interação Adesivo-Metanol pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade para madeira quaruba no teste de tração. ....   | 23 |
| <b>Figura 9:</b> Comparação entre médias da interação tripla Adesivo-Temperatura-Metanol pelo teste de Tukey ao nível de 5% de confiança para madeira quaruba no teste de cisalhamento antes do ciclo de exposição..... | 27 |
| <b>Figura 10:</b> Comparação entre médias da interação dupla Adesivo-Temperatura pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade para madeira quaruba depois do ciclo de exposição no teste de cisalhamento.....    | 28 |
| <b>Figura 11:</b> Comparação entre médias da interação Adesivo-Metanol pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade para madeira quaruba após o ciclo de intemperismo no teste de cisalhamento.....              | 29 |
| <b>Figura 12:</b> Comparação entre médias da interação dupla Temperatura-Metanol pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade para madeira quaruba após o ciclo de exposição no teste de cisalhamento.....       | 30 |
| <b>Figura 13:</b> Médias de porcentagem de falha na madeira quaruba para teste de cisalhamento antes do ciclo de exposição.....   | 31 |
| <b>Figura 14:</b> Médias de porcentagem de falha no teste de cisalhamento após exposição para madeira Quaruba. ....   | 31 |
| <b>Figura 15:</b> Porcentagem de variação de resistência da madeira quaruba após o ciclo de exposição. ....   | 32 |
| <b>Figura 16:</b> Comparação entre as médias de porcentagem de delaminação com a norma ASTM D-2559 para Quaruba. ....   | 34 |
| <b>Figura 17:</b> Comparação entre médias da interação tripla Adesivo-Temperatura-Metanol pelo teste de Tukey ao nível de 5% de confiança para madeira de pinus para o teste de cisalhamento. ....                      | 38 |
| <b>Figura 18:</b> Comparação entre médias da interação Adesivo-Temperatura pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade para madeira de pinus no teste após o ciclo de exposição. ....                           | 39 |

|  |    |
|--|----|
| <b>Figura 19:</b> Comparação entre médias da interação Adesivo-Metanol pelo teste de Duncan ao nível 5% de probabilidade para madeira de pinus no teste de cisalhamento após o ciclo de exposição..... | 40 |
| <b>Figura 20:</b> Comparação entre médias da interação Temperatura-Metanol pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade para madeira de pinus após o ciclo de exposição. ....                   | 41 |
| <b>Figura 21:</b> Médias de porcentagem de Falha no teste de cisalhamento antes do ciclo de exposição na madeira de pinus. ....  | 42 |
| <b>Figura 22:</b> Médias de porcentagem de falha no teste de cisalhamento após o ciclo de exposição na madeira de pinus. ....  | 43 |
| <b>Figura 23:</b> Médias das porcentagens de variação de resistência após o ciclo de exposição na madeira pinus. ....  | 44 |
| <b>Figura 24:</b> Médias de porcentagem de delaminação e comparação com a norma ASTM D-2559 para madeira de pinus. ....  | 45 |



## LISTA DE TABELAS

|   |    |
|---|----|
| <b>Tabela 1:</b> Condições ambientais simuladas (possíveis condições de serviço) para as amostras que foram testadas ao cisalhamento. ....  | 19 |
| <b>Tabela 2:</b> Resumo das médias das juntas coladas e madeira sólida da resistência a tração normal e massa específica da madeira quaruba. ....   | 21 |
| <b>Tabela 3:</b> Análise qualitativa das juntas coladas da madeira quaruba no teste de tração normal. ....  | 24 |
| <b>Tabela 4:</b> Médias de resistência, teor de umidade, e massa específica a 12 e a 0% da madeira Quaruba no teste de cisalhamento na compressão paralela as fibras antes da exposição. .... | 25 |
| <b>Tabela 5:</b> Médias de resistência a tração normal e massa específica aparente a 12% de umidade relativa. ....  | 35 |
| <b>Tabela 6:</b> Análise qualitativa das juntas coladas da madeira de pinus na tração normal as fibras. ....  | 36 |
| <b>Tabela 7:</b> Médias de resistência, porcentagem de falha, teor de umidade, e massa específica a 12 e a 0% da madeira Pinus no teste de cisalhamento antes e após exposição. ....          | 37 |

## SUMÁRIO

|  |    |
|--|----|
| 1 . INTRODUÇÃO .....   | 1  |
| 2. REVISÃO DE LITERATURA.....  | 2  |
| 2.1. Adesivos.....   | 2  |
| 2.1.1. Princípios básicos da colagem.....  | 2  |
| 2.1.2. Propriedades dos adesivos Resorcinol e Tanino Formaldeído.....  | 3  |
| 2.2. Fatores Relativos a Adesão da Madeira.....  | 5  |
| 2.2.1. Massa específica da madeira .....   | 5  |
| 2.2.2. Porosidade e permeabilidade.....  | 6  |
| 2.2.3. Teor de umidade .....   | 7  |
| 2.2.4. Extrativos e pH.....  | 8  |
| 2.2.5. Rugosidade da superfície .....  | 8  |
| 2.2.6. Temperatura da colagem.....   | 9  |
| 2.2.7. Pressão de colagem.....   | 9  |
| 2.2.8. Tempo de exposição a condições severas e intemperismo .....   | 10 |
| 2.3. Espécies de madeira.....  | 11 |
| 2.3.1. Pinus.....  | 11 |
| 2.3.2. Quaruba .....   | 13 |
| 3. MATERIAL E MÉTODOS.....   | 14 |
| 3.1. Preparação do Material.....   | 14 |
| 3.1.1. Secagem, usinagem e aclimatização da madeira.....   | 14 |
| 3.1.3. Seleção do material.....  | 14 |
| 3.1.4. Preparação e aplicação dos adesivos .....   | 15 |
| 3.2 . Confecção e Teste dos Corpos-de-prova .....  | 16 |
| 3.2.1. Resistência a Tração normal.....  | 16 |
| 3.2.2. Resistência ao cisalhamento na compressão .....   | 17 |
| 3.3. Exposição ao ciclo acelerado das condições de serviços externos – simulação de<br>intemperismo.....                                       | 19 |
| 3.3.1. Resistência ao cisalhamento na linha de cola expostas em condições simuladas<br>de serviço externo.....                                 | 19 |
| 3.4. Teste de delaminação.....   | 19 |
| 3.5. Análise dos Resultados .....  | 20 |
| 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....  | 21 |
| 4.1. Quaruba.....  | 21 |
| 4.1.1. Resistência a tração normal.....  | 21 |
| 4.1.2. Resistência ao cisalhamento na compressão paralela às fibras antes e após<br>exposição à condições simuladas de serviços externos ..... | 24 |
| 4.2 Pinus .....  | 34 |
| 4.2.1 Resistência à tração normal.....   | 34 |
| 4.2.2. Resistência ao cisalhamento na compressão paralela as fibras antes e após<br>exposição a condições simuladas de serviços externos.....  | 36 |
| 5. CONCLUSÕES .....  | 46 |

|                                     |    |
|-------------------------------------|----|
| 6. RECOMENDAÇÕES.....               | 46 |
| 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS ..... | 47 |
| ANEXOS .....                        | 52 |

## RESUMO

COSTA TIENNE, Delanie Lima. **Qualidade da adesão de juntas coladas expostas a condições de serviço externo e interno.** 2006. 55p. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais). Instituto de Florestas, Departamento de Produtos Florestais, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2006.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a qualidade e a resistência das juntas coladas antes e após condições simuladas de serviço externo. As madeiras quaruba e pinus foram coladas com os adesivos resorcinol, resorcinol com 10% de tanino e resorcinol com 20% de tanino, colados nas temperaturas de 25°C e 60°C, sem metanol e com 10% de metanol. Realizou-se testes de resistência à tração normal e ao cisalhamento antes e após a exposição. Com os melhores tratamentos encontrados no teste de cisalhamento foi realizado o teste de delaminação das juntas coladas. As duas madeiras apresentam restrições na resistência à tração normal, sendo necessário o uso de dispositivos para evitar ruptura caso seja necessário. Em ambas as madeiras após intemperismo à temperatura de 25°C apresentou melhores resultados. O metanol melhorou o processo de colagem a 60°C. O adesivo resorcinol quando usado para colagem do pinus não apresentou diferença de resistência entre as temperaturas ambiente e a 60°C tanto com quanto sem metanol, mas quando foi usado na madeira quaruba ele teve uma menor resistência a 60°C. Os adesivos com tanino na composição apresentaram melhores resultados sem metanol nas duas temperaturas e com metanol a 60°C. As composições coladas com pinus apresentaram resultados aceitáveis pelo teste de delaminação, porém a madeira quaruba apresentou níveis muito altos de delaminação.

**Palavras chave:** Resorcinol, Tanino, Temperatura, Metanol, Serviços Externos

## ABSTRACT

COSTA TIENNE, Delanie Lima. **Adhesion quality of glued joints exposed to exterior and interior service conditions.** 2006. 55p. Dissertation (Master Science in Environmental and Forest Science). Instituto de Florestas, Departamento de Produtos Florestais, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2006.

The present paper had as objective to test the glued joints quality and strength before and after simulated exterior exposure conditions. The woods quaruba and pinus were glued with the Adhesives resorcinol, resorcinol with 10% de tannin and resorcinol with 20% de tannin were used in the 25°C e 60°C temperature, with 10% of methanol and without methanol. The strength tension perpendicular to grain and shear before and after exposure tests was made and with the better results of the shear strength tests was did a delaminating test in the glued joints. The two wood species presented restriction on tension perpendicular to grain strength, been necessary the device use to prevent the structure break. In both woods before and after exposure the 25°C temperature presented better results. Methanol improves de strength at the 60°C glued. The resorcinol adhesive when glued in pinus wood didn't presented significant differences between with and without heat and methanol, when was used in the quaruba wood the adhesive had a lower strength at 60°C. The adhesives with tannin in the composition presented better results without methanol in bath temperatures and with methanol at 60°C. The compositions glued in Pinus shown results acceptable in the delaminating test, but in the quaruba wood these results presented very high percentage.

**Key Words:** Resorcinol, Tannin, Temperature, Methanol, External Services

## 1 . INTRODUÇÃO

A cada ano fica mais difícil encontrar peças de madeiras consideradas nobres, principalmente de grandes dimensões. Com isso o uso de painéis de madeira reconstituída vem aumentando e também o número de pesquisas relacionadas com a colagem da madeira. Os pesquisadores têm o desafio de procurar além de espécies alternativas, adequar os adesivos comerciais para essas espécies.

Grande parte do interesse pela madeira colada advém do fato de que ela viabiliza a utilização de madeiras de reflorestamento de rápido crescimento, e madeiras de massa específica baixa a média que, na confecção do painel, confere rigidez suficiente para aplicação estrutural e são capazes de cobrir grandes vãos e possuir grandes resistências com pequeno peso próprio, o que nem sempre se pode conseguir com o concreto e o aço, materiais muito mais densos.

A colagem da madeira apesar de ser uma prática muito antiga não é tão simples considerando que existem muitas variáveis envolvidas. Segundo SZÜCS (2004) as variáveis vão desde a característica da cola, ao processamento da madeira até a influência do ambiente na estrutura colada.

A resistência do adesivo está diretamente ligada a sua compatibilidade com o aderente, no caso a madeira, os fatores ligados a anatomia e características químicas podem prejudicar essa relação. MELO & CARRASCO (2004) recomendam que alguns cuidados também devem ser tomados como a preparação dos aderentes antes da aplicação do adesivo, a condição física e aplicação dos adesivos, tentando diminuir a influência desses fatores.

A maior parte dos adesivos estruturais desenvolvidos no mundo são para madeira de coníferas e não para madeira de folhosas. Algumas pesquisas têm buscado ampliar a utilização destas madeiras, otimizando a qualidade de adesão entre os adesivos tradicionais, por meio de novas formulações de adesivos e madeiras alternativas (BOHN, 1995; ZANGIÁCOMO & ROCCO LAHR, 2002; NASCIMENTO et al., 2002; ZANGIÁCOMO, 2003).

Para uma escolha adequada do tipo de adesivo deve-se levar em consideração quais as condições a que ele será exposto. Os fatores ambientais que mais influenciam na ligação adesiva são a temperatura e a umidade, esse fato está em acordo ao que foi mencionado na FOREST PRODUCTS LABORATORY (1999) que ainda reforça que a escolha da cola está diretamente ligada a posição da peça; se ela estará abrigada no interior da edificação ou exposta à variação das condições atmosféricas, como alternância de sol e chuva.

O adesivo à base de resorcinol, que é um dos mais utilizados para estruturas, apesar de garantir uma boa ligação com elevada resistência mecânica e a ação do tempo, da água e da temperatura, apresenta seu custo como um fator desfavorável, chegando a representar cerca de 30% do custo total da madeira laminada colada. MELO & CARRASCO (2004) citam que esse fato torna a madeira laminada colada um material pouco competitivo quando comparado a outros como o aço e o concreto.

Por causa do alto custo do adesivo resorcinol, algumas formulações têm surgido buscando tornar o seu uso mais viável tanto através de diluições (SZÜCS et al., 1998; NASCIMENTO et al., 2002) quanto através de misturas com outros adesivos de menor custo (VRAZEL, 2002 ; GRIGSBY & WARNES, 2004).

O adesivo a base de tanino é uma opção de adesivo existente no mercado e tem sido cada vez mais utilizado, porque além de possuir um apelo ambiental relevante, devido à extração geralmente realizada a partir do aproveitamento de resíduos como cascas, aliado ao menor preço, quando comparado aos demais adesivos estruturais. Segundo PIZZI (1994) e GRIGSBY & WARNES (2004) combinando o tanino ao resorcinol tendo o paraformaldeído

como endurecedor este apresenta uma alta resistência mecânica na colagem e às variações de temperatura e umidade.

Diversas formulações de adesivos têm sido desenvolvidas, mas no Brasil são escassos os trabalhos com o objetivo de testar a resistência do material às condições de intemperismo. Neste contexto, o presente trabalho visa contribuir com informações sobre a resistência dos adesivos resorcinol e resorcinol-tanino utilizados para colagem das espécies pinus (*Pinus* sp.) e Quaruba (*Vochysia* spp.) antes e após exposição a condições simuladas de serviço externo e teve como objetivos:

- ✓ Verificar a qualidade da adesão e da integridade da junta em duas madeiras comerciais coladas com adesivo resorcinol e sua mistura com adesivo à base de tanino;
- ✓ Verificar o efeito da temperatura e presença de metanol na qualidade da adesão nesses adesivos;
- ✓ Verificar a resistência da linha de cola antes e depois das amostras, coladas com os diferentes adesivos, serem expostas às condições de intemperismo.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. Adesivos

Os adesivos de madeira são utilizados pelo homem durante muitos séculos e vem sendo aprimorados a cada ano a medida em que o número de pesquisas vão aumentando, principalmente em relação ao progresso da química.

A primeira fábrica de adesivos de origem animal foi fundada na Holanda em 1690 e posteriormente na Grã Bretanha em 1700 e nos Estados Unidos em 1808 (TSOUMIS, 1991).

O primeiro adesivo estrutural de grande importância foi a caseína que deu origem a técnica do laminado colado substituindo as braçadeiras metálicas utilizadas no século XIX na Europa. A madeira laminada colada chegou no continente americano na década de 30 e no Brasil em 1934. Com o aparecimento das colas sintéticas o sistema laminado teve grande sucesso que continua desde então (GROHMANN, 1998).

O primeiro adesivo sintético desenvolvido foi a fenol-formaldeído que surgiu em 1929, seguida de uréia-formaldeído em 1931, melanina-formaldeído no final dos anos 30 e a resorcina-formaldeído em 1943. Foi acompanhado também o surgimento dos adesivos termoplásticos como por exemplo, o acetato polivinílico entre outros (TSOUMIS, 1991).

#### 2.1.1. Princípios básicos da colagem

O adesivo é uma substância capaz de manter unidos outros materiais em sua superfície. Estes materiais são chamados de aderentes ou substratos que é um termo usado para sólidos unidos por adesivos, tais como a madeira e são interligados através da adesão, sendo este um fenômeno físico-químico.

O processo de colagem da madeira se inicia com o espalhamento do adesivo sobre a superfície do substrato, iniciando as fases de movimento e se finaliza com a sua solidificação, formando o ancoramento ou ganchos entre duas peças coladas. O grau de adesão depende da intensidade de cada elo de ligação, ou seja, dos aderentes, do adesivo e das interfaces (SCHULTZ & NARDIN, 1994).

Na verdade, o termo adesão cobre uma alta variedade de conceitos e idéias, dependendo se o assunto abordado parte de um ponto de vista molecular, microscópico, ou

macroscópico ou se falamos sobre a formação da interface ou da falha do sistema formado. O termo adesão é ambíguo, significando tanto o estabelecimento das interfaces coladas como a carga mecânica requerida para quebrar a união (SCHULTZ & NARDIN, 1994).

A adesão faz com que ocorra a sorção que pode ser considerada como, a adsorção sobre uma superfície e a absorção dentro de uma camada superficial. E atribui-se a adesão diferentes forças atuantes, como, forças moleculares eletrostáticas, forças de Van der Waal e ligações covalentes (FOREST PRODUCTS LABORATORY, 1999).

Os mecanismos de processo de adesão podem ser explicados por algumas teorias. A Teoria da adesão mecânica, parte de uma chave mecânica, ou ancoramento, do adesivo dentro de cavidades, poros e asperezas da superfície para ser o principal fator determinante da resistência adesiva. Na maioria dos casos, o aumento da adesão pela ligação mecânica pode ser atribuído simplesmente ao aumento da área interfacial devido a rugosidade da superfície e no quanto as características do substrato iram permitir a penetração do adesivo nos poros e cavidades (SCHULTZ & NARDIN, 1994).

A Teoria da difusão de polímeros admite que a adesão ocorre através da difusão de segmentos de cadeias de polímeros a nível molecular através da interface, que permite conseqüentemente uma absorção gradual. Tal mecanismo pressupõe que correntes moleculares ou elos de correntes são suficientemente móveis e mutuamente solúveis. Este fato é de grande importância para muitos problemas da adesão, tal como nos processos de penetração e solidificação. Portanto, se o fenômeno da interdifusão está envolvido, a resistência da junta irá depender de diferentes fatores, como tempo de contato, temperatura, natureza e peso molecular dos polímeros (SCHULTZ & NARDIN, 1994).

Na Teoria da adesão química, a adesão ocorre através de ligações primárias iônicas ou covalentes, e/ou por forças intermoleculares secundárias. Os termos primário e secundário originam-se da resistência relativa ou energia de colagem de cada tipo de interação, por exemplo, a força de uma ligação covalente geralmente encontra-se entre 100 a 1000kJ/mol. enquanto que a ligação de Van der Waals e pontes de hidrogênio não passam de 50kJ/mol. A formação da ligação química depende da reatividade entre o adesivo e o substrato (SCHULTZ & NARDIN, 1994).

Adesão é um campo muito complexo além do alcance de qualquer modelo ou teoria. Dado o número de fenômenos envolvendo a adesão, a variedade dos materiais a serem colados, e a diversidade de condições de colagem, a procura por uma única, teoria universal capaz de explicar todos os fatos experimentais é inútil. Na prática, diversos mecanismos de adesão podem ocorrer simultaneamente (SCHULTZ & NARDIN, 1994).

### **2.1.2. Propriedades dos adesivos Resorcinol e Tanino Formaldeído**

O adesivo resorcinol é um adesivo considerado de cura a frio e é usado principalmente na fabricação de laminados colados estruturais, emendas denteadas e outras estruturas para uso exterior feitas em madeira. Ele produz não só ligações de altas resistências mecânicas mas também é resistente a água e a variações climáticas (PIZZI, 1994).

O adesivo resorcinol formaldeído é quimicamente semelhante ao fenol formaldeído, porém tem um peso molecular menor (SELLERS, 1994). A diferença desses adesivos está no anel benzeno do adesivo resorcinol que apresenta uma hidroxila localizada na posição 1 e outra na posição 3, isto faz com que o adesivo resorcinol seja de 12 a 15 vezes mais reativo que o adesivo fenol formaldeído. A cura dos adesivos fenol e resorcinol é obtida a partir da ligação desses grupos com o formaldeído. Quando o adesivo é feito sob condições alcalinas com excesso de formaldeído é formado o adesivo do tipo resol. Quando o adesivo é formado em condições ácidas com excesso de adesivo é formado o novolak. A forma novolak tem estrutura linear e termoplástica, mas o adesivo pode vir a ter estrutura ramificada e termofixa



pela adição de mais catalizador, isto é formaldeído. O Resorcinol reage rapidamente com o formaldeído para produzir uma resina do tipo novolak, o qual endurece em temperatura ambiente quando o formaldeído é adicionado (PIZZI, 1994). A hidroxila adicional no resorcinol faz com que a reação com o formaldeído seja mais rápida e apresente uma ligação melhor do que o fenol formaldeído, esta ligação faz com que o resorcinol formaldeído tenha uma alta durabilidade a ambientes externos (DRESSLER, 1994).

O metanol e o etanol diminuem a velocidade de reação. Outros álcoois agem similarmente, a extensão de seus efeitos dependem da sua estrutura. O metanol aumenta o tempo de gel mais do que outros álcoois; álcoois com estruturas moleculares maiores são bem menos efetivos. O retardo ocorre pela formação de hemiformóis entre os álcoois e o formaldeído. Esta redução de reação causa uma menor concentração de formaldeído disponível. Na manufatura de adesivos resorcinolicos puros, a reação pode ser violentamente exotérmica a menos que seja controlada pela adição dos álcoois e por causa da performance dos álcoois eles também podem ser úteis nas misturas dos adesivos (PIZZI, 1994).

Esse fato está de acordo com o encontrado por COSTA et al. (2002) que misturam o adesivo resorcinol formadeido com fenol formaldeído e com tanino formaldeído nas temperaturas 30°C e 60°C na presença e ausência de metanol, e puderam observar que o tempo de formação de gel das formulações feitas na presença de metanol, principalmente na temperatura 30°C, foi maior que nas formulações feitas na ausência do metanol. Isso mostrou que para a colagem principalmente de espécies de alta massa específica (maior que 0,8g/cm<sup>3</sup>) e que apresentam maior dificuldade de absorção do adesivo a colagem com metanol parece ser mais interessante.

Devido o alto custo do adesivo resorcinol ele vem sendo misturado com outros adesivo de custo inferior como por exemplo os taninos (PIZZI, 1983, 1994; GORNIK et al.,2000; GRIGSBY & WARNES, 2004).

O termo tanino é usado de forma ineficiente para definir as duas classes químicas compostas principalmente por fenóis. Os taninos podem ser divididos em hidrolisáveis e condensáveis. Os primeiros são ésteres glicosídicos do ácido gálico (m-digálico), ou hexadroxidibenzóico ou por outros polióis (DRESSLER, 1994). Tais ésteres são facilmente hidrolisados, originando o termo pertinente taninos hidrolisáveis. Assim como o pirogalol, os taninos hidrolisáveis constituem-se em fenóis simples, esterificados com açúcares, sofrendo hidrólise ácida, alcalina ou enzimática (PIZZI,1983).

Os taninos condensáveis são formados por unidades de flavonóides os quais sofrem uma transformação em vários graus de condensação, constituem mais de 90% da produção mundial de tanino, e são quimicamente e economicamente mais interessantes para a preparação de adesivos e resinas. Taninos condensados e seus precursores,os flavonóides, são conhecidos pela sua larga distribuição na natureza e por sua substancial concentração na madeira e na casca de várias árvores (PIZZI, 1994).

Na casca de algumas espécies a concentração de tanino pode chegar até a 40%, permitindo assim sua exploração comercial (PASTORE JÚNIOR, 1977). Os taninos são substâncias que aparecem em quase todas as plantas superiores em diferentes quantidades e 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 balancae* Engl.) o teor de tanino varia de 30% a 35% (ROFFAEL & DIX, 1994).

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



células e a fração parede celular. Quanto mais denso é um determinado material menor é o volume de vazios existentes e maior é a quantidade do material parede celular, ou seja, madeiras mais porosas possuem uma massa específica mais baixa que madeira menos porosas. A massa específica da parede celular, desconsiderando os vazios existentes, está em torno de  $1,5 \text{ g/cm}^3$ , enquanto que a massa específica da madeira oscila entre  $0,2 \text{ g/cm}^3$  (BASSET, 1960) até  $1,1 \text{ g/cm}^3$  (FOREST PRODUCTS LABORATORY, 1999).

O aumento da massa específica tende a aumentar a resistência da linha adesiva. Isto é verdadeiro até uma faixa de massa específica de  $0,7$  e  $0,8 \text{ g/cm}^3$ . A partir deste ponto existe uma tendência de diminuir a resistência à ligação colada. A percentagem de falhas que ocorrem em ensaios de cisalhamento, é inversamente proporcional a massa específica da madeira (FOREST PRODUCTS LABORATORY, 1999).

As madeiras de massa específicas elevadas possuem um maior grau de dificuldade de adesão. Uma das razões é que este tipo de madeira possui menos espaços vazios (poros) e isto dificulta a penetração do adesivo no interior da madeira diminuindo assim o ancoramento feito pelo adesivo gerando um pequeno percentual da adesão mecânica. Por isso poucos ganchos de ancoramento são produzidos normalmente a profundidade destes não ultrapassa duas camadas de células (FOREST PRODUCTS LABORATORY, 1999).

Segundo a mesma instituição, outro motivo é que na fase de aplicação da pressão para gerar um contato íntimo entre o adesivo e as duas camadas de aderentes, as peças de madeira de massa específica elevada não aceitam, completamente, a conformação dada pelo sistema de prensagem, gerando assim, muitas vezes, um pobre contato íntimo entre as peças a serem coladas. E por fim as madeiras de mais alta massa específica são aquelas que possuem, normalmente, as maiores concentrações de extrativos que afetam a cura do adesivo, como por exemplo, os carvalhos e muitas das madeiras tropicais.

Algumas pesquisas confirmam essa influência da massa específica na qualidade da adesão e mostram a diferença da colagem de madeiras de coníferas e folhosas.

VAN RENSBURG et al., (1987) estudou a adesividade de emendas para madeira de *Pinus* spp e *Eucalyptus grandis* usando adesivo resorcinol e epóxi. Ficou claro que, para madeira de eucalipto, com o aumento da massa específica há uma diminuição exponencial da percentagem de falha na linha de cola (para adesivo resorcinol), fator este indesejável. E as emendas ligadas com adesivo epóxi tiveram um melhor desempenho na resistência, variando positivamente em função da massa específica.

NASCIMENTO et al. (2002) estudando resistência ao cisalhamento da linha de cola das espécies *Pinus* spp e *Corymbia citriodora*, ou seja, espécies de baixa e alta massa específica respectivamente, constatou que para ambas as espécies a resistência da linha de cola ultrapassou a resistência da madeira sólida, porém para o eucalipto a porcentagem de falha foi muito baixa não atingindo os valores estabelecidos pela norma da ASTM D-3110.

Segundo ZANGIACOMO (2003), a indicação de uma determinada espécie para a produção de elementos estruturais de madeira laminada colada com base apenas na sua massa específica poderá levar a resultados extremamente negativos, pois tão importante quanto a massa específica é a permeabilidade da espécie em relação aos adesivos disponíveis comercialmente.

### 2.2.2. Porosidade e permeabilidade

A porosidade pode ser considerada como o inverso da massa específica, madeiras mais densas possuem menos poros ou poros de menor tamanho, além disso, geralmente madeiras com maior massa específica costumam apresentar tilos ou impregnações por extrativos diminuindo assim a sua permeabilidade.

Permeabilidade é o termo usado para indicar a taxa de fluxo de gases e fluidos na madeira. A permeabilidade esta relacionada com o tamanho das passagens disponíveis para o fluir do líquido ou gás. A permeabilidade lateral (plano radial e tangencial) é muito menor que na direção longitudinal devido ao grande número de cavidades expostas. A permeabilidade longitudinal pode ser 1000 a 100000 vezes maior que os valores transversais. A diferença entre a permeabilidade do plano radial e tangencial é levemente positiva (PANSHIN & DE ZEEUW, 1980).

A porosidade e a permeabilidade afetam grandemente a adesão. A adesão mecânica depende principalmente da disposição de espaços vazios para que haja uma penetração do adesivo dentro da madeira e que estes espaços estejam desbloqueados, permitindo assim, depois da cura, uma fixação do adesivo por ancoramento. Penetração excessiva em maiores profundidades pode gerar uma ligação fraca. Isto pode explicar parcialmente os baixos valores encontrados da resistência de emenda de topo, onde existe um grande número de vazios. Isto permite uma penetração excessiva do adesivo, que gera fracas ligações (BASSET, 1960; SASSAKI & MCARTHUR, 1972; SASSAKI et al., 1973; PIZZI, 1994; NORDSTROM, 1995)

Nas angiospermas, a presença ou não de substâncias obstrutoras, como gomo-resinas e tilos, possuem uma importância significativa no grau de permeabilidade da madeira (BURGER & RICHTER, 1991).

Pode-se observar que, um adesivo parece precisar de propriedades mutuamente exclusivas, a fim de funcionar em madeiras como red oak (*Quercus rubra*) e Southern pine (*Pinus* sp.), onde a porosidade e massa específicas máximas ocorrem dentro de um espaço milimétrico, em superfícies da mesma peça de madeira. Tais diferenças são responsáveis por muito da variabilidade na qualidade da ligação nestas espécies. Já que o usuário do adesivo tem muito pouco controle sobre a variabilidade anatômica da madeira que está sendo colada, fica por conta do tecnologista de adesivos a formulação de um composto adesivo intermediário, pesquisando a utilização correta a fim de otimizar os resultados nos dois extremos de porosidade. Isto pode envolver, a princípio, composições que incorporem frações de menor mobilidade junto com frações de máxima mobilidade (MARRA, 1992).

Segundo ZANGIACOMO (2003), é preciso considerar a compatibilização entre a madeira e o adesivo, condicionada pela permeabilidade da espécie aos adesivos. E, por sua vez, a permeabilidade está associada não somente às particularidades anatômicas da espécie como também às características de viscosidade do adesivo.

O mesmo autor constatou este fato estudando a madeira cambará (*Moquinia polymorpha*), que segundo sua descrição possui poros pequenos, múltiplos e solitários, obstruídos por tilos e adesivos; essa espécie apresentou melhores resultados com o adesivo cascophen (resorcinol) por ser menos viscoso que com o adesivo a base de mamona que é um adesivo mais viscoso que o resorcinol.

### **2.2.3. Teor de umidade**

As faixas de umidade de melhor adesão para a madeira estão entre 6-14% e valores abaixo do valor inferior requerem uma formulação específica do adesivo.

Devido a estas possíveis tensões, a madeira normalmente é seca a uma umidade compatível com a sua condição de uso. Os adesivos rígidos, resorcinol, por exemplo, devido a pouca deformação sofrida, estes normalmente desenvolvem tensões mais elevadas na linha de cola e adjacência. Os adesivos mais dúcteis, devido a sua maior capacidade de deformação, como por exemplo os adesivos epóxi, trabalham melhor em linhas adesivas tencionadas resultando numa linha de cola com menos tensão (SKEIST, 1990; SASAKI et al., 1973; FOREST PRODUCTS LABORATORY, 1999; KOLLMANN et al., 1975).

PROPERZI et al. (2003), estudaram os efeitos da umidade da madeira beech (*Fagus sylvatica*) colada com os adesivos à base de poliuretano, de fenol-resorcinol-formaldeído e melanina-uréia-formaldeído, nos teores de umidade de 12% e 22%. Para 12% de umidade todos os adesivos alcançaram a resistência padrão em poucas horas de prensagem, para a colagem com teor de umidade de 22% a resistência aumentou de acordo com o tempo de prensagem, o adesivo a base de poliuretano chegou a resistência padrão mais rápido seguido pelo fenol-resorcinol e depois pela melanina-uréia-formaldeído. Foi necessário manter a prensagem até o equilíbrio com a umidade relativa do ar para evitar torções indesejáveis.

O mesmo autor afirma que o ocorrido demonstra que adesivos mais tradicionais não colam acima de 12-14% de umidade relativa, caso contrário eles necessitam ficar muito tempo na prensagem (de 4 a 7 dias) até que a umidade da madeira fique em equilíbrio com o ar.

Com intuito de diminuir a higroscopicidade, promover controle do teor de umidade da madeira e melhorar a qualidade da adesão, PINCELLI et al. (2002), promoveram tratamentos de termorreificação nas madeiras *Eucalyptus saligna* e *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, que é um processo de secagem em altas temperaturas, onde a temperatura é elevada gradualmente em uma taxa de aquecimento constante até chegar a uma temperatura geralmente acima de 100°C. Estes autores consideraram que nos processos usuais de colagem adotados na indústria madeireira/moveleira são indicados a realização da termorreificação.

#### **2.2.4. Extrativos e pH**

Quanto aos extrativos da madeira sua presença, quantidade e tipo afetam a adesão. Pesquisas têm mostrado que os extrativos na superfície da madeira são os principais contribuidores da inativação da superfície, gerando assim um pobre umedecimento do adesivo, especialmente em espécies resinosas como, por exemplo, o Pinus. Durante o processo da cura ou secagem que utiliza temperaturas elevadas, os extrativos tendem a migrar para a superfície onde eles se concentram e fisicamente bloqueiam o contato do adesivo com a madeira. Isto evita o ancoramento deste após a cura, gerando uma fraca ligação mecânica. Além disso, resinas e exudados oleosos são hidrofóbicos, ou seja repelem a água.

A maior parte dos adesivos para madeira usam a água como carreador. Isto gera problema de umedecimento, fluxo e penetração da superfície coberta pelo extrativo (SKEIST, 1990 e FOREST PRODUCTS LABORATORY, 1999).

Outra influência do extrativo se dá na alteração do pH da superfície da madeira. Quando os extrativos depositados na superfície são de caráter ácido estes podem interferir na cura de um adesivo alcalina (fenol formaldeído) acelerando assim uma polimerização prematura e reduzindo o umedecimento, fluxo e penetração do adesivo. O inverso também pode ocorrer caso utilize-se um adesivo de caráter ácido (uréia formaldeído), retardando assim a cura do adesivo.

Segundo PIZZI (1994) o adesivo resorcinol não apresenta problemas relacionado ao pH da superfície ele pode curar tanto em condições ácidas quanto básicas.

O adesivo a base de tanino segundo o mesmo autor tem sua reação ligada ao pH básico; quanto mais alta for a alcalinidade, maior é a sua reação com o formaldeído e menor o tempo de gel. Em função disso, para diminuir o tempo de reação é utilizado uma sulfitação que acidifica o adesivo.

#### **2.2.5. Rugosidade da superfície**

A textura da superfície da madeira varia de espécie para espécie, entre folhosas e coníferas. A condição da superfície é fundamental para uma boa ligação do adesivo. As

irregularidades de superfície da madeira são depressões e ondulações resultantes da perda de células e também pela danificação parcial ou total dos elementos anatômicos. Estas irregularidades de superfície são chamadas de rugosidade.

Superfícies paralelas e planas permitem que o adesivo flua livremente e formar uma camada uniformemente fina que é essencial ao melhor desempenho dos adesivos (FOREST PRODUCTS LABORATORY, 1999).

Uma condição ideal para adesão deve apresentar fator de rugosidade igual a 1 (COLLET, 1972). Fator de rugosidade igual a 1 não ocorre em superfície sólidas, e se refere a quantas vezes a área da superfície real (A) é maior que a área da superfície aparente (a) e é definida pela relação  $R = A/a$ .

Segundo SUCHSLAND citado por SOBRAL FILHO (1982) o fator de rugosidade para madeira varia entre 1,15 a 1,85.

### **2.2.6. Temperatura da colagem**

A temperatura de colagem é outro fator importante para a qualidade da colagem. A temperatura controla o tempo de cura e a viscosidade que diretamente afetam a capacidade do adesivo se espalhar e ser absorvido.

Os adesivos a base de resorcinol produzem uma boa adesão para temperaturas acima de 20 °C, nessa mesma temperatura aumenta a capacidade de absorção do adesivo em madeiras de baixa massa específica e a resistência ao intemperismo (PIZZI, 1994; FOREST PRODUCTS LABORATORY, 1999).

MORI et al. (2002) fizeram a análise cinética da cura de taninos por calorimetria diferencial exploratória (DSC) constataram que o adesivo à base de tanino de acácia negra apresentou um pico de cura a 126,09° e 216,2°C.

LABORSKY et al. (1993) mostraram que a temperatura da cura do adesivo, tempo de abertura das juntas antes da prensagem e as diferentes formulações de adesivos utilizadas, influenciaram substancialmente na resistência da linha de cola ao cisalhamento. A porcentagem de falha da madeira foi a mais afetada pelo aumento de temperatura, havendo uma relação direta entre temperatura e aumento de falha na madeira.

Esta melhoria da colagem, em função da temperatura, pode estar relacionada com a alteração da energia superficial da superfície a ser colada, o que altera o umedecimento desta camada (GUNNELLS et al., 1994). Estes autores mostraram que o ângulo de contato de um líquido com a superfície diminui gradativamente até uma temperatura de 60 °C.

Um estudo feito por VRAZEL (2002) com algumas misturas adesivas para espécies de baixa a alta dificuldade de colagem, mostrou que não houve diferença significativa na resistência do adesivo resorcinol na colagem em baixa e alta temperatura, a maior diferença foi observada nas composições adesivas feitas com poliuretano.

### **2.2.7. Pressão de colagem**

A pressão influencia na penetração do adesivo na madeira, pressões muito altas podem gerar uma movimentação excessiva do adesivo fazendo com que ele transborde para fora da junta colada, enquanto pressões muito baixas podem diminuir a penetração do adesivo pela madeira. A pressão de colagem também pode variar se segundo a massa específica da madeira. Algumas pesquisas podem comprovar este fato.

PETRAUSKI (1999) estudando diferentes níveis de pressão para madeira de *Eucalyptus grandis* mostrou uma relação entre o aumento de pressão e o melhoria na resistência e da porcentagem de falha na madeira e analisou que a pressão de colagem para

uma quantidade de adesivo próxima a 300 g/m<sup>2</sup> seria de 1,14 Mpa, mostrou também que a utilização de baixas pressões como 0,3 MPa é necessário um maior consumo de adesivo.

MANTILLA CARRASCO (1989), relata que o adesivo resorcinol apresenta uma resistência razoável na ausência de pressão, devido à sua maior fluidez e penetração nos poros da madeira, porém essa ausência de pressão pode ocasionar em uma menor penetração e uma camada mais espessa da linha adesiva. Por outro lado para pressões elevadas, ocorre penetração excessiva, diminuindo a sua resistência.

Segundo o mesmo autor para as espécies castanheira (*Bertholetia excelsa*), pinus (*Pinus elliottii*), pinho do paraná (*Araucária angustifolia*) e peroba rosa (*Aspidosperma polyneuron*) coladas com polivinila acetato (PVA) e resorcinol a pressão ideal de colagem variou entre 0,55 a 0,65 MPa.

JESUS et al. (2000), estudando resistência ao cisalhamento do adesivo à base de mamona em madeira de *Pinus caribea* var. hondurensis e *Eucalyptus grandis*, cuja massa específica aparente era de 0,50 g/cm<sup>3</sup> e 0,60 g/cm<sup>3</sup>, averiguou que os melhores resultados ocorreram nas menores pressões, 0,4 MPa para pinus e 0,6 MPa para eucalipto.

NASCIMENTO et al. (2002), tentando três níveis de pressão diferentes averiguaram que houve um aumento na resistência ao cisalhamento até a pressão de 1,0 Mpa; acima dessa pressão houve queda na resistência.

ZANGIÁCOMO & ROCCO LAHR (2002), testaram algumas madeiras tropicais alternativas para uso em madeira laminada colada, a Envira preta (*Xylopia sp*), o camará (*Erismia uncinatum*), a castanheira (*Bertholetia excelsa*) e o cedrinho (*Erismia sp*), com dois adesivos (resorcinol e um adesivo à base de mamona) e puderam concluir pela conveniência de se utilizar pressão de colagem 1,6 MPa na confecção dos corpos-de-prova para determinação da resistência das emendas à tração. Quando adotada a pressão de 0,8 MPa os resultados foram inferiores. Observou-se que os dois adesivos conduziram a resultados de resistência bastante próximos ao da madeira maciça, com alguma vantagem para o adesivo à base de mamona.

### **2.2.8. Tempo de exposição a condições severas e intemperismo**

Inicialmente, manter uma alta resistência da linha de cola é um processo relativamente fácil, porém, mantê-la a longo prazo exposta a condições ambientais severas é um processo mais difícil de se obter no meio prático.

A longo prazo, madeira, adesivos, e produtos colados deterioram a uma taxa determinada pelos níveis de temperatura, umidade, tensão e em alguns exemplos, por concentrações de certas substâncias químicas e a presença de microorganismos. O desempenho a longo prazo é comparado com a habilidade de um produto resistir a perda de uma propriedade mecânica medida sobre o tempo de exposição. Um produto durável é o que não mostra nenhuma perda maior de propriedades durante sua vida em serviço que madeiras das mesmas espécies e qualidade (FOREST PRODUCTS LABORATORY, 1999).

Para testar a durabilidade dos produtos colados existem diversos tipos de testes laboratoriais que simulam as condições ambientais de forma acelerada, porém segundo DINWOODIE (1983) a maioria deles infelizmente são puramente empíricos na natureza e não representam mais do que a exposição dos produtos repetidamente a condições severas de umidade, temperatura ou esforço mecânico. Contudo, eles parecem ser capazes de colocar o adesivo em algum tipo de classificação de performance, embora seja impossível estabelecer boas correlações entre a performance indicada nestes testes e a real performance em serviço.

Normalmente, o desempenho do produto é avaliado imediatamente depois da manufatura, sujeitando as amostras do produto a séries de ciclos de inchamento e retração. Os tratamentos são mais rigorosos para produtos pretendidos para exposição exterior. Por

exemplo, madeira compensada de conífera para exterior é sujeita a dois ciclos sob vapor e secagem, enquanto madeira compensada interior é sujeitada a um único ciclo de saturação e secagem a temperatura ambiente. Depois da exposição, as amostras são examinadas pela delaminação ou avaliada pela porcentagem de falha de madeira. (FOREST PRODUCTS LABORATORY, 1999).

Diversas pesquisas utilizam esses testes como forma de classificar e determinar o uso mais adequado para a junta colada.

LAUFENBERG (1982), testou o efeito da exposição na performance da madeira laminada de Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii*) colada com o adesivo fenol-resorcinol testando também a diferença entre a MLC e a madeira sólida serrada colada (SSL) e constatou que quanto a tração normal não houve diferença significativa entre os dois produtos e nem antes e depois da exposição. O SSL apresentou uma maior porcentagem de delaminação e no teste de cisalhamento seco o SSL foi mais resistente, porém, após a exposição esse resultado foi alterado.

OKKONEN & VICK (1998) testaram a delaminação, cisalhamento e porcentagem de falha em cedro amarelo colado (*Chamaecyparis nootkatensis*) com fenol-resorcinol e resorcinol hidroximetilado. Os resultados para todos os testes mostraram que as juntas coladas excederam a todas as exigências da norma ASTM D-2559.

VRAZEL (2002), submeteu algumas espécies e algumas composições adesivas a delaminação e os melhores resultados ocorreram nas interações de pinus com resorcinol formaldeído e Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii*) com resorcinol.

GEORGE et al. (2003), fizeram uma análise termomecânica de amostras coladas da madeira de beech (*Fagus grandifolia*), colada com fenol-resorcinol-formaldeído (FRF) e dois adesivos comerciais à base de poliuretano (PU). Essas amostras foram expostas a uma avaliação de resistência a medida que era aumentada a temperatura externa, o adesivo FRF manteve sua resistência estável até 175°C, os adesivos de poliuretano tiveram um decréscimo de resistência a 40°C.

### **2.3. Espécies de madeira**

As características da madeira, são de grande importância pois elas estão ligadas diretamente ao comportamento do adesivo na linha de cola.

#### **2.3.1. Pinus**

O *Pinus elliottii* Engelm. Pertence a família das Pinaceae, conhecido popularmente como pinus, pinheiro e pinheiro americano, foi introduzido nos estados de Espírito Santo, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Paraná, Rio de Janeiro, Rio Grande do Sul, Santa Catarina e São Paulo. Possui como características: cerne e alburno indistintos pela cor, coloração branco-amarelado, brilho moderado; cheiro e gosto distintos e característicos (adesivo); massa específica baixa; macia ao corte; grã direita; textura fina, parênquima axial: invisível mesmo sob lente, os raios são visíveis apenas sob lente no topo; na face tangencial é invisível mesmo sob lente. As Camadas de crescimento são distintas e apresentam transição brusca entre o lenho inicial e o tardio. Apresenta canais de resina presentes e visíveis sob lente; em disposição axial e radial (IPT, 2003).

A madeira de pinus é fácil de ser trabalhada e colada, permite bom acabamento e é fácil de secar. Pode ser usada, na construção leve interna, móveis e também para forros e pisos entre outros usos (IPT, 2003).

A SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA (2006) relata que existiam no Brasil em 2000 cerca de 4.805.930 de florestas plantadas desses 1.840.050 Ha são de pinus,



sendo que desses a maior parte está localizada nos estados de Paraná (605,13 Ha), Santa Catarina (318,12 Ha), na Bahia (238,39 Ha) e São Paulo (202,31 Ha).

Segundo PETRAUSKI et al. (2004), a madeira de pinus, por ser abundante no Sul do país, e apresentar preço relativamente baixo, com boa adesão à vários tipos de adesivos, têm sido uma alternativa interessante para o uso estrutural, apesar de não possuir melhores propriedades mecânicas quando comparada a algumas madeiras de folhosas. Ressalta-se que a maioria dos trabalhos executados no exterior fazem uso de madeiras de coníferas para produção de estruturas. Esse mesmo autor cita que madeiras do gênero *Pinus* são comumente comercializadas nas serrarias do Estado do Paraná. A oferta é constante, proveniente de florestas efetivamente plantadas para fins comerciais projetados. Portanto, a madeira obtida possui menos defeitos, por conseqüência, menos problemas de perdas excessivas no processamento e secagem.

SZÜCS & VELLOSO (2004), com o objetivo de identificar o nível industrial já existente, enviaram a diversas empresas um questionário visando se ter uma amostragem do perfil tecnológico e também das madeiras mais empregadas. Com a resposta obtida constatou-se que 90% do material empregado é das espécies *Pinus elliottii* e *Pinus taeda*, em duas faixas de idade nas quais são normalmente comercializadas que compreendem madeira de árvores com idade entre 8 e 10 anos e também com idade entre 20 e 25 anos.

O quadro favorável da situação no Sul do Brasil levou a um grande número de pesquisas feitas com esse material.

BOHN E SZÜCS (1995), que fizeram uma comparação entre o adesivo resorcinol nacional e um argentino, além de terem realizado um estudo sobre diluição dos adesivos na construção em madeiras de *Pinus taeda* e *Pinus elliottii*. Quanto aos distintos adesivos não houve diferença significativa nos ensaios de tração normal e paralela, mas sim no cisalhamento. Quanto à diluição, vigas feitas com adesivo diluído até 40% evidenciaram um desempenho melhor do que as vigas sem diluição.

Ainda sobre a diluição dos adesivos, deve-se ressaltar que novos estudos têm sido conduzidos na tentativa de conseguir reduzir o custo da madeira laminada colada, referente à parte do adesivo; que pode ser de grande limitação para a produção de madeira laminada colada no Brasil, que é o custo do adesivo à base de resorcinol que pode atingir entre 40% a 60% do custo final (BOHN e SZÜCS, 1995). Segundo MANTILLA CARRASCO (2000), o custo do adesivo em estruturas feitas com madeira de eucalipto em Minas Gerais, na cidade de Belo Horizonte, estão abaixo dos valores citados anteriormente, estando em torno de 20%.

SZÜCS et al. (1998) estudaram o efeito na diluição da resistência das juntas coladas, testadas no cisalhamento e na tração normal às fibras, para madeira de *Pinus* spp. e *E. citriodora*. Os níveis de diluição foram 0, 30, 40 e 50%, com adesivo resorcinol. Nos testes de cisalhamento, para a madeira de pinus, a resistência do tratamento com diluição de 40% foi muito próxima à da testemunha. Para a madeira de eucalipto, os valores decresceram com o aumento da diluição. No teste de tração normal, os valores de resistência dos tratamentos que utilizaram adesivo diluído foram sempre bem inferiores ao da testemunha, para pinus e eucalipto.

MACÊDO E CALIL JR. (1998) avaliaram, para madeira de *Pinus elliottii* e *Eucalyptus grandis*, a resistência ao cisalhamento e à tração normal das juntas coladas e, também, a resistência das emendas denteadas na tração, segundo a norma alemã DIN 68140. Nos testes de tração normal e de cisalhamento, obtiveram ótimos resultados.

MATTHIESEN (1998) estudou a qualidade da colagem da madeira de *Pinus taeda* e *Eucalyptus citriodora*. Através de testes de cisalhamento e de tração normal às fibras, que foram conduzidos para avaliar juntas coladas com adesivo resorcinol. Chegou-se à eficiência de 100% nos testes de cisalhamento, para as duas espécies de madeira. Nos testes de tração normal para pinus e eucalipto, a eficiência encontrada foi 81,82 e 85,51%, respectivamente.

NASCIMENTO et al. (2002), estudando adesão de madeiras de reflorestamento, para madeira de *Pinus sp.* encontrou resultados de porcentagem de falha satisfatórios segundo a norma ASTM D-3110 e a resistência da madeira colada excedeu a resistência da madeira sólida.

Segundo SERPA et al. (2003), que analisou as propriedades mecânicas de *Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus grandis* e *Pinus elliottii*, na madeira de pinus a massa específica básica variou da medula em direção a casca apresentando uma tendência de redução seguida por acréscimo, a contração volumétrica foi menor que todas as madeiras e a resistência a flexão foi menor que as demais madeiras, porém teve uma tendência a aumentar a medida que se aproximava da casca, na resistência paralela as fibras o resultado anterior se repetiu e na resistência da linha de cola, as madeiras de eucalipto foram mais resistentes e não houve diferença significativa da posição da tora. A porcentagem de falha foi satisfatória e maior em direção a medula.

NASCIMENTO et al. (2003), analisaram o comportamento de vigas laminadas coladas de *Pinus sp.*, e *Pinus sp.* reforçado com *Corymbia citriodora*. A porcentagem de delaminação da interface pinus com pinus foi menor que a de pinus com eucalipto, ou seja, foi mais resistente ao intemperismo.

PETRAUSKI et al. (2004), estudou o comportamento de vigas de *Eucalyptus grandis* e *Pinus sp.*, as vigas mistas apresentaram resistência estatisticamente iguais as vigas somente com pinus, porém, as duas foram menores que o eucalipto.

### 2.3.2. Quaruba

A *Vochysia* spp. pertence a família Vochysiaceae, também é conhecida pelos nomes populares cedrorana, guaruba, guaruba-cedro, quaruba-cedro, quaruba-goiaba, quaruba-verdadeira, quaruba-vermelha e cedrinho. Possui massa específica aparente média a 12% de umidade de 0,60 g/cm<sup>3</sup> (IPT, 2003).

A Quaruba possui como características gerais: cerne e alburno pouco distintos pela cor, cerne rosado e alburno cinza-claro a cinza-rosado; brilho moderado ou ausente; cheiro e gosto imperceptíveis; massa específica baixa; macia ao corte; grã revessa; textura média a grossa. O parênquima axial é visível a olho nu, paratraqueal aliforme com extensões longas e estreitas unindo vários vasos. Os raios mais largos são visíveis a olho nu no topo, na face tangencial eles são visíveis apenas sob lente. Os vasos são visíveis a olho nu, médios a grandes; com pouca frequência; apresenta porosidade difusa; solitários em maioria; alguns obstruídos por tilos. As camadas de crescimento são distintas. Os canais axiais traumáticos são presentes em alguns espécimes (IPT, 2003).

A resistência da madeira ao apodrecimento varia conforme a espécie. As madeiras do gênero *Vochysia* são susceptíveis ao ataque de cupins e fungos, porém são moderadamente resistentes ao ataque de cupins-de-madeira-seca (SOUZA et al., 2002).

A madeira de quaruba é fácil de ser trabalhada tanto com ferramentas manuais como com máquinas. Alguns defeitos comuns são a superfície felpuda e fibras arrancadas. A colagem e a aplicação de tintas e vernizes não apresentam problemas. O polimento é bom. Pode apresentar um acabamento ruim quando lixada ou aplainada. A secagem ao ar apresenta dificuldade moderada, com tendência a empenamentos e rachaduras. A secagem em estufa é rápida, mas pode agravar os defeitos se não for bem controlada. Peças espessas estão sujeitas a colapso. Pode ser utilizada na construção civil e naval, movelaria, molduras, peças torneadas, chapas e outros (IPT, 2003).

Não foi encontrada nenhuma pesquisa sobre essa espécie para colagem, porém ZANGIACOMO (2003), estudou a madeira *Erisma uncinatum* conhecida como cedrinho, que

pertence a mesma família e apresenta características anatômicas parecidas, e encontrou bons resultados de resistência.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizados dois tipos de adesivos, o resorcinol e à tanino de acácia negra, que foram preparados nas seguintes proporções: 100% resorcinol, 90% resorcinol com 10% tanino e 80% resorcinol com 20% de tanino; para colagem de duas espécies de madeira, *Pinus spp.* e *Vochysia spp.* (quaruba).

Testou-se também duas temperaturas de colagem, 25°C e 60°C e presença (10%) e ausência de metanol em relação a massa do adesivo. Deste modo, o delineamento experimental foi um fatorial com três fatores, a saber: três composições adesivas; duas temperaturas de colagem e duas proporções de metanol para cada espécie de madeira. Deste modo, foi estabelecido um experimento fatorial que totalizou 12 tratamentos com 20 repetições para cada tratamento, para cada espécie, para as medições de resistência ao cisalhamento das juntas coladas na compressão. Destas amostras 10 foram destinadas à avaliação imediatamente após a confecção dos corpos-de-prova, e as demais foram destinadas a avaliação após exposição à condições de simulação de serviços externos.

Também foi conduzido um experimento fatorial com objetivo de estudar a resistência à tração normal às fibras das madeiras coladas com um experimento similar ao teste de cisalhamento na compressão, porém foram utilizadas 12 repetições para cada tratamento.

A resistência das juntas coladas em ambos os testes foi comparada com a resistência da madeira sólida onde se utilizou 20 repetições para cada espécie.

Com os três melhores tratamentos encontrados no teste de cisalhamento antes e após exposição foi realizado o teste de delaminação que consistiu em medir a separação da linha do adesivo após exposição a alta umidade e temperatura.

#### 3.1. Preparação do Material

##### 3.1.1. Secagem, usinagem e aclimatização da madeira

As madeiras foram adquiridas no comércio local na forma de tábuas com espessura acima de 25 mm e largura de 30 cm e foram secas ao ar até atingirem a umidade de equilíbrio.

As tábuas foram serradas com 6,0 cm de largura e 62 cm de comprimento para o teste de cisalhamento, 6,0 cm de largura e 36 cm de comprimento para tração normal e 8,0 cm de largura e 36 cm de comprimento para delaminação. Após isto, estas foram aclimatizadas à temperatura de 20 °C e umidade relativa de 65%.

##### 3.1.3. Seleção do material

O material foi selecionado através de classificação visual que se baseou nas características da madeira tais como: presença, tamanho, frequência e localização dos nós, presença de medula, rachaduras, empenamentos e qualquer defeito aparente como mostra na Figura 1. Esse material foi descartado por exigência das normas para o teste de cisalhamento e tração normal para evitar a influência dos defeitos na colagem, nas peças destinadas ao teste de delaminação não houve essa seleção para obtenção de dados mais próximos das situações habituais. Após essa seleção, as peças foram organizadas de forma que a massa específica média das amostras por tratamento não fosse discrepante. Posteriormente, foram aplainadas e

desengrossadas com 19 mm de espessura para cisalhamento e delaminação; e 24 mm para tração. Posteriormente foram limpas e embaladas para evitar a oxidação das faces a serem coladas e foram novamente colocadas nas condições de climatização citadas anteriormente.



**Figura 1:** Material selecionado e descartado pela presença de medula e nós, executada no DPF/IF/UFRRJ.

#### **3.1.4. Preparação e aplicação dos adesivos**

O adesivo à base de tanino de acácia negra cedido pela TANAC adesivos, foi obtido em forma de pó, portanto para sua preparação usou-se a proporção 1:1 (adesivo : água). Já o adesivo resorcinol cedido pela Borden Química pode ser usado diretamente para o preparo das composições. Na preparação do adesivo resorcinol puro e resorcinol-tanino, foram utilizadas 5 partes de adesivo para uma parte de endurecedor (para-formaldeído) e misturado por um tempo mínimo de 5 minutos.

A seguir, os adesivos foram aplicados com rolos de espuma na quantidade de 300g/m<sup>2</sup>. As juntas foram pesadas antes e após a aplicação do adesivo para aferir a quantidade do mesmo.

#### **3.1.5. Prensagem – colagem**

Na prensagem, foi realizado uma adaptação em uma máquina de ensaio mecânico, utilizando três peças de maçaranduba com as dimensões 7 cm de espessura x 20 cm de largura e 45 de comprimento; estas não apresentavam empenamentos ou rachaduras, com quatro eixos rosqueados de 3/4” em cada canto, ligando as três peças. Foi colocada uma célula de carga entre a primeira e a segunda peça de madeira, afim de controlar a pressão exercida, e entre a segunda e a terceira eram colocadas as juntas a serem coladas (Figura 2).



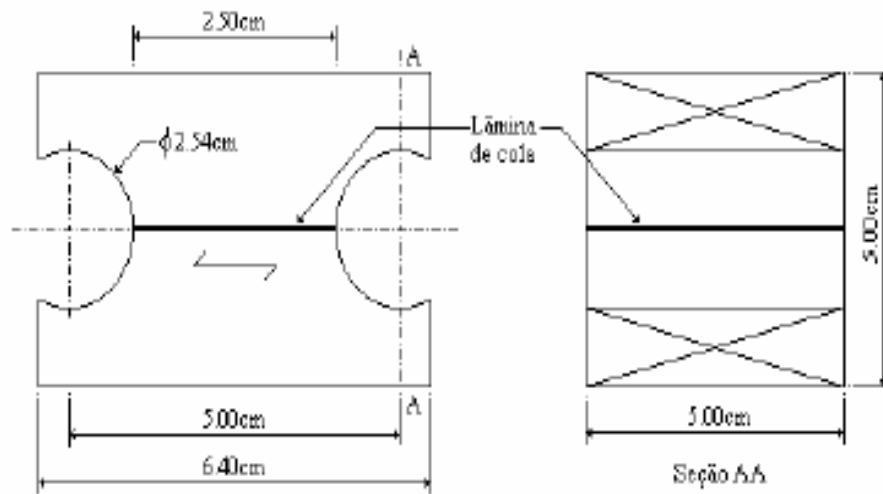
**Figura 2:** Prensagem das juntas, realizada no DPF/IF/UFRRJ.

As juntas foram prensadas com 1 MPa, nas temperaturas de 25°C e 60°C. Para a colagem a 60°C as juntas foram colocadas em estufa nesta mesma temperatura durante aproximadamente 5 horas e só eram retiradas na hora da aplicação do adesivo. O tempo de prensagem foi de aproximadamente 5 horas.

### **3.2. Confeção e Teste dos Corpos-de-prova**

#### **3.2.1. Resistência a Tração normal**

Para tração normal à linha de cola, os corpos foram confeccionados segundo a norma da ABNT-NBR 7190 (1997). Os corpos-de-prova apresentavam 6,40 x 5,00 x 5,00 cm e dois furos com 2,54 cm de diâmetro como mostra a Figura 3. Para se obter a resistência da tração normal às fibras da madeira sólida, os corpos-de-prova também foram confeccionados segundo a mesma norma e apresentavam as mesmas dimensões.



**Figura 3:** Esquema do Corpo-de-prova de tração segundo ABNT-NBR 7190.  
(Fonte: MACÊDO & CALIL JR., 1999).

Os adesivos foram testados utilizando uma máquina de ensaio com capacidade máxima de 100kN, foi utilizado uma célula de carga de 2000 kgf e uma aceleração de 5mm/min.

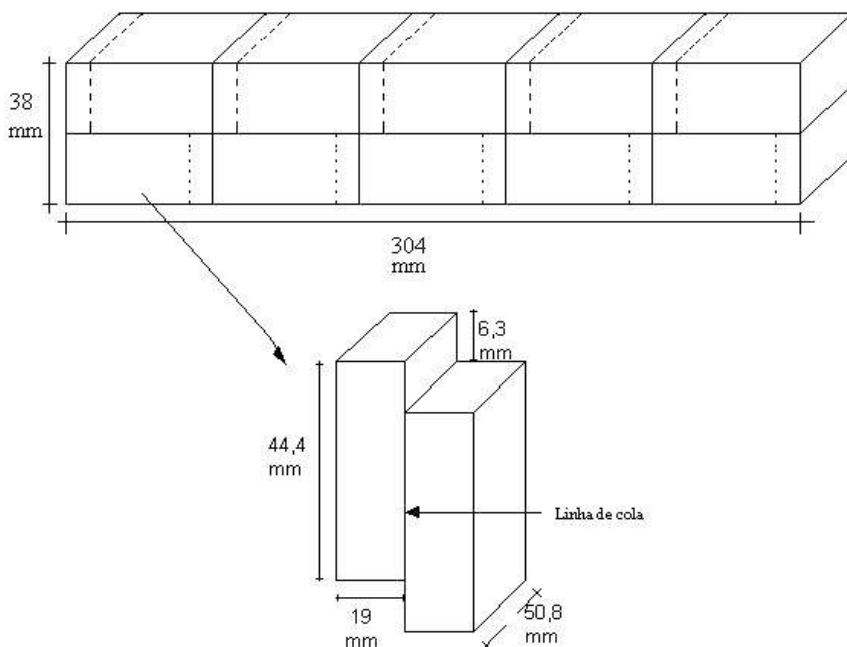
As resistências dos corpos-de-prova foram comparadas com o valor característico da madeira sólida que foi calculada através da fórmula:

$$F_{wk} = \left( 2 \frac{f_1 + f_2 + \dots + f_{n/2-1}}{n/2-1} - f_{n/2} \right) \times 1,1$$

Onde:  $f_{wk}$  é o valor característico da resistência da madeira sólida;  
 $F_n$  é o valor de resistência em ordem crescente.

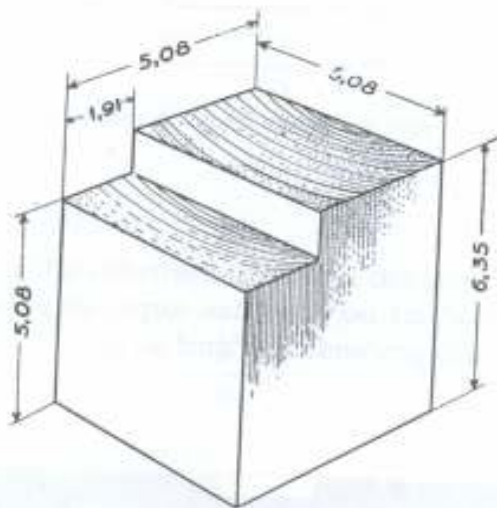
### 3.2.2. Resistência ao cisalhamento na compressão

Após a prensagem, as juntas coladas que apresentavam 38 mm de altura por 50,8 de largura por 304 mm de comprimento foram cortadas para confecção dos corpos-de-prova. As amostras para os ensaios mecânicos de cisalhamento na linha de cola foram dimensionadas como demonstrado na Figura 4, e testadas de acordo com a norma ASTM D-905 (ASTM, 1994f).



**Figura 4:** Esquema do Corpo de prova segundo a norma da ASTM D-905.

Os corpos-de-prova para os testes de cisalhamento pela compressão paralela às fibras na madeira sólida foram dimensionados de acordo com a norma ASTM D-143 (ASTM, 1994d) e apresentavam as dimensões de 50,8 mm de largura por 38 mm de espessura por 63 mm de altura e o dente 19 mm por 13 mm. O corpo de prova está representado na Figura 5.



**Figura 5:** Esquema dos corpos-de-prova de madeira sólida para teste de cisalhamento segundo a norma ASTM D-143. (Fonte: PFEIL, 1994)

Após os testes de cisalhamento foram realizadas as avaliações da percentagem de falhas na madeira das juntas coladas que foram feitas segundo a ASTM D-3110 (ASTM, 1994e), que exige para uma boa colagem um valor médio maior que 60% de falha na madeira

e que pelo menos 90% das amostras testadas apresentem ao menos 30% de falha na madeira, sendo que nenhuma junta pode apresentar 0% de falha.

Depois da ruptura dos corpos-de-prova, estes foram separados em duas partes. A primeira metade foi destinada a determinação do teor de umidade e da massa específica a 12% e a 0% pelo método hidrostático, usando o mercúrio no lugar da água. A outra metade foi destinada à medição da percentagem de falha.

### 3.3. Exposição ao Ciclo Acelerado das Condições de Serviços Externos – Simulação de Intemperismo

Para cada um dos 12 tratamentos foram feitas 10 repetições, o que gerou um total de 120 amostras por espécie de madeira, que foram confeccionadas para serem expostas em condições severas de variação de temperatura e umidade relativa.

Das 4 opções que sugere a norma ASTM D-1183 (ASTM,1994a) foi escolhido o procedimento B com a inclusão do procedimento imerso em água para melhor simular as condições de serviço externo, que está exposto na Tabela 1. Foram feitos dois ciclos de exposição.

**Tabela 1:** Condições ambientais simuladas (possíveis condições de serviço) para as amostras que foram testadas ao cisalhamento.

| Exposição | Período (h) | Temperatura (°C) | Umidade Relativa % |
|-----------|-------------|------------------|--------------------|
| Exterior  | 48          | 60 +/- 3         | Menor que 30       |
|           | 48          | 38,5 +/- 2       | 85 a 90            |
|           | 48          | 23 +/- 1         | Imerso em água     |
|           | 8           | -18 +/- 2        | Aproximada de 100  |
|           | 64          | 38,5 +/-2        | 85 a 90            |

#### 3.3.1. Resistência ao cisalhamento na linha de cola expostas em condições simuladas de serviço externo

A resistência ao cisalhamento da linha de cola foi feita na compressão paralela às fibras, como descrito no item 3.2.2.

A seguir foi calculada a percentagem de variação de resistência devido a exposição às condições citadas na tabela 1 anterior. Esta percentagem foi calculada pela expressão a seguir:

$$R = [ (Y-X) / X ] * 100$$

Onde:

R: percentagem de variação de resistência;

X: resistência antes da exposição;

Y: resistência das amostras após exposição.

### 3.4. Teste de Delaminação

Com os três melhores tratamentos no teste de cisalhamento antes e após exposição para cada madeira utilizada foi verificado o grau de delaminação, que consiste na separação das superfícies nas juntas coladas de acordo com a norma ASTM D-1101 (ASTM, 1994c). Foram prensados e colados 3 blocos com 8 lâminas de 19 mm de espessura cada, por 76 mm



de largura e 330 mm de comprimento. Após a prensagem as juntas foram cortadas em corpos-de-prova com 76 mm de largura e 76 mm de comprimento (Figura 6).



**Figura 6:** Corpos-de-prova de pinus para teste de delaminação segundo a norma da ASTM D-1101.

Foi escolhido o método A da norma citada anteriormente com algumas adaptações. As amostras foram imersas em água, com temperatura entre 18 a 27°C, em uma autoclave até que sua superfície fosse totalmente coberta, foi provocado um vácuo de 508 mm Hg e mantido por 25 minutos, após foi retirado o vácuo e aplicada uma pressão de 2,7 Kgf/cm<sup>2</sup> (270kPa) durante três horas, passado esse tempo as amostras foram colocadas em estufa com temperatura de 67°C durante 22 horas, este ciclo foi repetido três vezes.

Terminado o procedimento anterior foi verificado o grau de delaminação de cada bloco colado, através da medição do comprimento de separação das interfaces na linha adesiva nas duas faces no final da grã de cada corpo-de-prova, em cada interface e depois foi calculada a porcentagem de delaminação em relação a largura total.

### **3.5. Análise dos Resultados**

Os resultados obtidos de resistência das juntas coladas foram submetidos à análise de variância pelo teste F e a comparação entre as médias, quando necessário, foram utilizados os testes de Tukey ou Duncan ao nível de 5% de significância.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Quaruba

#### 4.1.1. Resistência a tração normal

A Tabela 2 mostra um resumo das médias de resistência a tração normal e a massa específica aparente a 12% de umidade.

Verifica-se que as composições coladas a 25°C utilizando resorcinol na presença e na ausência de metanol, resorcinol com 10 e 20% de tanino sem metanol apresentaram altas resistências à tração. Porém as composições com 10% de metanol resorcinol com 10% de tanino colada a 60°C e resorcinol com 20% de tanino colada a 25°C apresentaram os menores resultados.

A resistência da madeira sólida foi mais alta que a dos tratamentos, entretanto a média da massa específica da madeira sólida apresentou diferença significativa em relação a massa específica de alguns tratamentos, esse fato foi comprovado pela análise de variância que encontra se no Anexo A. Calculando a resistência relativa em função da massa específica, ou seja, dividindo a resistência pela massa específica, pode se observar, ainda na Tabela 2, que mesmo após essa transformação nenhum tratamento superou a madeira sólida. Porém, o tratamento resorcinol colado a 25°C sem metanol, apresentou um valor muito próximo a madeira sólida.

**Tabela 2:** Resumo das médias das juntas coladas e madeira sólida da resistência a tração normal e massa específica da madeira quaruba.

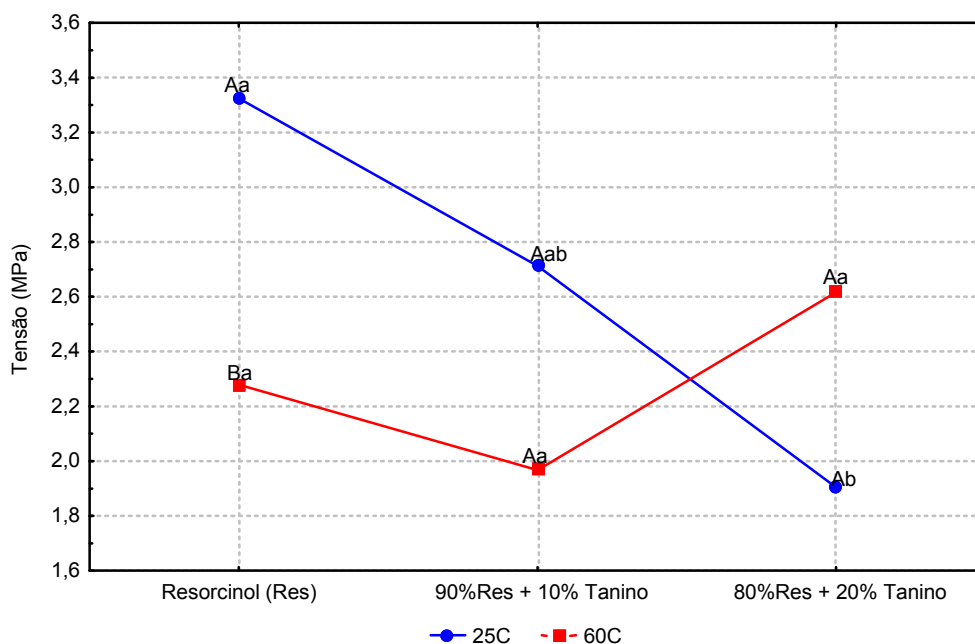
| Adesivo              | Temperatura(°C)       | Metanol | $f_{tn}$ (MPa) | $\rho_{12\%}$ | MPa/g/cm <sup>3</sup> |     |
|----------------------|-----------------------|---------|----------------|---------------|-----------------------|-----|
| Resorcinol           | 25                    | 0%      | 3,4            | 0,56          | 6,0                   |     |
|                      |                       | 10%     | 3,3            | 0,60          | 5,5                   |     |
|                      | 60                    | 0%      | 2,2            | 0,58          | 3,7                   |     |
|                      |                       | 10%     | 2,4            | 0,57          | 4,2                   |     |
| 90% Res + 10% Tanino | 25                    | 0%      | 3,0            | 0,56          | 5,3                   |     |
|                      |                       | 10%     | 2,5            | 0,56          | 4,4                   |     |
|                      | 60                    | 0%      | 2,0            | 0,54          | 3,8                   |     |
|                      |                       | 10%     | 1,9            | 0,58          | 3,3                   |     |
|                      | 80% Res. + 20% Tanino | 25      | 0%             | 2,7           | 0,56                  | 4,9 |
|                      |                       |         | 10%            | 1,1           | 0,62                  | 1,8 |
| 60                   |                       | 0%      | 3,0            | 0,63          | 4,7                   |     |
|                      |                       | 10%     | 2,3            | 0,56          | 4,0                   |     |
| Média                |                       |         | 2,5            | 0,58          | 4,3                   |     |
| Madeira Sólida       |                       |         | 3,8            | 0,63          | 6,1                   |     |

Onde:  $f_{tn}$  \_ Resistência a tração normal as fibras;  $\rho_{12\%}$  \_ Massa específica aparente a 12% de umidade; MPa/g/cm<sup>3</sup> \_ Resistência em relação a massa específica

Para verificar a existência de diferenças entre as médias de resistência dos fatores adesivo, temperatura e presença de metanol foi realizada uma análise de variância. Os resultados desta análise encontram-se no Anexo B. A análise mostrou para um nível 5% de probabilidade que houve diferença significativa individualmente entre adesivos, temperaturas de colagem e presença de metanol e nas interações duplas Adesivo-Temperatura e Adesivo-Metanol.

A Figura 7 mostra a comparação entre médias da interação Adesivo-Temperatura. Na temperatura de 25°C as composições apresentaram uma queda de resistência proporcional ao aumento da taxa de tanino. Na temperatura 60°C não houve diferença significativa entre os adesivos.

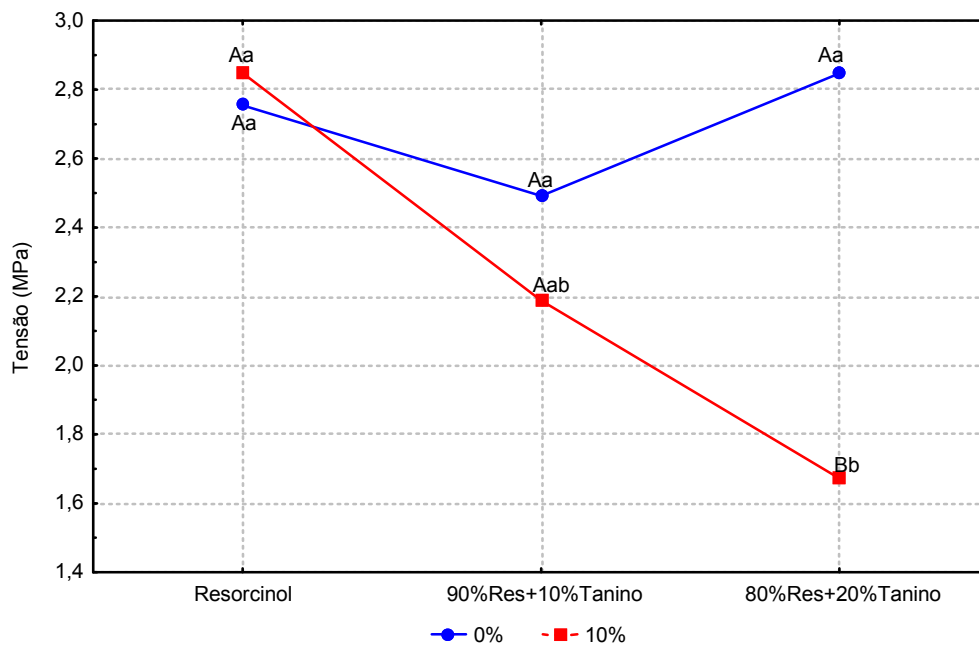
O adesivo resorcinol apresentou uma queda brusca de resistência quando colado a 60°C. Os demais adesivos não apresentaram diferença entre as temperaturas.



**Figura 7:** Comparação entre médias pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade para madeira quaruba no teste de tração.

Onde: Letras maiúsculas representam comparações em um mesmo adesivo e temperaturas diferentes, ou seja, entre linhas e letras minúsculas representam as comparações em uma mesma temperatura e adesivos diferentes, ou seja, dentro da linha.

A Figura 8 mostra a comparação entre médias pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade da interação Adesivo-Metanol. Sem metanol não houve uma diferença significativa entre os adesivos. Na presença de metanol houve uma queda de resistência proporcional ao aumento de tanino na composição adesiva. O adesivo mais influenciado pela presença de metanol foi a composição com 20% de tanino que mostrou uma significativa perda de resistência na presença de metanol.



**Figura 8:** Comparação entre médias da interação Adesivo-Metanol pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade para madeira quaruba no teste de tração. Onde: Letras maiúsculas representam comparações em um mesmo adesivo na presença e ausência de metanol, ou seja, entre linhas e letras minúsculas representam as comparações na mesma taxa de metanol e adesivos diferentes, ou seja, dentro da linha.

A Tabela 3 mostra uma análise qualitativa das juntas coladas mostrando a quantidade de corpos-de-prova dentro dos tratamentos que tiveram resistências altas, regulares e baixas e quantos apresentaram problemas na colagem. Pode-se observar que a maior parte dos corpos-de-prova em todos os tratamentos quebraram totalmente ou parcialmente na madeira, mostrando uma boa adesão.

Apesar de aparentemente não ter havido problemas de adesão em quase todos os tratamentos, a maior parte das resistências foi baixa ou regular em relação ao valor característico que foi de 2,26 MPa, os únicos tratamentos que apresentaram pelo menos 10% dos corpos-de-prova com resistências altas foram os tratamentos colados sem metanol nas duas temperaturas e o resorcinol a 25°C com metanol.

**Tabela 3:** Análise qualitativa das juntas coladas da madeira quaruba no teste de tração normal.

| Adesivos           | Temp(°C) | Modo de Ruptura | Quantidade de Metanol |   |   |       |     |   |   |       |
|--------------------|----------|-----------------|-----------------------|---|---|-------|-----|---|---|-------|
|                    |          |                 | 0%                    |   |   |       | 10% |   |   |       |
|                    |          |                 | Tipo de Resistência   |   |   |       |     |   |   |       |
| B                  | R        | A               | %                     | B | R | A     | %   |   |   |       |
| Resorcinol(Res)    | 25       | cola            | 0                     | 0 | 0 | 0,0   | 0   | 0 | 0 | 0,0   |
|                    |          | Madeira         | 0                     | 4 | 8 | 100,0 | 3   | 5 | 2 | 83,3  |
|                    |          | Cola e Madeira  | 0                     | 0 | 0 | 0,0   | 0   | 0 | 2 | 16,7  |
|                    | 60       | Cola            | 1                     | 0 | 0 | 10,0  | 0   | 0 | 0 | 0,0   |
|                    |          | Madeira         | 2                     | 1 | 3 | 60,0  | 6   | 3 | 0 | 75,0  |
|                    |          | Cola e Madeira  | 3                     | 0 | 0 | 30,0  | 3   | 0 | 0 | 25,0  |
| 90% Res+10% Tanino | 25       | Cola            | 0                     | 0 | 0 | 0,0   | 0   | 0 | 0 | 0,0   |
|                    |          | Madeira         | 3                     | 6 | 1 | 83,3  | 8   | 3 | 0 | 91,7  |
|                    |          | Cola e Madeira  | 0                     | 1 | 1 | 16,7  | 0   | 1 | 0 | 8,3   |
|                    | 60       | Cola            | 1                     | 0 | 2 | 27,3  | 1   | 0 | 0 | 8,3   |
|                    |          | Madeira         | 5                     | 0 | 0 | 45,5  | 6   | 2 | 0 | 66,7  |
|                    |          | Cola e Madeira  | 3                     | 0 | 0 | 27,3  | 3   | 0 | 0 | 25,0  |
| 80% Res+20% Tanino | 25       | Cola            | 2                     | 0 | 1 | 27,3  | 8   | 0 | 0 | 80,0  |
|                    |          | Madeira         | 2                     | 2 | 3 | 63,6  | 1   | 0 | 0 | 10,0  |
|                    |          | Cola e Madeira  | 0                     | 0 | 1 | 9,1   | 1   | 0 | 0 | 10,0  |
|                    | 60       | Cola            | 2                     | 0 | 0 | 16,7  | 0   | 0 | 0 | 0,0   |
|                    |          | Madeira         | 2                     | 1 | 4 | 58,3  | 11  | 1 | 0 | 100,0 |
|                    |          | Cola e Madeira  | 3                     | 0 | 0 | 25,0  | 0   | 0 | 0 | 0,0   |

Onde: B-resistências baixas, próximas ao valor característico; R-resistências regulares, abaixo da média da madeira sólida, porém próximas do mesmo (não inferior a 0,85fm); A-resistências altas maiores que a média da madeira sólida.

#### 4.1.2. Resistência ao cisalhamento na compressão paralela às fibras antes e após exposição à condições simuladas de serviços externos

A Tabela 4 mostra as médias de resistência, massa específica a 12% e a 0% de umidade relativa, teor de umidade de cada tratamento no teste de cisalhamento antes e após exposição a condições simuladas de serviço externo.

Um baixo teor de umidade pode causar uma excessiva absorção da água do adesivo que este fica com dificuldade de se movimentar e penetrar na madeira por outro lado uma madeira muito úmida pode não absorver o adesivo, por isso o FOREST PRODUCTS LABORATORY (1999) indica uma faixa de 6-14% de umidade para madeiras coladas. O teor de umidade dos tratamentos estava em nível adequado em uma faixa de 10-14%.

**Tabela 4:** Médias de resistência, teor de umidade, e massa específica a 12 e a 0% da madeira quaruba no teste de cisalhamento na compressão paralela as fibras antes da exposição.

| Antes da exposição ao ciclo de exposição      |                 |         |             |      |               |              |                       |
|---|-----------------|---------|-------------|------|---------------|--------------|-----------------------|
| Adesivo                                       | Temperatura(°C) | Metanol | $f_v$ (MPa) | TU%  | $\rho_{12\%}$ | $\rho_{0\%}$ | MPa/g/cm <sup>3</sup> |
| Resorcinol (Res)                              | 25              | 0%      | 10,6        | 13,0 | 0,58          | 0,56         | 18,2*                 |
|   |                 | 10%     | 10,6        | 13,1 | 0,58          | 0,55         | 18,3*                 |
|   | 60              | 0%      | 6,9         | 10,6 | 0,58          | 0,57         | 11,9                  |
|   |                 | 10%     | 8,4         | 10,6 | 0,57          | 0,55         | 14,7                  |
| 90% Res + 10% Tanino                          | 25              | 0%      | 10,6        | 12,6 | 0,61          | 0,58         | 17,4*                 |
|   |                 | 10%     | 9,4         | 13,0 | 0,60          | 0,57         | 15,6                  |
|   | 60              | 0%      | 8,7         | 10,0 | 0,55          | 0,56         | 15,8                  |
|   |                 | 10%     | 9,7         | 10,2 | 0,56          | 0,54         | 17,3*                 |
| 80% Res. + 20% Tanino                         | 25              | 0%      | 10,6        | 12,9 | 0,60          | 0,57         | 17,7*                 |
|   |                 | 10%     | 10,2        | 13,0 | 0,60          | 0,57         | 17,0*                 |
|   | 60              | 0%      | 9,9         | 10,4 | 0,58          | 0,58         | 17,0*                 |
|   |                 | 10%     | 7,5         | 11,9 | 0,54          | 0,53         | 13,9                  |
| Média   |                 |         | 9,4         | 11,8 | 0,58          | 0,56         | 16,3                  |
| Madeira Sólida                                |                 |         | 11,0        | 12,0 | 0,65          |              | 17,0                  |
| Após exposição a condições de serviço externo |                 |         |             |      |               |              |                       |
| Adesivo                                       | Temperatura(°C) | Metanol | $f_v$ (MPa) | TU%  | $\rho_{12\%}$ | $\rho_{0\%}$ |                       |
| Resorcinol                                    | 25              | 0%      | 10,8        | 10,0 | 0,58          | 0,56         |                       |
|   |                 | 10%     | 11,1        | 10,3 | 0,57          | 0,55         |                       |
|   | 60              | 0%      | 5,4         | 10,2 | 0,58          | 0,56         |                       |
|   |                 | 10%     | 7,6         | 10,4 | 0,57          | 0,54         |                       |
| 90% Res + 10% Tanino                          | 25              | 0%      | 10,9        | 10,1 | 0,57          | 0,56         |                       |
|   |                 | 10%     | 9,1         | 10,3 | 0,58          | 0,56         |                       |
|   | 60              | 0%      | 7,6         | 10,1 | 0,58          | 0,56         |                       |
|   |                 | 10%     | 8,9         | 10,1 | 0,55          | 0,53         |                       |
| 80% Res. + 20% Tanino                         | 25              | 0%      | 11,0        | 10,2 | 0,56          | 0,55         |                       |
|   |                 | 10%     | 9,3         | 10,1 | 0,59          | 0,57         |                       |
|   | 60              | 0%      | 9,0         | 10,1 | 0,57          | 0,54         |                       |
|   |                 | 10%     | 8,1         | 10,4 | 0,54          | 0,54         |                       |
| Média   |                 |         | 9,1         | 10,2 | 0,57          | 0,55         |                       |

Onde:  $f_v$  é o limite de resistência ao cisalhamento paralelo as fibras, TU% é o teor de umidade,  $\rho_{12\%}$  é a massa específica aparente a 12% de umidade,  $\rho_{0\%}$  é a massa específica aparente da madeira anidra, MPa/g/cm<sup>3</sup> é a resistência em relação a massa específica, \* resultados que atingiram a resistência da madeira sólida.

A massa específica aparente dos tratamentos a 12% de umidade apresentou uma faixa de 0,54-0,60g/cm<sup>3</sup>, a 0% de umidade ela apresentou uma faixa de 0,53-0,58g/cm<sup>3</sup>. A influência da massa específica na adesão é mais física do que química ela controla diretamente a adesão mecânica e a difusão de polímeros, pois a medida que a massa específica aumenta geralmente diminuem a quantidade e/ou o tamanho dos poros dificultando a penetração do adesivo, o umedecimento e a formação de elos na linha adesiva com a madeira e assim impede que haja um bom ancoramento do adesivo na madeira. Por este fato o FOREST PRODUCTS LABORATORY (1999) não recomenda a utilização de madeiras com massa específica acima de 0,8g/cm<sup>3</sup>. Portanto as juntas apresentavam uma massa específica ideal para colagem.

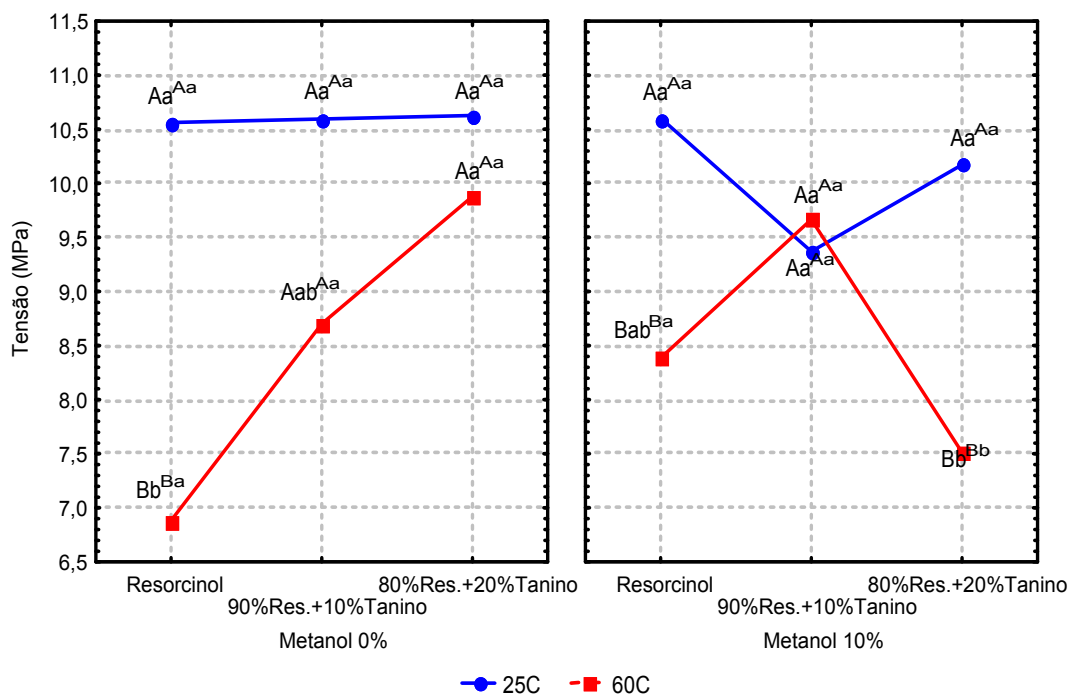
Segundo a norma da ASTM D-2559 (ASTM, 1994b), para serem usadas em estruturas expostas à condições de serviço externo as resistências das juntas coladas não podem ser

menores que a resistência ao cisalhamento da madeira sólida. A Tabela 4, verifica-se que a resistência da madeira sólida foi superior a dos tratamentos, porém a massa específica da mesma encontrava-se superior a dos tratamentos. Esse fato foi comprovado através de uma análise de variância entre a massa específica dos tratamentos e da madeira sólida (Anexo C) e ficou constatado que houve uma diferença significativa entre elas. Para retirar essa influência da diferença de massa específica foi calculada uma resistência relativa em função da massa específica a 12% obtendo-se um índice que mostra que os tratamentos colados a 25°C com resorcinol puro com e sem metanol, resorcinol com 10% de tanino sem metanol e resorcinol com 20% de tanino com e sem metanol e os tratamentos colados a 60°C resorcinol com 10% de tanino com metanol e resorcinol com 20% de tanino sem metanol, apresentaram resistência igual ou superior a madeira sólida.

Pode-se observar que a média geral de resistência dos tratamentos antes do ciclo foi de 9,4 MPa e após o ciclo a média caiu para 9,1 MPa demonstrando que não houve uma grande perda de resistência com a exposição. Alguns tratamentos permaneceram com a resistência alta mesmo após o ciclo, demonstrando serem os mais qualificados para utilização em serviços externo.

Foi realizada uma análise de variância para os fatores adesivo, temperatura e presença de metanol para a madeira quaruba antes da exposição em condições de simulação de serviços externos, que está representada no Anexo D. A análise mostrou que houve diferença significativa entre as temperaturas individualmente, nas interações duplas Adesivo-Temperatura e Adesivo-Metanol e na interação tripla Adesivo-Temperatura-Metanol.

Na Figura 9 pode se observar a comparação entre médias pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância. Nos tratamentos colados sem metanol pode se observar que as colagens em temperatura ambiente apresentaram altas resistências e não houve diferença significativa entre os adesivos. A colagem a 60°C mostrou uma relação positiva à medida que a quantidade de tanino era aumentada na composição. Nos tratamentos com metanol foi observado uma diferença significativa no adesivo resorcinol e resorcinol com 20% de tanino que apresentaram uma queda na resistência na temperatura de 60°C. Quanto a influência do metanol na temperatura 25°C não foi observado diferença significativa entre presença ou ausência de metanol para nenhum adesivo, na temperatura 60°C os adesivos resorcinol puro e resorcinol com 20% de tanino perderam resistência na presença de metanol em relação as colagens feitas em temperatura ambiente.



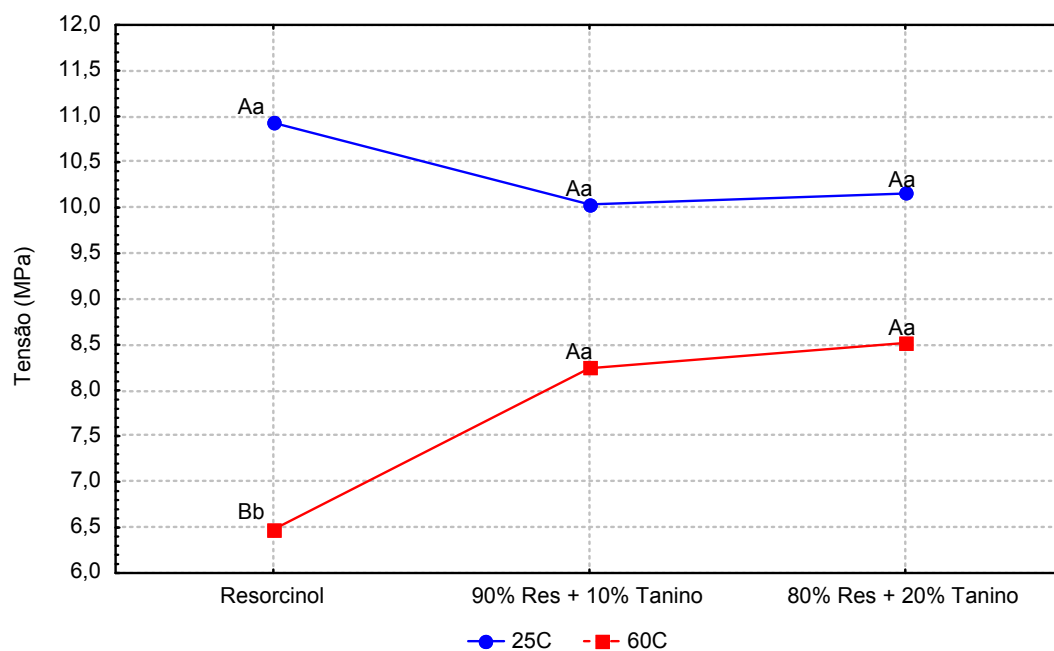
**Figura 9:** Comparação entre médias da interação tripla Adesivo-Temperatura-Metanol pelo teste de Tukey ao nível de 5% de confiança para madeira quaruba no teste de cisalhamento antes do ciclo de exposição.

Onde: Letras maiúsculas representam comparações entre um mesmo adesivo, mesma taxa de metanol e temperaturas diferentes, ou seja, entre linhas e letras minúsculas representam as comparações em uma mesma taxa de metanol mesma temperatura e adesivos diferentes, ou seja, dentro da linha. Em sobrescrito: letras maiúsculas representam comparação entre mesmo adesivo, diferentes temperatura e taxa de metanol, letras minúsculas representam comparação entre um mesmo adesivo, mesma temperatura e taxa de metanol diferentes.

Foi realizada uma outra análise de variância para os resultados de cisalhamento após o ciclo de exposição que se encontra no Anexo E. A análise mostrou que houve diferença significativa entre as temperaturas, e nas interações duplas Adesivo-Temperatura, Adesivo-Metanol e Temperatura-Metanol.

A Figura 10 mostra a comparação entre médias da interação Adesivo-Temperatura ao nível de 5% de probabilidade. O adesivo mais afetado pela temperatura foi o resorcinol, a 25°C ele apresentou ótima resistência, quanto aos demais adesivos não houve diferença significativa.

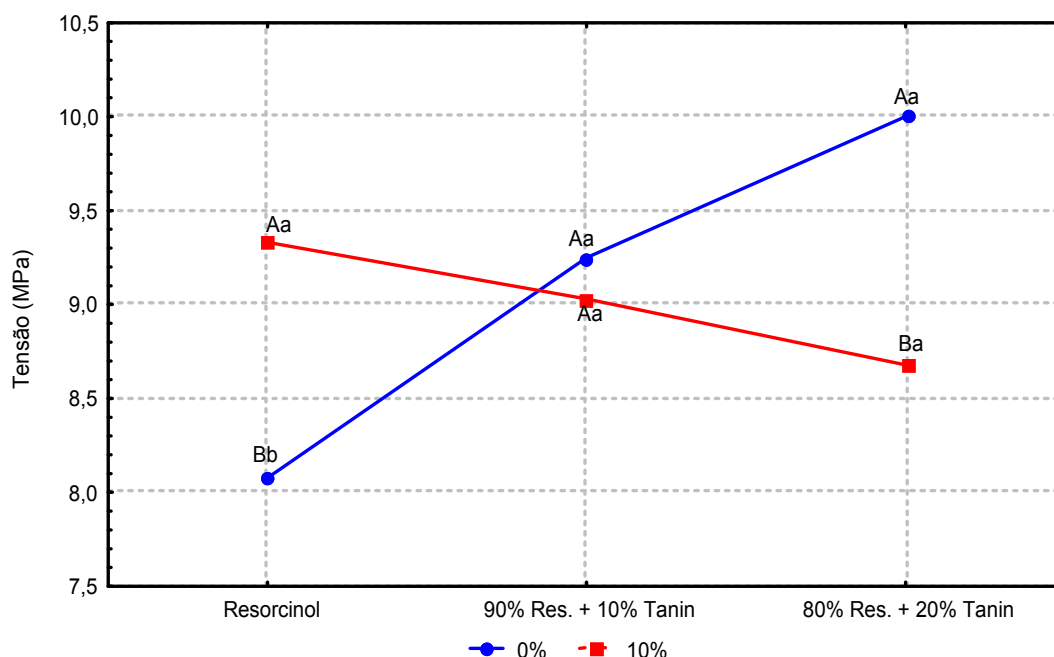




**Figura 10:** Comparação entre médias da interação dupla Adesivo-Temperatura pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade para madeira quaruba depois do ciclo de exposição no teste de cisalhamento.

Onde: Letras maiúsculas representam comparações em um mesmo adesivo e temperaturas diferentes, ou seja, entre linhas e letras minúsculas representam as comparações em uma mesma temperatura e adesivos diferentes, ou seja, dentro da linha.

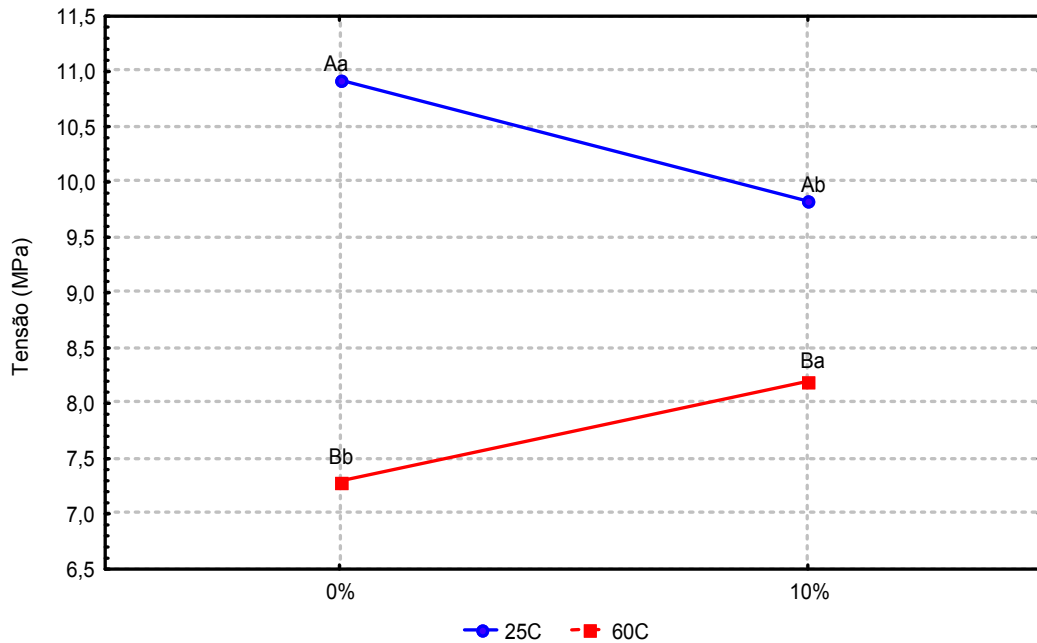
A comparação entre médias pelo teste de Tukey da interação Adesivo-Metanol encontra-se na Figura 11. As composições resorcinol puro e resorcinol com 20% de tanino foram as mais afetadas pela presença de metanol, o primeiro teve sua resistência aumentada pelo metanol, porém o segundo perdeu resistência na presença do metanol.



**Figura 11:** Comparação entre médias da interação Adesivo-Metanol pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade para madeira quaruba após o ciclo de intemperismo no teste de cisalhamento.

Onde: Letras maiúsculas representam comparações em um mesmo adesivo e taxas de metanol diferentes, ou seja, entre linhas e letras minúsculas representam as comparações em uma mesma taxa de metanol e adesivos diferentes, ou seja, dentro da linha.

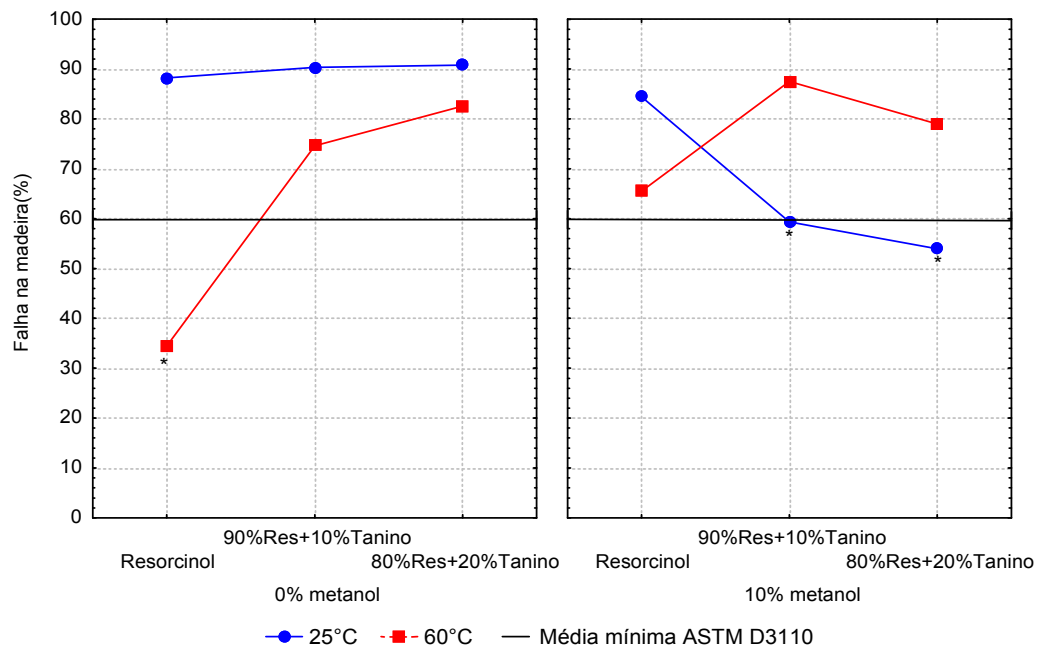
Na Figura 12 estão representadas graficamente as comparações entre médias da interação Temperatura-Metanol. Os adesivos colados a 25°C apresentaram resistências maiores. Adesivos colados a 60°C apresentaram melhores resultados na presença de metanol, o contrário aconteceu na temperatura ambiente.



**Figura 12:** Comparação entre médias da interação dupla Temperatura-Metanol pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade para madeira quaruba após o ciclo de exposição no teste de cisalhamento.

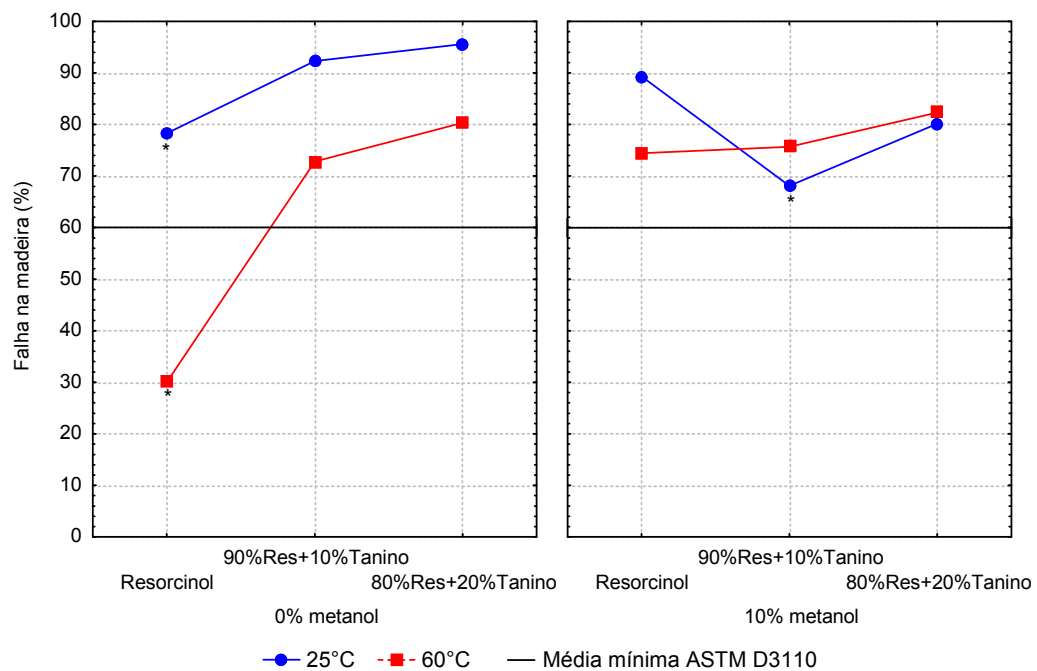
Onde: Letras maiúsculas representam comparações em uma mesma taxa de metanol e temperaturas diferentes, ou seja, entre linhas e letras minúsculas representam as comparações em uma mesma temperatura e taxa de metanol diferentes, ou seja, dentro da linha.

Antes da exposição (Figura 13), a 60°C apenas a composição resorcinol sem metanol não atingiu a exigência da norma. Na colagem a 25°C na presença de metanol observou-se que à medida que se aumentou a quantidade de tanino na composição a porcentagem de falha diminuiu.



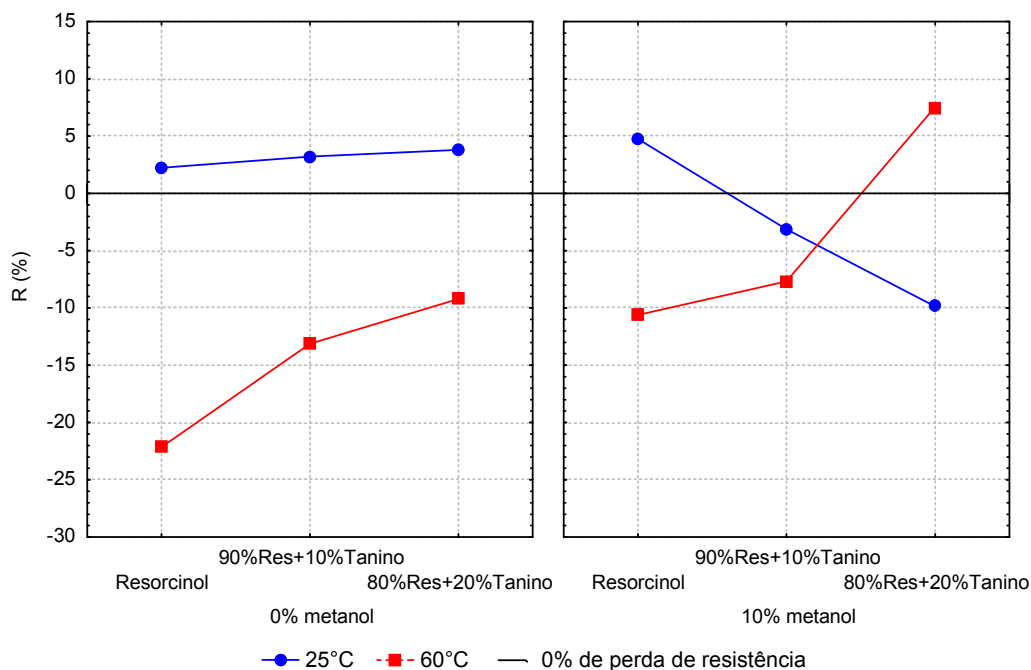
**Figura 13:** Médias de porcentagem de falha na madeira quaruba para teste de cisalhamento antes do ciclo de exposição.  
 Onde: \*não alcançaram a exigência da norma ASTM D-3110.

Após a exposição (Figura 14) os únicos tratamentos que não atingiram o requisito foram resorcinol colado sem metanol nas duas temperaturas e a composição 90% resorcinol com 10% tanino com metanol colado em temperatura ambiente.



**Figura 14:** Médias de porcentagem de falha no teste de cisalhamento após exposição para madeira Quaruba.  
 Onde: \*não alcançaram a exigência da norma ASTM D-3110.

Outra avaliação da qualidade da junta colada foi realizada através da porcentagem de variação de resistência e se encontra na Figura 15. Todos os tratamentos colados em temperatura ambiente com 0% de metanol e na composição com 20% de tanino colada a 60°C e 10% de metanol apresentaram ganho de resistência após o ciclo, os tratamentos que mais perderam resistência foram os colados a 60°C com resorcinol com e sem metanol e o tratamento com 10% de tanino sem metanol.



**Figura 15:** Porcentagem de variação de resistência da madeira quaruba após o ciclo de exposição.

As avaliações da resistência e qualidade da linha de cola no teste de tração e cisalhamento antes e após o ciclo de intemperismo se confirmam.

O adesivo resorcinol apresentou melhores resultados a 25°C com e sem metanol e para essas formulações não apresentou perda de resistência após o ciclo de exposição, porém, somente com metanol ele atingiu a porcentagem de falha exigida pela norma tanto antes quanto após o ciclo de exposição.

A baixa resistência da colagem a 60°C pode ser explicada porque o tempo de cura do adesivo resorcinol apresenta uma grande relação com a temperatura, a cura a 60°C aumentou a absorção de água pela madeira acelerando a sua solidificação, diminuindo assim a capacidade de umedecimento e os elos da ligação adesiva sendo classificada por MARRA (1992) como não ancorada. Esse fato também pode ser confirmado por PIZZI (1994) que afirmam que para o resorcinol a cura em temperatura ambiente apresenta mais vantagens porque a umidade é liberada gradualmente do filme formado na cura, induzindo ao mínimo estresse na junta colada. A linha de cola assume o aspecto sólido molecular poroso. Como consequência, o filme adesivo é capaz de transpirar do mesmo modo que a madeira, o qual permite que a linha de cola resista a extremos ciclos de umidade.

Ainda sobre o resorcinol pode-se observar que a presença do metanol além de ter melhorado a colagem na temperatura ambiente também aumentou a resistência da colagem a 60°C. A porcentagem de falha para essa composição atingiu a exigência da norma tanto antes

quanto após a simulação da exposição ao serviço externo e diminuiu a perda de resistência em relação a colagem na mesma temperatura sem metanol. Esse fato aconteceu porque o metanol diminuiu a viscosidade tornando o adesivo mais fluido e mais móvel. PIZZI (1994) confirma esta afirmação e ainda cita que o metanol diminuiu o tempo de reação do resorcinol diminuindo o tempo de gel, devido à formação temporária de hemiformol entre o álcool e o formaldeído. Esses fatores melhoraram a absorção do adesivo pela madeira proporcionando um aumento na qualidade da adesão.

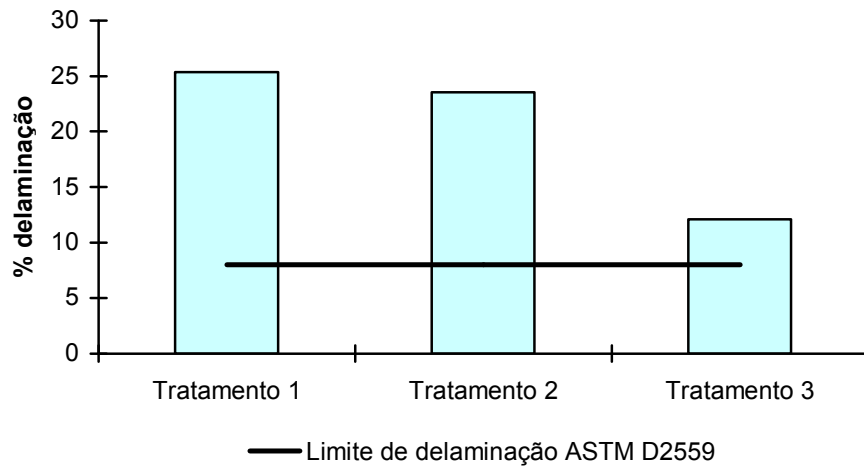
Na composição com 90% de resorcinol e 10% de tanino, apesar da comparação entre médias da resistência não mostrar influência da temperatura ou do metanol, demonstrou melhor qualidade de adesão, verificada através da porcentagem de falha e da comparação com a madeira sólida, no tratamento colado em temperatura ambiente sem metanol e a 60°C com metanol. O primeiro tratamento, além desses fatores não apresentou perda na resistência após o ciclo de exposição.

A composição com 80% de resorcinol e 20% de tanino apresentou os melhores resultados nos tratamentos sem metanol nas duas temperaturas e com metanol a 60°C.

O adesivo de tanino apresenta cura em altas temperaturas, segundo MORI et al. (2002) o pico de cura do tanino de acácia negra começa em 126,09°C e pode chegar até 216,2°C, por isso os adesivos com tanino na formulação apresentaram uma resistência e qualidade da linha adesiva a 60°C, melhor que o adesivo resorcinol puro. O adesivo resorcinol misturado ao tanino torna o adesivo mais fácil de curar em temperatura ambiente. Segundo PIZZI (1983) isso ocorre porque a adição do resorcinol aumenta o pH acima de 6,0 diminuindo a temperatura exotérmica que controla a reatividade do adesivo, tornando o capaz de curar em temperatura ambiente.

O metanol pode agir nos taninos condensáveis de forma positiva e negativa dependendo da situação. Adicionando metanol quando o adesivo é colado em alta temperatura, controla-se a reação do formaldeído com o tanino. PIZZI (1983) afirma que sob essas circunstâncias uma parte do formaldeído é estabilizado pela formação de hemiacetais, que permitem que menos formaldeído seja volatilizado quando os reagentes alcançam a temperatura da cura. Supõe-se que este seja o motivo da alta resistência das composições com tanino na presença de metanol. O adesivo à base de tanino tende a secar mais rapidamente que os adesivos sintéticos, isto acontece pela maior afinidade da madeira pela água do que pelo adesivo. Segundo PIZZI (1983) o uso de solventes orgânicos como metanol pode causar este tipo de problema, explicando a baixa resistência e qualidade dos adesivos colados em temperatura ambiente com metanol.

Os tratamentos colados em temperatura ambiente resorcinol com metanol (Tratamento 1), 80% resorcinol com 20% de tanino sem metanol (Tratamento 2) e 90% resorcinol com 10% de tanino sem metanol (Tratamento 3) tiveram bons resultados em todas as análises e foram encaminhados para o teste de delaminação. Os resultados do teste encontra-se na Figura 16, as porcentagens de delaminação foram comparadas com a exigência da norma ASTM D-2559 (ASTM,1994b) que determina que a média de delaminação para madeiras de folhosas não deve passar dos 8%. Os três tratamentos superaram a média estabelecida pela norma, porém, o tratamento 3 apresentou a menor porcentagem de delaminação.



**Figura 16:** Comparação entre as médias de porcentagem de delaminação com a norma ASTM D-2559 para Quaruba.

A alta taxa de delaminação pode ter ocorrido principalmente pelas características da madeira, segundo IPT (2003) a madeira de Quaruba apresenta tendência a empenamentos e rachaduras que podem ser agravadas na secagem em estufa causando colapsos nas peças mais espessas. Esses fatores não foram observados durante o teste de cisalhamento provavelmente pelo tamanho dos corpos-de-prova.

## 4.2 Pinus

### 4.2.1 Resistência à tração normal

A Tabela 5 mostra um resumo com as médias por tratamento da resistência a tração normal às fibras e a massa específica aparente a 12% de umidade relativa.

A média da massa específica dos tratamentos ficou entre 0,55-0,63 g/cm<sup>3</sup>. Esse intervalo pode ser considerado ideal para colagem.

Como a massa específica da madeira sólida estava um pouco mais abaixo da massa específica dos tratamentos, foi realizada uma análise de variância para comparar essa diferença e esta não foi significativa como apresentado no Anexo F.

A resistência da madeira sólida foi superior a dos tratamentos, porém segundo a norma da ABNT-NBR 7190 a segurança das peças estruturais não deve depender diretamente da resistência da tração normal às fibras. Caso seja verificado problema relacionado a essas tensões, devem ser empregados dispositivos que impeçam a ruptura.

**Tabela 5:** Médias de resistência a tração normal e massa específica aparente a 12% de umidade relativa

| Adesivo              | Temperatura(°C) | Metanol | $f_{tn}$ (MPa) | $\rho_{12\%}$ |
|----------------------|-----------------|---------|----------------|---------------|
| Resorcinol (Res)     | 25              | 0%      | 1,68           | 0,57          |
|                      |                 | 10%     | 2,11           | 0,57          |
|                      | 60              | 0%      | 1,30           | 0,58          |
|                      |                 | 10%     | 1,86           | 0,62          |
|                      |                 | 0%      | 1,38           | 0,56          |
|                      |                 | 10%     | 2,23           | 0,55          |
| 90% Res + 10% Tanino | 25              | 0%      | 1,97           | 0,61          |
|                      |                 | 10%     | 2,04           | 0,59          |
|                      | 60              | 0%      | 1,72           | 0,63          |
|                      |                 | 10%     | 2,16           | 0,60          |
|                      |                 | 0%      | 1,36           | 0,56          |
|                      |                 | 10%     | 2,11           | 0,57          |
| Média                |                 |         | 1,82           | 0,58          |
|                      | Madeira Sólida  |         | 2,59           | 0,56          |

Onde:  $f_{tn}$  \_ Resistência a tração normal as fibras;  $\rho_{12\%}$  \_ Massa específica aparente a 12% de umidade

Foi realizada uma análise de variância para as resistências a tração normal, que se encontra no Anexo G. A análise mostrou ao nível de 5% de probabilidade que a presença do metanol foi significativa. Pela comparação entre médias através do teste de Tukey foi observado que os tratamentos com metanol apresentaram média 2,08 MPa enquanto que os sem metanol apresentaram média 1,57 MPa.

Na Tabela 6 está representada a análise qualitativa das juntas coladas. Apesar da maior parte da ruptura ocorrer na madeira, na maior parte dos tratamentos as resistências foram baixas ou regulares em relação ao valor característico que foi de 1,21 MPa, o único tratamento que mostrou uma maior porcentagem de ocorrências de alta resistência foi o tratamento com 20% de tanino colado a 60°C com 10% de metanol.



**Tabela 6:** Análise qualitativa das juntas coladas da madeira de pinus na tração normal as fibras

| Adesivos           | Temp (°C) | Modo de Ruptura | Quantidade de Metanol |   |   |       |     |   |   |       |
|--------------------|-----------|-----------------|-----------------------|---|---|-------|-----|---|---|-------|
|                    |           |                 | 0%                    |   |   |       | 10% |   |   |       |
|                    |           |                 | Tipo de Resistência   |   |   |       |     |   |   |       |
| B                  | R         | A               | %                     | B | R | A     | %   |   |   |       |
| Resorcinol (Res)   | 25        | cola            | 0                     | 0 | 0 | 0,0   | 0   | 0 | 0 | 0,0   |
|                    |           | Madeira         | 6                     | 1 | 0 | 100,0 | 5   | 2 | 1 | 100,0 |
|                    |           | Cola e Madeira  | 0                     | 0 | 0 | 0,0   | 0   | 0 | 0 | 0,0   |
|                    | 60        | Cola            | 2                     | 1 | 0 | 30,0  | 0   | 0 | 0 | 0,0   |
|                    |           | Madeira         | 4                     | 0 | 0 | 40,0  | 5   | 1 | 0 | 100,0 |
|                    |           | Cola e Madeira  | 2                     | 1 | 0 | 30,0  | 0   | 0 | 0 | 0,0   |
| 90% Res+10% Tanino | 25        | Cola            | 0                     | 0 | 0 | 0,0   | 1   | 2 | 1 | 44,4  |
|                    |           | Madeira         | 6                     | 0 | 0 | 100,0 | 2   | 1 | 1 | 44,4  |
|                    |           | Cola e Madeira  | 0                     | 0 | 0 | 0,0   | 1   | 0 | 0 | 11,1  |
|                    | 60        | Cola            | 0                     | 0 | 0 | 0,0   | 0   | 0 | 1 | 12,5  |
|                    |           | Madeira         | 4                     | 4 | 0 | 88,9  | 4   | 0 | 1 | 62,5  |
|                    |           | Cola e Madeira  | 1                     | 0 | 0 | 11,1  | 1   | 1 | 0 | 25,0  |
| 80% Res+20% Tanino | 25        | Cola            | 0                     | 0 | 0 | 0,0   | 0   | 0 | 0 | 0,0   |
|                    |           | Madeira         | 5                     | 1 | 1 | 100,0 | 4   | 2 | 1 | 100,0 |
|                    |           | Cola e Madeira  | 0                     | 0 | 0 | 0,0   | 0   | 0 | 0 | 0,0   |
|                    | 60        | Cola            | 4                     | 0 | 0 | 40,0  | 0   | 0 | 0 | 0,0   |
|                    |           | Madeira         | 4                     | 0 | 0 | 40,0  | 4   | 0 | 4 | 100,0 |
|                    |           | Cola e Madeira  | 2                     | 0 | 0 | 20,0  | 0   | 0 | 0 | 0,0   |

Onde: B- resistências baixas, próximas ao valor característico; R- resistências regulares, abaixo da média da madeira sólida porém próximas do mesmo (não inferior a 0,85fm); A- resistências altas maiores que a média da madeira sólida.

Os resultados encontrados não estão de acordo com MACEDO E CALIL JR. (1999). A madeira de pinus usada por eles apresentava uma massa específica média de 0,50 g/cm<sup>3</sup>. Os autores encontraram uma média para as juntas coladas com resorcinol superior a da madeira sólida e a maioria dos corpos-de-prova quebraram parte na madeira e parte na cola e a resistência encontrada foi superior em relação ao valor característico.

#### 4.2.2. Resistência ao cisalhamento na compressão paralela as fibras antes e após exposição a condições simuladas de serviços externos

A Tabela 7 demonstra um resumo dos resultados com as médias de resistência, porcentagem de falha, teor de umidade e massa específica 12% e a 0% de umidade do teste de cisalhamento antes e após expostas ao ciclo respectivamente.

O teor de umidade da madeira encontrava-se entre 10-13 %. Esse intervalo pode ser considerado adequado para colagem segundo o FOREST PRODUCTS LABORATORY (1999) e PROPERZI et al. (2003) que propõe um intervalo de 6 a 14% para uma boa colagem. O segundo autor ainda analisou que acima desse teor é necessário um grande tempo de prensagem para que se tenha uma boa adesão.

A massa específica a 12% de umidade encontra-se no intervalo 0,43-0,49 g/cm<sup>3</sup> e a 0% encontra se entre 0,40-0,47 g/cm<sup>3</sup>. Este intervalo está de acordo ao recomendado pelo FOREST PRODUCTS LABORATORY (1999) de não apresentar valor maior do que 0,8g/cm<sup>3</sup>.

Quanto à resistência ao cisalhamento da madeira colada antes do ciclo de exposição, observou-se que todos os resultados foram mais baixos que o da madeira sólida, mas isto pode

estar também relacionado com o fato da massa específica mais elevada da madeira sólida. Para comprovar isso foi realizada uma análise de variância entre a massa específica dos tratamentos e a da madeira sólida que se encontra no Anexo H, essa análise mostrou diferença significativa entre as massas. Para eliminar essa influência foi calculada uma resistência relativa em função da massa específica a 12% onde pode-se observar que todos os tratamentos superaram a resistência da madeira sólida. Um bom indicativo da boa colagem obtida.

Foi possível observar que todos os adesivos perderam resistência após o ciclo de exposição; diferente do que ocorreu com a espécie quaruba. Antes a média foi de 10,5 Mpa e após, a média foi de 8,54 MPa.

**Tabela 7:** Médias de resistência, porcentagem de falha, teor de umidade, e massa específica a 12 e a 0% da madeira pinus no teste de cisalhamento antes e após exposição.

| Antes da exposição a condições de serviço externo |                 |         |                      |      |                  |                 |                       |
|---|-----------------|---------|----------------------|------|------------------|-----------------|-----------------------|
| Adesivo   | Temperatura(°C) | Metanol | f <sub>v</sub> (MPa) | TU%  | ρ <sub>12%</sub> | ρ <sub>0%</sub> | MPa/g/cm <sup>3</sup> |
| Resorcinol (Res)                                  | 25              | 0%      | 10,7                 | 13,0 | 0,47             | 0,44            | 22,7*                 |
|   |                 | 10%     | 10,4                 | 12,9 | 0,47             | 0,44            | 22,1*                 |
|   | 60              | 0%      | 9,9                  | 12,2 | 0,45             | 0,43            | 22,1*                 |
|   |                 | 10%     | 11,0                 | 13,0 | 0,46             | 0,43            | 23,9*                 |
| 90% Res + 10% Tanino                              | 25              | 0%      | 11,8                 | 13,2 | 0,47             | 0,44            | 25,0*                 |
|   |                 | 10%     | 10,0                 | 13,3 | 0,43             | 0,40            | 23,1*                 |
|   | 60              | 0%      | 9,0                  | 12,9 | 0,43             | 0,41            | 20,9*                 |
|   |                 | 10%     | 11,7                 | 11,3 | 0,46             | 0,43            | 25,4*                 |
| 80% Res. + 20% Tanino                             | 25              | 0%      | 10,6                 | 13,0 | 0,46             | 0,43            | 23,0*                 |
|   |                 | 10%     | 10,0                 | 13,5 | 0,46             | 0,42            | 21,6*                 |
|   | 60              | 0%      | 10,3                 | 13,1 | 0,44             | 0,42            | 23,3*                 |
|   |                 | 10%     | 10,6                 | 12,1 | 0,45             | 0,42            | 23,6*                 |
| Média   |                 |         | 10,5                 | 12,7 | 0,45             | 0,43            | 23,4                  |
| Madeira sólida                                    |                 |         | 11,9                 | 12,0 | 0,59             |                 | 20,1                  |
| Após a exposição a condições de serviço externo   |                 |         |                      |      |                  |                 |                       |
| Adesivo   | Temperatura(°C) | Metanol | F <sub>v</sub> (MPa) | TU%  | ρ <sub>12%</sub> | ρ <sub>0%</sub> |                       |
| Resorcinol (Res)                                  | 25              | 0%      | 9,0                  | 10,7 | 0,46             | 0,44            |                       |
|   |                 | 10%     | 7,9                  | 11,2 | 0,49             | 0,47            |                       |
|   | 60              | 0%      | 8,5                  | 11,1 | 0,46             | 0,43            |                       |
|   |                 | 10%     | 9,5                  | 11,4 | 0,46             | 0,43            |                       |
| 90% Res + 10% Tanino                              | 25              | 0%      | 9,3                  | 10,9 | 0,47             | 0,45            |                       |
|   |                 | 10%     | 8,5                  | 11,2 | 0,44             | 0,42            |                       |
|   | 60              | 0%      | 6,5                  | 11,3 | 0,43             | 0,41            |                       |
|   |                 | 10%     | 8,8                  | 11,0 | 0,45             | 0,43            |                       |
| 80% Res. + 20% Tanino                             | 25              | 0%      | 9,6                  | 10,9 | 0,46             | 0,43            |                       |
|   |                 | 10%     | 8,2                  | 10,9 | 0,44             | 0,41            |                       |
|   | 60              | 0%      | 8,1                  | 11,2 | 0,44             | 0,42            |                       |
|   |                 | 10%     | 8,5                  | 10,9 | 0,44             | 0,42            |                       |
| Média   |                 |         | 8,5                  | 11,1 | 0,45             | 0,43            |                       |

Onde: f<sub>v</sub> é o limite de resistência ao cisalhamento paralelo as fibras, TU% é o teor de umidade, ρ<sub>12%</sub> é a massa específica aparente a 12% de umidade, ρ<sub>0%</sub> é a massa específica aparente da madeira anidra, MPa/g/cm<sup>3</sup> é a resistência em relação a massa específica, \* tratamentos que atingiram a resistência da madeira sólida.

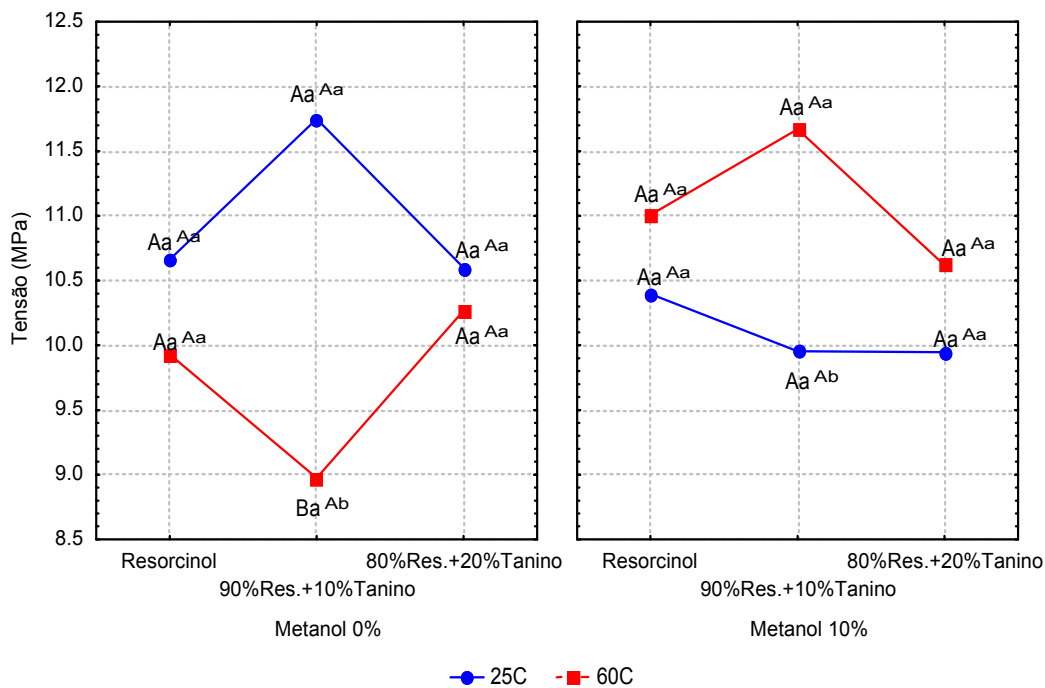
NASCIMENTO et al. (2002) encontraram resultados semelhantes quando compararam a madeira colada com resorcinol com a madeira sólida de pinus. A madeira utilizada por eles apresentava uma massa específica média de 0,51 g/cm<sup>3</sup>. Os autores encontraram uma resistência média ao cisalhamento de 11,7 MPa para as juntas coladas e 8,3 MPa para a madeira sólida.

Porém, esses resultados de resistência não estão de acordo com o encontrado por MACEDO E CALIL JR. (1999). Esses autores utilizaram madeira de *Pinus elliottii* com uma massa específica de 0,50 g/cm<sup>3</sup>, colada com o adesivo resorcinol e observaram que a resistência da madeira sólida foi menor que a resistência dos tratamentos mesmo com uma massa específica semelhante.

A norma ASTM D-2559 exige para madeira de *Pinus sp.*, com uma massa específica de 0,51g/cm<sup>3</sup> a 12% de umidade uma média de resistência dos tratamentos superior a 9,04 MPa para madeira destinada a estruturas; valor bem abaixo do encontrado no teste de cisalhamento antes da exposição; indicando que os tratamentos podem ser usados para serviços externos.

Foi realizada uma análise de variância para os fatores adesivo, temperatura e presença de metanol para os resultados de cisalhamento antes da exposição. Os resultados desta análise encontram-se no Anexo I, onde pode-se observar que somente as interações Temperatura-Metanol e Adesivo-Temperatura-Metanol apresentaram diferenças significativas ao nível de 0,05 de probabilidade.

A Figura 17 mostra a comparação entre médias da interação tripla Adesivo-Temperatura-Metanol. O gráfico mostra uma tendência da influência do metanol na temperatura. Na temperatura de 25°C os melhores resultados ocorreram sem metanol e na temperatura 60°C os melhores resultados ocorreram na presença de metanol. Porém, essa relação só foi realmente significativa na composição adesiva 90% resorcinol com 10% tanino.

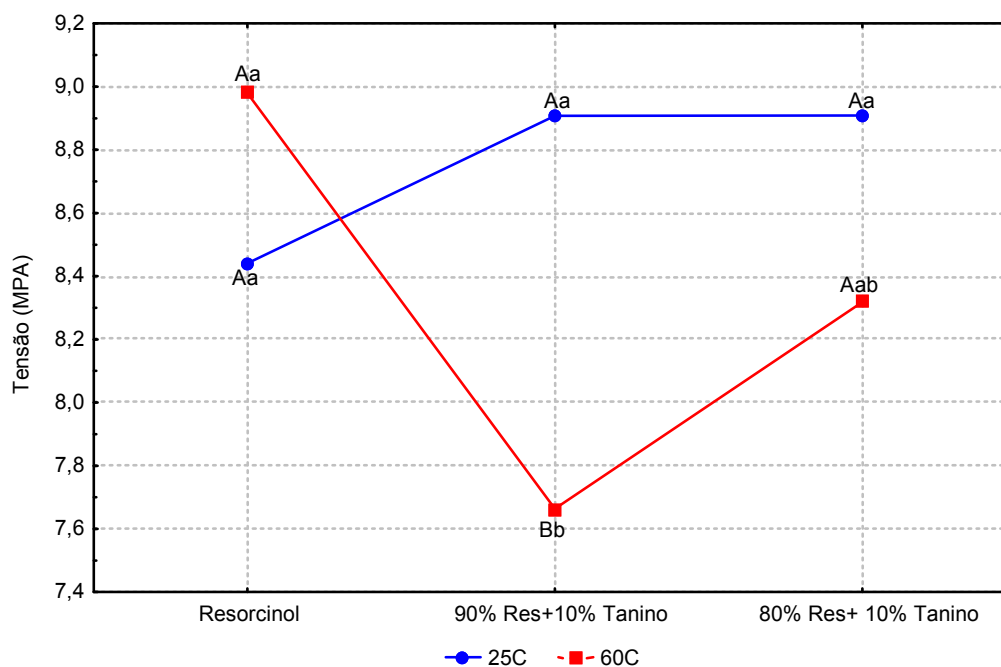


**Figura 17:** Comparação entre médias da interação tripla Adesivo-Temperatura-Metanol pelo teste de Tukey ao nível de 5% de confiança para madeira de pinus para o teste de cisalhamento.

Onde: Letras maiúsculas representam comparações entre um mesmo adesivo, mesma taxa de metanol e temperaturas diferentes, ou seja, entre linhas e letras minúsculas representam as comparações em uma mesma taxa de metanol mesma temperatura e adesivos diferentes, ou seja, dentro da linha. Em sobrescrito: letras maiúsculas representam comparação entre mesmo adesivo, diferentes temperaturas e taxa de metanol, letras minúsculas representam comparação entre um mesmo adesivo, mesma temperatura e taxa de metanol diferentes.

Foi realizada uma nova análise de variância para as resistências ao cisalhamento após o ciclo de intemperismo, o resumo dessa análise encontra-se no Anexo J. Observou-se que foram significativas as diferenças entre as temperaturas individualmente e nas interações Adesivo-Temperatura, Adesivo-Metanol e Temperatura-Metanol.

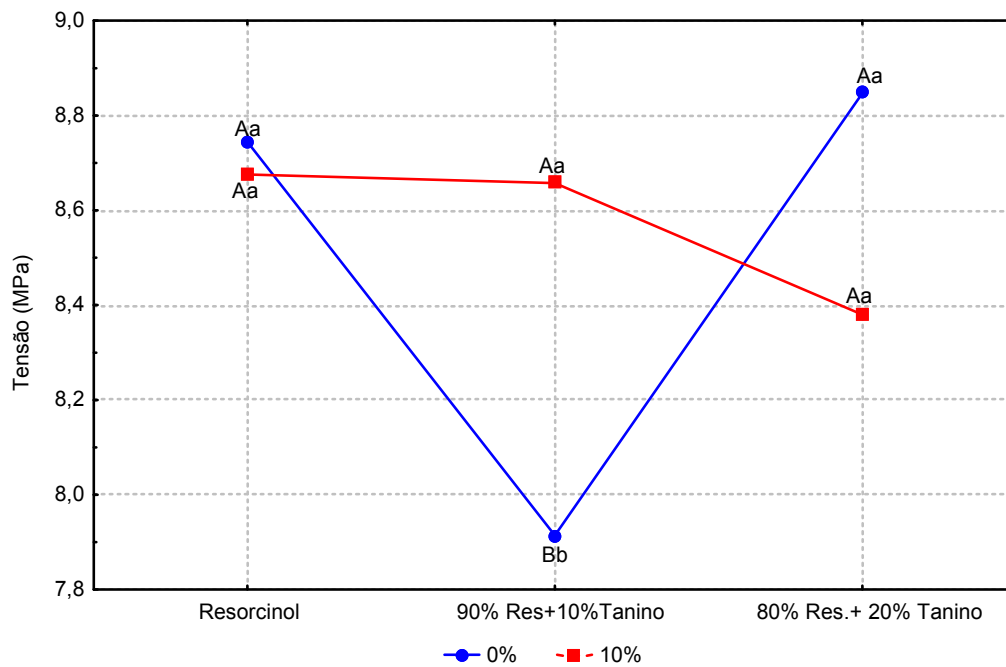
A comparação entre médias da interação Adesivo-Temperatura está representada graficamente na Figura 18. Os adesivos resorcinol e resorcinol com 20% de tanino não tiveram suas médias alteradas significativamente pela temperatura. A composição com 10% de tanino mostrou uma melhor colagem a 25°C.



**Figura 18:** Comparação entre médias da interação Adesivo-Temperatura pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade para madeira de pinus no teste após o ciclo de exposição.

Onde: Letras maiúsculas representam comparações em um mesmo adesivo e temperaturas diferentes, ou seja, entre linhas e letras minúsculas representam as comparações em uma mesma temperatura e adesivos diferentes, ou seja, dentro da linha.

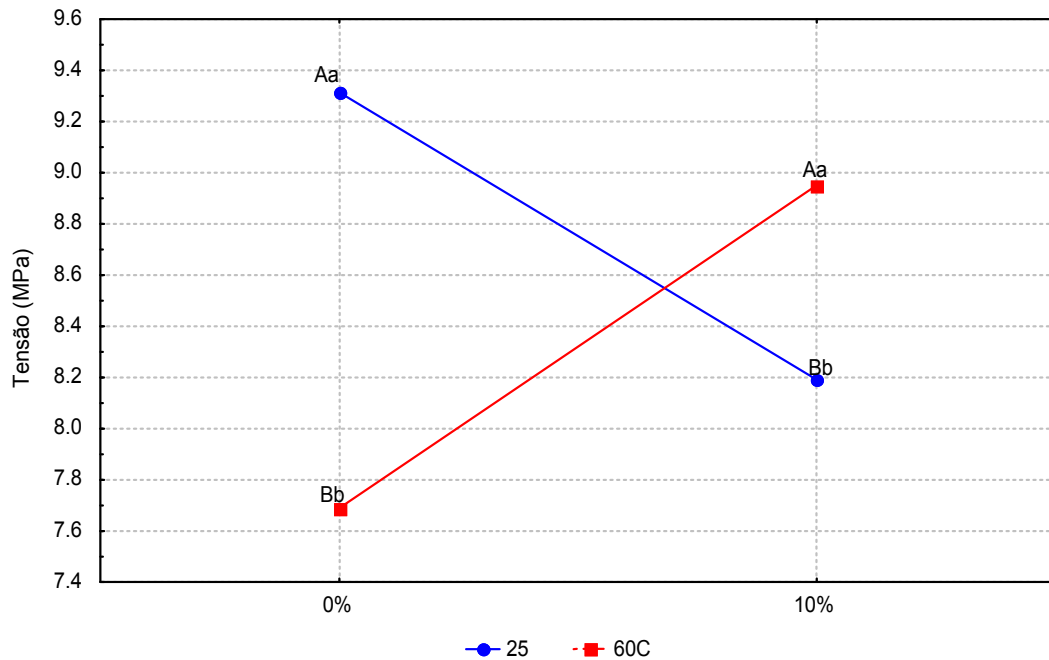
A Figura 19 representa a comparação gráfica entre médias da interação entre Adesivo-Metanol pelo teste de Duncan, com o nível de 95% de confiança. O adesivo com 10% de tanino apresentou um melhor resultado na presença de metanol. Os outros dois adesivos não tiveram suas médias alteradas pela presença de metanol.



**Figura 19:** Comparação entre médias da interação Adesivo-Metanol pelo teste de Duncan ao nível 5% de probabilidade para madeira de pinus no teste de cisalhamento após o ciclo de exposição.

Onde: Letras maiúsculas representam comparações em uma mesma taxa de metanol e temperaturas diferentes, ou seja, entre linhas e letras minúsculas representam as comparações em uma mesma temperatura e taxa de metanol diferentes, ou seja, dentro da linha.

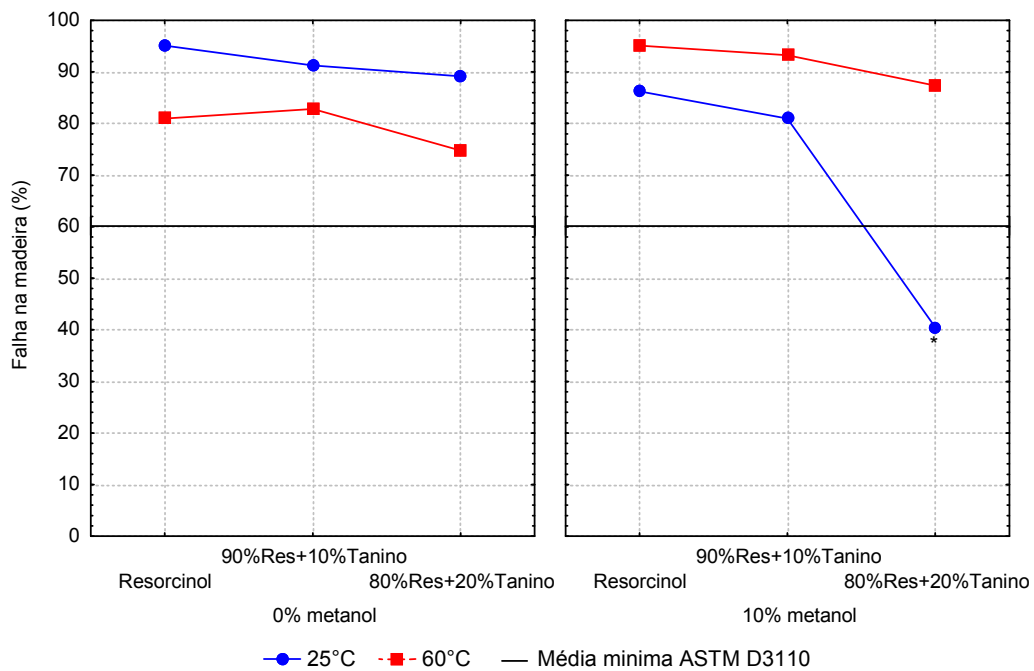
A representação gráfica da comparação entre médias da interação Metanol-Temperatura pelo teste de Tukey encontra-se na Figura 20. Na temperatura 25°C a presença de metanol diminuiu a resistência, o oposto foi observado na temperatura 60°C.



**Figura 20:** Comparação entre médias da interação Temperatura-Metanol pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade para madeira de pinus após o ciclo de exposição. Onde: Letras maiúsculas representam comparações em uma mesma taxa de metanol e temperaturas diferentes, ou seja, entre linhas e letras minúsculas representam as comparações em uma mesma temperatura e taxa de metanol diferentes, ou seja, dentro da linha.

As Figuras 21 e 22 demonstram as médias de porcentagem de falha de cada tratamento antes e após expostas a condições simuladas de serviço externo.

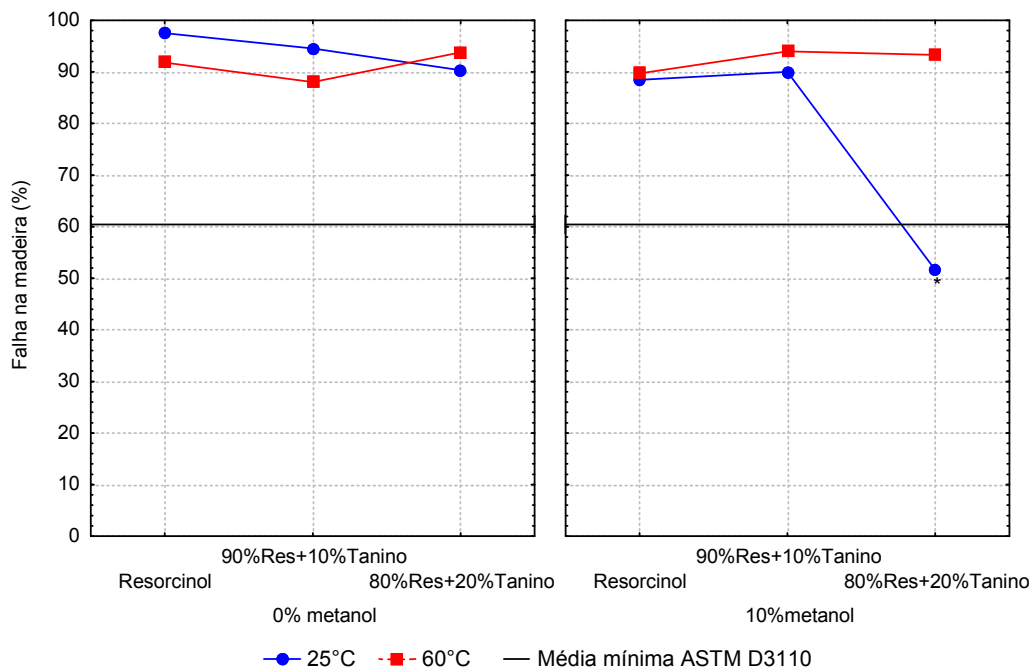
Antes do ciclo de exposição (Figura 21) pode-se observar que quase todos os tratamentos apresentaram altas porcentagens de falha. A composição 80% resorcinol com 20% tanino com metanol colado em temperatura ambiente foi a única que apresentou uma média abaixo de 60% não atendendo portanto a exigência da norma.



**Figura 21:** Médias de porcentagem de Falha no teste de cisalhamento antes do ciclo de exposição na madeira de pinus.

Onde: \* Não alcançou a exigência da norma ASTM D-3110.

Após a exposição (Figura 22), pode-se observar que o resultado se repetiu e apenas o tratamento com 20% de tanino colado em temperatura ambiente com metanol não alcançou os requisitos da norma, os demais tratamentos apresentaram uma alta porcentagem de falha.

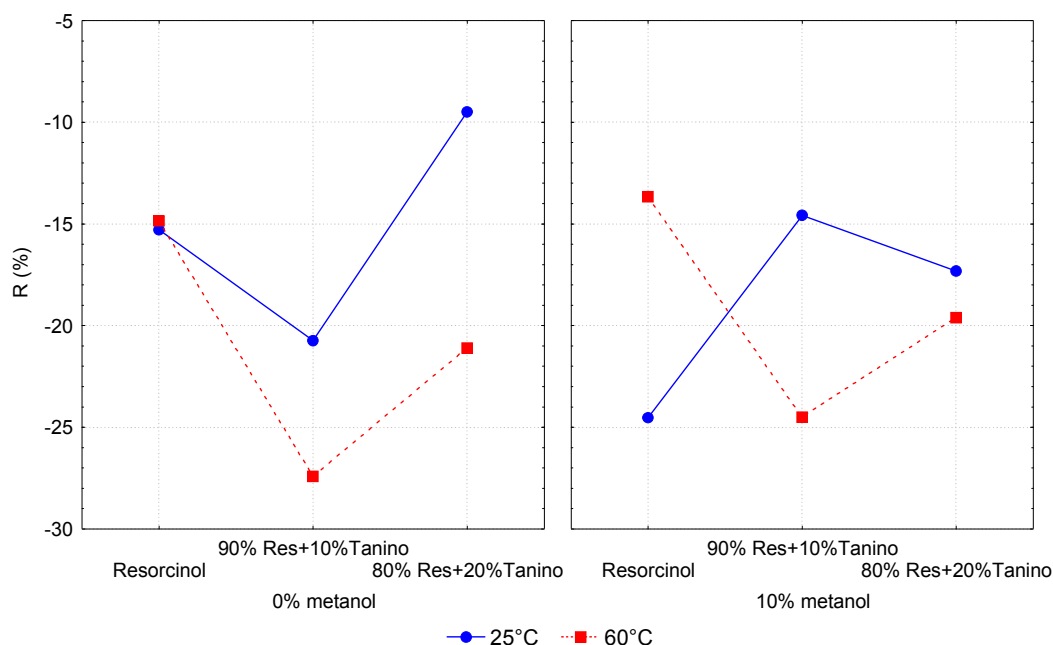


**Figura 22:** Médias de porcentagem de falha no teste de cisalhamento após o ciclo de exposição na madeira de pinus.

Onde: \* Não alcançou a exigência da norma ASTM D-3110.

A última avaliação da qualidade da linha de colagem foi a porcentagem de variação de resistência da linha de colagem após o ciclo de intemperismo (R). As médias de R encontraram-se na Figura 23. Todos os tratamentos perderam resistência. O adesivo resorcinol apresentou maior perda na temperatura 25°C com metanol, nas demais situações as médias foram praticamente iguais. O adesivo com 10% de tanino a 25°C teve menor perda a 25°C com metanol. Na composição com 20% de tanino, a menor perda ocorreu na temperatura ambiente sem metanol.





**Figura 23:** Médias das porcentagens de variação de resistência após o ciclo de exposição na madeira pinus.

Os resultados encontrados na análise de variância para o teste de tração normal e cisalhamento antes e após a exposição se complementam e confirmam os efeitos da temperatura e do metanol nos adesivos.

O resorcinol apresentou bons resultados com e sem metanol nas duas temperaturas tanto em relação a resistência como também na qualidade da linha adesiva.

Esse resultado em relação a temperatura também foi encontrado por VRAZEL (2002), que estudando a diferença de resistência entre algumas formulações de adesivo com e sem aquecimento na madeira de pinus e em mais duas espécies de madeira, ele constatou que não houve diferença significativa entre a cura do resorcinol com e sem aquecimento.

Os adesivos sintéticos são muito utilizados em coníferas e apresentam boa adesão nesse tipo de madeira. A madeira de pinus apresentava baixa massa específica, portanto alta porosidade, facilitando a penetração do adesivo, mesmo com alta viscosidade. Segundo PIZZI (1983), madeiras de baixa massa específica absorvem mais rapidamente a água do adesivo tornando-o mais viscoso e formando uma linha adesiva mais rica em sólidos dos adesivos; desta forma, eles evitam uma movimentação excessiva e formam uma camada mais forte e uniforme. Isso quer dizer que mesmo diminuindo a viscosidade com o metanol e aumentando com a temperatura, o adesivo foi absorvido da mesma maneira.

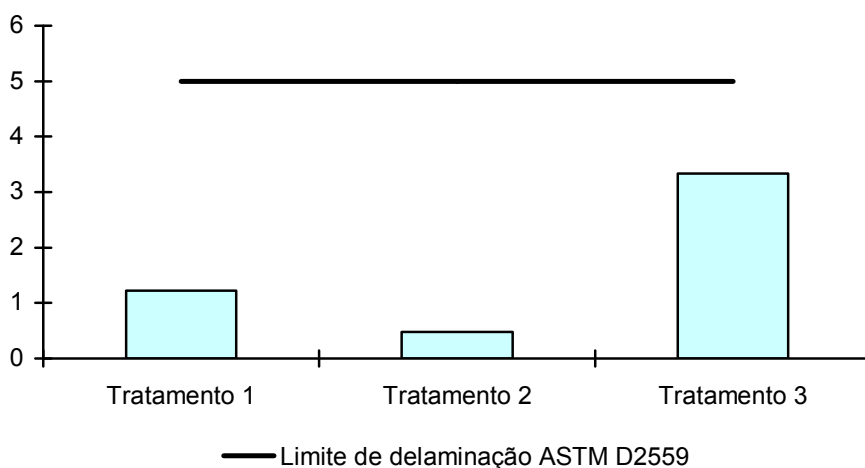
A composição resorcinol com 10% de tanino apresentou melhores resultados a 25°C com e sem metanol e a 60°C com metanol. Em todas as situações a composição apresentou alta porcentagem de falha e teve a resistência maior que a da madeira sólida. Essa influência do metanol e da temperatura é a mesma citada para madeira quaruba, porém, na madeira de pinus a viscosidade não chegou a prejudicar muito a qualidade da linha de cola, mas prejudicou a resistência a umidade e a temperatura.

O adesivo resorcinol com 20% de tanino apresentou altas resistências em todos os tratamentos e foi a composição que menos perdeu resistência colada a 25°C sem metanol. Porém, na composição a 25°C com metanol, a sua porcentagem de falha foi baixa, fato que também ocorreu na colagem da quaruba e supõe-se que tenha acontecido por que o metanol é

um solvente orgânico e diminui a quantidade de açúcares e outras substâncias chamadas de substâncias não tânicas diminuindo a viscosidade do adesivo. Relembrando que isso não acontece na colagem a 60°C porque o metanol se liga com o formaldeído, formando hemiacetais, diminuindo a velocidade de reação.

Em ambas as madeiras a colagem em temperatura ambiente sem metanol em todas as composições, apresentou alta resistência, alta qualidade da linha de cola e alta resistência a condições de serviço externo. Essas colagens, além de apresentarem essas características, apresentam um menor custo de fabricação pelo menor consumo de energia. Dentre essas, pode-se recomendar o uso da composição resorcinol com 20% de tanino pelo seu menor custo e bom desempenho.

Os três melhores tratamentos do teste de cisalhamento após o ciclo de exposição, foram as composições coladas em temperatura ambiente sem metanol, 80% resorcinol com 20% tanino (Tratamento 1) e 90% resorcinol com 10% de tanino (tratamento 2) e a 60°C o adesivo 100% resorcinol colado com metanol (Tratamento 3). Essas composições foram conduzidas ao teste de delaminação e os resultados encontram-se na Figura 24. Pode-se observar que todos os tratamentos atenderam a exigência da norma.



**Figura 24:** Médias de porcentagem de delaminação e comparação com a norma ASTM D-2559 para madeira de pinus.

A madeira de pinus não apresenta muitos problemas de secagem, ao contrário da quaruba, portanto, é normal que em um teste onde a madeira é exposta a vários ciclos de umedecimento e secagem o pinus tenha um melhor resultado. Outro fato também é a qualidade da superfície de contato com o adesivo. A madeira de quaruba possui grã reversa e seu acabamento não é bom, chegando a apresentar até uma aparência de fibras arrancadas. Tal fato diminui a qualidade da linha adesiva. O pinus entretanto possui um ótimo acabamento.

O resultado da madeira de pinus após a delaminação pode ser confirmado pelo experimento de VRAZEL (2002), que constatou que após a delaminação a madeira colada com resorcinol apresentou boa resistência a flexão e alto módulo de ruptura.

Segundo a APA (The engeneered wood association, 2002), um adesivo pode ser classificado de acordo com a sua qualidade por externo, exposição 1, exposição 2 e interno. Os adesivos externos podem ser expostos ao ar livre ou em lugares onde haja uma grande variação de umidade e temperatura, por longo tempo, sem que haja modificação na sua

resistência. Um exemplo seria uma passarela ou uma ponte. Um adesivo de nível exposição 1 pode ser usado em lugares onde haja uma variação das condições ambientais, porém, com algumas restrições; um bom exemplo seriam vigas de telhado. Os adesivos do nível exposição 2 e interno só podem ser usados em ambientes bem protegidos, porém, o primeiro pode ser usado em ambiente onde possivelmente possa ocorrer variações ocasionais de umidade e temperatura.

Os tratamentos que tiveram os melhores resultados em ambas as madeiras podem ser classificados para uso externo. Porém deve se ter cuidado com a espécie que será usada para colagem, pelo resultado no teste de delaminação, supõe-se que a madeira de pinus seria a mais adequada para esse uso, caso a colagem seja feita com a madeira quaruba é mais aconselhável o uso na exposição 1 ou 2.

## 5. CONCLUSÕES

### Quaruba

- O metanol melhorou a adesão do adesivo resorcinol nas duas temperaturas e das composições com tanino a 60°C.
- A temperatura de 60°C na ausência de metanol apresentou uma boa relação com as composições com tanino, nesta temperatura a resistência do resorcinol diminuiu.
- Apenas o tratamento resorcinol colado a 25°C sem metanol apresentou alta resistência à tração normal.
- As porcentagens de delaminação foram altas.

### Pinus

- A colagem a 25°C apresentou bons resultados para todos os adesivos. A colagem a 60°C diminuiu a resistência da composição resorcinol com 10% de tanino.
- A presença de metanol melhorou a qualidade da linha de cola dos três adesivos a 60°C, e diminuiu a qualidade da linha de cola da composição resorcinol com 20% de tanino na temperatura ambiente. Diminuiu ainda a resistência nas condições de serviço externo do adesivo resorcinol também na temperatura ambiente.
- Os tratamentos apresentaram restrições quanto à tração normal.
- Os adesivos testados apresentaram pequenas taxas de delaminação.

## 6. RECOMENDAÇÕES

Para ambas as madeiras, recomenda-se o uso da composição resorcinol com 20% de tanino sem metanol, colado em temperatura ambiente pelo seu menor custo e bom desempenho.

Todas as composições coladas a 25°C e as composições com tanino a 60°C com metanol podem ser usadas em serviço externo na madeira de pinus. Para a madeira de quaruba elas só podem ser utilizadas em ambientes onde existam poucas variações de temperatura e umidade.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Resistance of adhesives to cyclic laboratory aging conditions. ASTM D-1183. **Annual book of A.S.T.M. Standards**, p.405-407, 1994a.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Standard specification for adhesives for structural laminated wood products for use under exterior (wet use) exposure conditions. ASTM D-2559. **Annual book of A.S.T.M. Standards**, v.15.06, p.154-158, 1994b.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Standard test method for integrity for glue joints in structural laminated wood products for exterior use. ASTM D-1101. **Annual book of A.S.T.M. Standards**, v.15,v.06, p.54-56, 1994c.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS-ASTM. Standard methods of testing small clear specimens of timber. ASTM D-143. **Annual book of A.S.T.M. Standards**, v.4, v.10, p.24-65, 1994d.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS-ASTM. Standard specification for adhesives used in nonstructural glued lumber products. ASTM D-3110. **Annual book of A.S.T.M. Standards**, v.15, v.6, p.184-192, 1994e.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS-ASTM. Standard test method for strength properties of adhesive bonds in shear by compression loading. ASTM D-905. **Annual book of A.S.T.M. Standards**, v.15, v.6, p.20-26, 1994f.

APA – The engineered wood association. **Bond Classification**. Technical Topics, technical Services division, p.1, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. NBR 7190. **Projeto de estruturas de madeira**. Rio de Janeiro: ABNT, 1997, 107p.

BASSET, K.H. Effect of certain variables on strength of glued end joints. **Forest Products Journal**, v.10, n.11, p.579-585, 1960.

BOHN, A.R. **Influência da espessura dos anéis de crescimento no comportamento mecânico dos elementos de madeira laminada colada**. Florianópolis:UFSC, 1995. Tese (Mestrado em engenharia civil), UFSC, Universidade Federal de Santa Catarina.

BOHN, A.R., SZÜCS, C.A. Influência da espessura dos anéis de crescimento no comportamento mecânico dos elementos de madeira laminada colada. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 5, 1995, Belo Horizonte. **Anais ...** Belo Horizonte: EEUFMG; CEFET; IBRAMEM, 1995a. v.1. p. 579-586.

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

COSTA, D.L.; NASCIMENTO, A.M.; TOSTES, A.S.; LELIS, R.C.C. Determinação do tempo de formação de gel de adesivos fenólicos compostos. In: JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 12, 2002, Seropédica. **Anais...** Seropédica: UFRRJ, 2002. v.12, n.1,p.73-74.

DINWOODIE, J. M. Properties and performance of wood adhesives in: PIZZI, A. (Ed) **Wood adhesives Chemistry and Tecnology**, V.1 Marcel Dekker,New York, 1983, pp. 1-58.

DRESSLER, V. L. **Investigação de métodos e procedimentos para determinação de tanino e cromo em efluente de curtume**. Dissertação de Mestrado - UFSM, Santa Maria, p. 102, 1994.

FOREST PRODUCTS LABORATORY. **Wood handbook : wood as an engineering material**. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 1999. Paginação irregular.

GEORGE, B.; SIMON, C.; PROPERZI, M.; PIZZI, A.; ELBEZ, G.; Comparative creep characteristics of structural glulam wood adhesives. **Holz als Roh und Werkstoff**, Springer-Verlag, V.61, P.79–80, 2003

GORNIK, D.; HEMINGWAY, R. W.; TIŠLER, V. Tannin-based cold-setting adhesives for face lamination of wood. **Holz als Roh- und Werkstoff**, Springer-Verlag, V.58, P. 23-30, 2000

GRIGSBY, W.; WARNES J. Potential of tannin extracts as resorcinol replacements in cold cure thermoset adhesives. **Holz als Roh und Werkstoff**, Vol. 62, p.433–438, 2004.

GROHMANN, S. Z. **Vigas de madeira laminada colada com lâminas pré – classificadas de *Eucalyptus grandis***. Florianópolis, 1998. 120 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - UFSC, Universidade Federal de Santa Catarina, 1998.

GUNNELLS, D.W.; GARDNER, D.J.; WOLCOTT, M.P. Temperature dependence of wood surface energy. **Wood and Fiber Science** Vol. 26, No. 4, pp. 447–455.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS-IPT. **Madeira: Uso sustentável na construção civil**. São Paulo, p.59, 2003.

JESUS, J. M. H., CALIL Jr, C. C., CHIERICE, G. O. Resistência ao cisalhamento do adesivo poliuretano à base de mamona: parâmetros de colagem. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRA E EM ESTRUTURA DE MADEIRA, 7, 2000, São Carlos . **Anais...** São Carlos : EESC; USP, (arquivo de computador).

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

LABOSKY, P. JR, YOBP, R. D, JANOWIAK, J. J, BLANKENHORN, P. R. Effect of steam pressure refining and resin levels on the properties of UF-bonded red maple MDF. **Forest Products Journal**, Madison, V.43, n. 11,12, p. 82-87, 1993

LAUFENBERG, T.; Exposure effects upon performance of laminated veneer lumber and glulam materials. strength LVL from thin laminated veneers. **Forest Products Journal**, Madison ,V 32, n.5,p.42-48, 1982.

MACÊDO, A.N., CALIL JR., C. Emendas dentadas em madeira laminada colada (MLC); avaliação de método de ensaio. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 6, 1998. Florianópolis-SC. **Anais...** Florianópolis-SC: UFSC, vol. 1, p.183-192, 1998.

MACÊDO, A.N., CALIL JR., C. Estudo de emendas dentadas em madeira laminada colada (MLC): avaliação de método de ensaio– NBR 7190/1997. **Cadernos de engenharia de estruturas**, n.7, p. 23,1999

MANTILLA CARRASCO, E. V. M. (1989). **Resistência, elasticidade e distribuição de tensões nas vigas retas de madeira laminada colada**. São Carlos: ESSC, 1989. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) - Escola de Engenharia de São Carlos, 1989.

MARRA, A. A., **Technology of wood bonding**. Nova York: Van Nostrand Reinhold, 453p.,1992

MATTHIESEN, J.A. Estudo das emendas biseladas em madeira laminada colada. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRA E EM ESTRUTURA DE MADEIRA, 6, 1998, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: UFSC; LEE, 1998. v.1, p.345-356.

MELO, A.V.; MANTILLA CARRASCO, E. V. M. Análise de adesivos em madeira laminada colada in: IX encontro brasileiro em madeiras e em estruturas de madeira, Cuiabá. **Anais...** Cuiabá : UFMT, (arquivo de computador),2004.

MORI, F. A.; VITAL, B. R.; PIMENTA, A. S.; TRUGILHO, P. F.; JAHM; G. N. E DELLA LUCIA, R. M. Análise cinética da cura de adesivos de taninos das cascas de três espécies de *eucalyptus* por calorimetria diferencial exploratória (dsc). **Revista Árvore**,UFV; Viçosa-MG, v.26, n.4, p.493-497, 2002.

NASCIMENTO, A.M.; DELLA LUCIA, R.M.; COSTA, D.L. Simulação do comportamento de vigas laminadas coladas expostas a condições de serviço externo. In: XIII Jornada de iniciação científica na UFRRJ, 12, 2003, Rio de Janeiro. **Anais ...** Seropédica- R.J.: UFRRJ, v.13, n.1, p. 229-232,2003.

NASCIMENTO, A.M.; LELIS, R.C.C.; COSTA, D.L.; OLIVEIRA, C.S. Comportamento de ligações adesivas em madeira de reflorestamento. **Revista Floresta e Ambiente**, UFRRJ; Seropédica , RJ, V.9,n.1, p.54-62, 2002.

NORDSTROM, J.E.P. Bending strength of spruce end-grain butt-joint using resorcinol formaldehyde-based adhesives. **Forest Products Journal**, V.45, n.6, p.77-83, 1995.

OKKONEN, E. A.; VICK, C. B. Bondability of salvaged yellow-cedar with phenol-resorcinol adhesive and hydroxymethylated resorcinol coupling agent. **Forest Product Journal**, Madison,WI, V.48(11/12), p.81-85,1998.

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

PASTORE JUNIOR, F. **Produção de adesivos à base de tanino**. Comunicação técnica nº 19, PRODEPEF, Brasília, BR, 1977.

PETRAUSKI, A. **Desenvolvimento e teste de tesouras para telhados feitas de laminado colado com madeira de *Eucalyptus grandis***. UFV, 1999. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, 1999.

PETRAUSKI, S.M.F.C.; VOLPATO, A.S.; SETTI, R., DIAS, V.X.; PETRAUSKI, A. Estudo do comportamento de vigas em madeira laminada colada confeccionadas com *Eucalyptus*

*grandis* e *Pinus sp.* in: IX encontro brasileiro em madeiras e em estruturas de madeira, Cuiabá. **Anais...** Cuiabá: UFMT, (arquivo de computador),2004.

PINCELLI, A.L.P.S.M.; BRITO, J.O.; CORRENTE, J.E.; Avaliação da termorretificação sobre a colagem na madeira de *Eucalyptus saligna* e *pinus caribaea* var. *Hondurensis*. **Scientia Forestalis**, IPEF, n. 61, p. 122-132, 2002.

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

PIZZI, A. Phenolic resin wood adhesives in: PIZZI, A. (Ed) **Wood adhesives Chemistry and Tecnology**, V.1 Marcel Dekker,New York, pp. 105- 176,1983.

PIZZI, A. Tannin-Based wood adhesives in: PIZZI, A. (Ed) **Wood adhesives Chemistry and Tecnology**, V.1 Marcel Dekker,New York, pp. 105- 176,1983.

PIZZI, A.; STEPHANOU, A.; HSE, C. Y. Mechanisms of tannin rearrangements in thermosetting tannin adhesives for particleboard. R.Adhesive techonology and bonded tropical wood products. Serie 96. 2-14. 1998.

PROPERZI, M., PIZZI, A., UZIELLI, L. Comparative wet wood glueing performance of different types of Glulam wood adhesives **Holz als Roh und Werkstoff**, V.61, 77-78, 2003

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

SASSAKI, H., MCARTHUR, E. Improving scarf joint strength. **Forest Products Journal**, v.23, n.5, p. 37-39, 1972.

SASSAKI, H., MCARTHUR, E., GOTTSTEIN, J.W. Maximum strength of end-grain to end grain butt joints. **Forest Products Journal**, v.23, n.2, p. 48-54, 1973.

SCHULTZ, J. AND NARDIN, M. Theories and mecanisms of adhesion In:PIZZI, A.; MITTAL, K. L. (Eds) **Handbook of Adhesive Technology**. New York: Marcel Dekker, 1994. p. 19-32.

SELLERS, T., JR. 1994. Adhesives in the Wood Industry in: PIZZI A.; MITTAL, K. L. (Eds.) **Handbook of Adhesive Technology**. New York: Marcel Dekker, 1994, P. 599-614.

SERPA, P.N.; ROCHA VITAL, B.; DELLA LUCIA, R.M.; PIMENTA, A.S. Avaliação de algumas propriedades da madeira de *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna* e *Pinus elliotti*. **Revista Árvore**, viçosa-MG, v.27,n.25 , 723-733, 2003.

SKEIST, I. **Handbook of adhesives**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1990. 778 p.

SOBRAL FILHO. **Adesão e adesivos para madeira:Teorias da adesão e a natureza das colagens com madeira**.Brasília: Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal, 22 p. (Série Técnica, 5), 1982

SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA Disponível em:  
<<http://www.sbs.org.br/estatisticas.html>> Acesso em: 20 março de 2006

SOUZA, M.H.,MAGLIANO, M.M., CAMARGOS, J.A.A.; **Madeiras tropicais brasileiras**. 2ed., rev. Brasília: Edições IBAMA, 152p. , 2002.

SZÜCS, C. A. Painéis-MLC. Disponível em: <[http://www.remade.com.br/madeiras/paineis\\_mlc](http://www.remade.com.br/madeiras/paineis_mlc)>. Acesso em: 26 junho de 2004

SZÜCS, C.A., GRAEFF, A., SILVA, R.H., SILES, M.H.P. Influência da diluição do adesivo na composição do adesivo na composição da madeira laminada colada. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRA E EM ESTRUTURA DE MADEIRA, 6, 1998, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: UFSC; LEE, 1998. v.1, p. 315-324.

SZÜCS, C.A.; VELLOSO, J.G. Uma experiência de apoio científico e tecnológico para o desenvolvimento do setor de base florestal. In: IX encontro brasileiro em madeiras e em estruturas de madeira, Cuiabá. **Anais...** Cuiabá: UFMT, (arquivo de computador),2004.

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

VAN RENSBURG, B.W.J., BURDZIK, W.M.G., EBERSOHN, W., CILLIE, C. The effect of timber density and type of adhesive on the strength of finger-joints in s.a. pine and Eucalyptus grandis. **South African Forestry Journal**, n.140, p.39-43,1987.

VRAZEL,M.E. **The effects of species, adhesive type, and cure temperature on the strength and durability of a structural finger joint**. Mississippi,EUA. 84p. Dissertação (Mestrado em Science in Forest Products) Department of Forest Products-MSU, 2002.

ZANGIÁCOMO, A. L., ROCCO LAHR, F. A.; Espécies tropicais alternativas na produção de madeira laminada colada In: VIII ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 2002. Uberlândia-MG. **Anais...** Uberlândia-MG: UFMG, (arquivo de computador), 2002.

ZANGIÁCOMO, A.L.; **Emprego de espécies tropicais alternativas na produção de elementos estruturais de madeira laminada colada**. São Carlos, SP. 103p. Dissertação (Mestrado em engenharia de estruturas)- Escola de engenharia de São Carlos-USP, 2003.



## ANEXOS

**Anexo A:** Análise de variância juntas coladas e madeira sólida para o fator massa específica aparente a 12% de umidade da madeira Quaruba no teste de tração.

| Fonte de variação            | Graus de Liberdade | Quadrado Médio | F      | Prob     |
|------------------------------|--------------------|----------------|--------|----------|
| Tratamentos e Madeira sólida | 12                 | 0,013          | 7,44** | 0,000000 |
| Resíduo                      | 151                | 0,002          |        |          |
| Total                        | 163                |                |        |          |

**Anexo B:** Análise de variância das juntas coladas para os fatores adesivo, temperatura e presença de metanol para madeira Quaruba no teste de tração

| Fonte de variação               | Graus de Liberdade | Quadrado Médio | F       | Prob     |
|---------------------------------|--------------------|----------------|---------|----------|
| Adesivo                         | 2                  | 3,90           | 4,10*   | 0,018765 |
| Temperatura                     | 1                  | 4,43           | 4,67*   | 0,032567 |
| Metanol                         | 1                  | 7,32           | 7,71**  | 0,006321 |
| Adesivo x Temperatura           | 2                  | 9,99           | 10,52** | 0,000059 |
| Adesivo x Metanol               | 2                  | 4,75           | 5,01**  | 0,008068 |
| Temperatura x Metanol           | 1                  | 2,30           | 2,43    | 0,121894 |
| Adesivo x Temperatura x Metanol | 2                  | 0,31           | 0,33    | 0,719225 |
| Resíduo                         | 126                | 0,95           |         |          |
| Total                           | 137                |                |         |          |

**Anexo C:** Análise de variância juntas coladas e madeira sólida para o fator massa específica aparente a 12% de umidade da madeira Quaruba no teste de cisalhamento antes do ciclo de exposição.

| Fonte de variação            | Graus de Liberdade | Quadrado Médio | F      | Prob     |
|------------------------------|--------------------|----------------|--------|----------|
| Tratamentos e Madeira Sólida | 12                 | 0,0094         | 3,82** | 0,000058 |
| Resíduo                      | 125                | 0,0025         |        |          |
| Total                        | 137                |                |        |          |

**Anexo D:** Análise de variância das juntas coladas para os fatores adesivo, temperatura e presença de metanol para madeira Quaruba no teste de cisalhamento antes do ciclo de exposição.

| Fonte de variação               | Graus de Liberdade | Quadrado Médio | F       | Prob     |
|---------------------------------|--------------------|----------------|---------|----------|
| Adesivo                         | 2                  | 2,79           | 1,64    | 0,198102 |
| Temperatura                     | 1                  | 98,99          | 58,25** | 0,000000 |
| Metanol                         | 1                  | 1,97           | 1,16    | 0,283487 |
| Adesivo x Temperatura           | 2                  | 11,61          | 6,83**  | 0,001606 |
| Adesivo x Metanol               | 2                  | 12,01          | 7,07**  | 0,001300 |
| Temperatura x Metanol           | 1                  | 2,52           | 1,49    | 0,225537 |
| Adesivo x Temperatura x Metanol | 2                  | 11,96          | 7,04**  | 0,001339 |
| Resíduo                         | 108                | 1,70           |         |          |
| Total                           | 118                |                |         |          |

**Anexo E:** Análise de variância das juntas coladas para os fatores adesivo, temperatura e presença de metanol para madeira Quaruba no teste de cisalhamento após o ciclo de exposição.

| Fonte de variação               | Graus de Liberdade | Quadrado Médio | F        | Prob     |
|---------------------------------|--------------------|----------------|----------|----------|
| Adesivo                         | 2                  | 4,22           | 3,01     | 0,053524 |
| Temperatura                     | 1                  | 207,04         | 147,71** | 0,000000 |
| Metanol                         | 1                  | 0,28           | 0,20     | 0,656511 |
| Adesivo x Temperatura           | 2                  | 25,09          | 17,90**  | 0,000000 |
| Adesivo x Metanol               | 2                  | 16,68          | 11,90**  | 0,000021 |
| Temperatura x Metanol           | 1                  | 30,00          | 21,40**  | 0,000010 |
| Adesivo x Temperatura x Metanol | 2                  | 3,33           | 2,37     | 0,098036 |
| Resíduo                         | 108                | 1,40           |          |          |
| Total                           | 119                |                |          |          |

**Anexo F :** Análise de variância das juntas coladas e madeira sólida para o fator massa específica aparente a 12% para madeira Pinus para o teste de tração.

| Fonte de variação            | Graus de Liberdade | Quadrado Médio | F     | Prob     |
|------------------------------|--------------------|----------------|-------|----------|
| Tratamentos e Madeira Sólida | 12                 | 0,006          | 0,743 | 0,706285 |
| Resíduo                      | 111                | 0,008          |       |          |
| Total                        | 123                |                |       |          |

**Anexo G:** Análise de variância das juntas coladas para os fatores adesivo, temperatura e presença de metanol na madeira pinus para o teste tração.

| Fonte de variação               | Graus de Liberdade | Quadrado Médio | F       | Prob     |
|---------------------------------|--------------------|----------------|---------|----------|
| Adesivo                         | 2                  | 0,23           | 0,73    | 0,485380 |
| Temperatura                     | 1                  | 0,26           | 0,83    | 0,363600 |
| Metanol                         | 1                  | 6,20           | 20,01** | 0,000024 |
| Adesivo x Temperatura           | 2                  | 0,56           | 1,80    | 0,171171 |
| Adesivo x Metanol               | 2                  | 0,04           | 0,13    | 0,880986 |
| Temperatura x Metanol           | 1                  | 0,07           | 0,24    | 0,626881 |
| Adesivo x Temperatura x Metanol | 2                  | 0,66           | 2,12    | 0,126434 |
| Resíduo                         | 83                 | 0,31           |         |          |
| Total                           | 94                 |                |         |          |

**Anexo H:** Análise de variância juntas coladas e madeira sólida para o fator massa específica aparente a 12% de umidade da madeira Pinus no teste de cisalhamento antes do ciclo de exposição.

| Fonte de variação            | Graus de Liberdade | Quadrado Médio | F       | Prob     |
|------------------------------|--------------------|----------------|---------|----------|
| Tratamentos e Madeira Sólida | 12                 | 0,027          | 16,16** | 0,000000 |
| Resíduo                      | 138                | 0,002          |         |          |
| Total                        | 150                |                |         |          |

**Anexo I:** Análise de variância das juntas coladas para os fatores adesivo, temperatura e presença de metanol para madeira Pinus no teste de cisalhamento antes do ciclo de exposição.

| Fonte de variação               | Graus de Liberdade | Quadrado Médio | F       | prob     |
|---------------------------------|--------------------|----------------|---------|----------|
| Adesivo                         | 2                  | 0,58           | 0,42    | 0,656558 |
| Temperatura                     | 1                  | 0,63           | 0,46    | 0,497609 |
| Metanol                         | 1                  | 1,78           | 1,30    | 0,256583 |
| Adesivo x Temperatura           | 2                  | 1,36           | 1,00    | 0,371877 |
| Adesivo x Metanol               | 2                  | 1,21           | 0,88    | 0,416571 |
| Temperatura x Metanol           | 1                  | 41,80          | 30,60** | 0,000000 |
| Adesivo x Temperatura x Metanol | 2                  | 9,93           | 7,27**  | 0,001053 |
| Resíduo                         | 119                | 1,37           |         |          |
| Total                           | 130                |                |         |          |

**Anexo J:** Análise de variância das juntas coladas para os fatores adesivo, temperatura e presença de metanol para madeira Pinus no teste de cisalhamento após o ciclo de exposição.

| Fonte de variação               | Graus de Liberdade | Quadrado Médio | F       | Prob     |
|---------------------------------|--------------------|----------------|---------|----------|
| Adesivo                         | 2                  | 1,98017        | 1,75    | 0,178443 |
| Temperatura                     | 1                  | 5,59964        | 4,95*   | 0,028133 |
| Metanol                         | 1                  | 0,14291        | 0,13    | 0,722898 |
| Adesivo x Temperatura           | 2                  | 8,13847        | 7,20**  | 0,001163 |
| Adesivo x Metanol               | 2                  | 3,80298        | 3,36*   | 0,038281 |
| Temperatura x Metanol           | 1                  | 42,61515       | 37,69** | 0,000000 |
| Adesivo x Temperatura x Metanol | 2                  | 1,09487        | 0,97    | 0,382995 |
| Resíduo                         | 108                | 1,130696       |         |          |
| Total                           | 119                |                |         |          |