

**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

Estudo do tempo de adesão, da temperatura e da pressão de colagem na tensão limite de cisalhamento de uniões de madeira de *Eucalyptus grandis* coladas com adesivo sem solvente

Marco Aurélio Melotto

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre em Recursos Florestais. Área de concentração: Tecnologia de Produtos Florestais

**Piracicaba
2007**

Marco Aurélio Melotto
Engenheiro Civil

Estudo do tempo de adesão, da temperatura e da pressão de colagem na tensão limite de cisalhamento de uniões de madeira de *Eucalyptus grandis* coladas com adesivo sem solvente

Orientador:
Prof. Dr. JOSÉ NIVALDO GARCIA

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre em Recursos Florestais. Área de concentração: Tecnologia de Produtos Florestais

Piracicaba
2007

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - ESALQ/USP**

Melotto, Marco Aurélio

Estudo do tempo de adesão, da temperatura e da pressão de colagem na tensão limite de cisalhamento de uniões de madeira de *Eucalyptus grandis* coladas com adesivos sem solvente / Marco Aurélio Melotto. - - Piracicaba, 2007.
123 p. : il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2007.
Bibliografia.

1. Colas e adesivos 2. Ensaio de cisalhamento 3. Eucalipto 4. Laminados 5. Madeira
6. Temperatura I. Título

CDD 674.142

“Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor”

*A meus pais Ezequiel e Odila
e a minha amada Luciana
pertence esse trabalho*

AGRADECIMENTOS

A realização desse trabalho envolveu o apoio de várias pessoas, das quais sou imensamente grato. Em primeiro lugar, com especial deferência, gostaria de agradecer ao Prof. Dr. José Nivaldo Garcia que, desde o início asseverou em nosso sucesso, me oferecendo uma orientação acadêmica de valor inestimável e um exemplo de retidão de conduta e dedicação ao trabalho muito raros. Sem a orientação e incentivo do Prof. Garcia esse trabalho, de modo indubitável, não teria sido realizado. Gostaria de agradecer também os componentes da banca examinadora, o Prof. Dr. Humberto de Campos e o Dr. Israel Luiz Felipe pesquisador do Instituto Florestal do Estado de São Paulo, cujas críticas e sugestões permitiram que o trabalho se completasse de maneira adequada.

Dentro da ESALQ, vários funcionários e colegas foram fundamentais para o complementar desse labor, em especial os membros que compõem o Laboratório de Engenharia e Máquinas para Madeira.

Não poderia de olvidar meus amigos que sempre me apoiaram e acreditaram na rematação de mais esta etapa de minha vida, me fornecendo suporte e respaldo.

Finalmente, agradeço a minha esposa Luciana, com a dedicação com que tem me apoiado e pelo tempo roubado de nossos fins-de-semana, feriados, férias... Agradeço a minha família: a meus pais Ezequiel e Odila, a meus irmãos Beto e Luciane, aos meus sogros D. Cacilda e Seu Geraldo.

Naturalmente, os eventuais erros, omissões e imprecisões são de minha exclusiva responsabilidade.

“Mentes grandes discutem idéias; mentes medianas discutem eventos; mentes pequenas discutem pessoas”.

Blaise Pascal (filósofo francês 1623 – 1662)

SUMÁRIO

RESUMO.....	7
ABSTRACT.....	8
1 INTRODUÇÃO.....	9
1.1 Considerações iniciais.....	9
1.2 Objetivos.....	10
1.3 Justificativa do trabalho.....	11
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	12
2.1 Madeira como material de construção civil.....	12
2.2 Madeira laminada colada.....	14
2.3 Tipos de ligação.....	20
2.3.1 Entre peças em uma mesma lâmina.....	20
2.3.2 Entre lâminas.....	22
2.4 Causas ecológicas.....	27
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	29
3.1 Tempo de cura do adesivo em condições controladas.....	29
3.2 Caracterização dos corpos-de-prova.....	29
3.3 Desenvolvimento de um equipamento destinado a manter os corpos-de-prova sob influência simultânea de pressão e temperatura.....	32
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	48
4.1 Cisalhamento no plano de cola.....	48
4.2 Análise estatística.....	57
5 CONCLUSÕES.....	118
REFERÊNCIAS.....	119

RESUMO

Estudo do tempo de adesão, da temperatura e da pressão de colagem na tensão limite de cisalhamento de uniões de madeira de *Eucalyptus grandis* coladas com adesivo sem solvente

A utilização da madeira laminada colada (MLC) é uma alternativa viável para o aproveitamento de todo o potencial da madeira, apresentando uma série de vantagens. A ligação entre as lâminas, no entanto, tem papel fundamental para a boa qualidade de peças de MLC. Portanto, para um bom desempenho de estruturas de MLC, é fundamental a escolha de um adesivo com boa resistência mecânica e resistência à ação do intemperismo. Os adesivos comumente utilizados, além de terem alto custo, que chega a 60% do custo total da MLC, contêm solventes que são nocivos à saúde, além de terem coloração escura, o que mancha a madeira. O custo baixo é primordial no sentido de tornar esse material mais viável e competitivo quando comparado com outros materiais. Assim, esse trabalho teve como objetivo verificar a capacidade de carga ao cisalhamento no plano de cola de corpos de prova preparados com um adesivo sem solvente e contribuir para a melhoria de eficiência de vigas laminadas coladas. Foram verificados os efeitos da pressão de colagem (1,25; 2,50 e 5,00 MPa), da temperatura (27, 60 e 90°C) e do tempo de cura do adesivo (7 e 10 dias) na tensão no limite de resistência ao cisalhamento. A dose de adesivo utilizada foi de 200 g/m². Numa segunda etapa foram obtidas a massa específica e a umidade das amostras já ensaiadas ao cisalhamento a fim de explicar a variabilidade dos resultados encontrados. A madeira utilizada para a confecção das peças foi o *Eucalyptus grandis* por ser uma espécie de grande potencial para usos múltiplos e porque suas propriedades físico-mecânicas o tornam adequado também para fim estrutural. Concluiu-se que a temperatura de 90°C possibilitou os melhores valores de tensão de cisalhamento. A pressão de colagem e o tempo de cura do adesivo não influenciaram nessa importante propriedade mecânica.

Palavras-chave: Eucalyptus; Madeira; Madeira laminada colada; Adesivo; Adesão; Resistência ao cisalhamento.

ABSTRACT

Study of adhesion time, temperature and gluing pressure on shear strength of *Eucalyptus grandis* wood glued with adhesive solvent free

The use of glu-lam is a viable alternative for exploitation of all wood potential presenting a series of advantages. The linking between layers however has a basic paper in glu-lam good quality. Therefore for a good performance of glu-lam structures it is fundamental the choice of an adhesive which has a great mechanics resistance and also resistance to the weather action. The adhesives usually used having high cost, that arrives 60% of glu-lam total cost beyond contain solvent that are harmful to health, having dark coloration what changes the wood natural color. Low cost is primordial to become this material more viable and competitive if compared with another materials. Thus, this search had as objective to verify the load capacity applied in the samples in shear strength test right in the glued surface and also contributing for efficiency improvement of beam-glu-lam. The glue used to prepare the samples was free of solvent. It were verified the effect of gluing pressure (1,25; 2,50 e 5,00 MPa), temperature (27, 60 e 90°C) and the adhesive time of cure (7 and 10 days) in the shear strength. The adhesive dose applied in the layers was 200g/cm². In a second research step it were obtained the specific gravity and moisture content from the samples which were already tested to explain the variability that was observed. It was utilized *Eucalyptus grandis* wood for being a specie of enormous potential for multi purpose and because its physical and mechanical properties make it. Highest values of shear strength were obtained at the temperature of 90°C. The glue pressure and the adhesive curing time have no relevant influence on this important mechanical properties.

Key words: Eucalyptus; Wood; Glu-lam; adhesive; adhesion; shear strength

1 INTRODUÇÃO

1.1 Considerações iniciais

A tendência da arquitetura atual é a de se utilizar estruturas cada vez mais leves, tanto por razões estéticas quanto por motivos econômicos. As estruturas em madeira se adaptam bem a esses novos desafios, mas as técnicas construtivas devem evoluir para responder aos problemas originários dessas novas concepções (MORAES et al., 2004).

Entre os materiais utilizados em estruturas para a construção civil, a madeira é o que apresenta maior variabilidade em suas características físicas e mecânicas, em função de diversos fatores, tais como: espécie, posicionamento ao longo do fuste, posicionamento radial, direção das fibras, dentre outros. Esta variabilidade dificulta a sua utilização como material estrutural, pois a madeira empregada com função estrutural deve preservar sua durabilidade natural, além de desempenhar satisfatoriamente suas funções previstas em projeto (SALES, 1996).

A madeira é um material renovável e pode ser produzida de forma sustentável em florestas naturais e em reflorestamentos. É um material de fácil manuseio, definição de formas e dimensões e produzido por um processo relativamente simples que não requer tecnologia requintada e não exige processamento industrial, pois o material já surge pronto na árvore.

Apesar de o Brasil ser o detentor da maior floresta tropical nativa do mundo a madeira, matéria de baixo consumo energético, vem sendo sub-utilizada na construção civil como, por exemplo, escoras, andaimes, formas ou em estruturas não aparentes. Em parte, este fato ocorre em face do relativo atraso tecnológico existente na área de estruturas de madeira, principalmente em relação à normalização dessas estruturas. A atual norma vigente é a Norma Brasileira NBR 7190 “Projeto de Estruturas de Madeira”, que é o resultado de estudos desenvolvidos por pesquisadores da Escola Politécnica (EPUSP) e da Escola de Engenharia de São Carlos (EESC), ambas pertencentes à Universidade de São Paulo.

Ao contrário do aço e do cimento que demandam, inclusive, grandes quantidades de energia em sua produção, construir em madeira significa explorar as florestas existentes e reflorestar áreas desmatadas. Portanto, ao se projetar em madeira, estar-se-á colaborando com o processo de seqüestro de CO₂, que ocorre intensamente durante o crescimento da árvore até a idade adulta, fundamental para a qualidade de vida no planeta.

Dentro da cadeia do desenvolvimento sustentável, a madeira é totalmente adequada aos princípios da construção ecológica. É um material de baixo consumo energético, tanto em sua fase de formação, como na fase de desdobro e aplicação. Apresenta boa resistência mecânica, proporcionando execução de estruturas leves, além de ser durável quando bem utilizada dentro de um sistema construtivo adequado, aliado às novas tecnologias.

Investigações acerca das condições de colagem como temperatura, pressão, tratamento das superfícies, entre outros, podem melhorar o desempenho da adesão (DELLA LUCIA; VITAL, 1981).

O interesse em ligações de madeira utilizando-se diferentes adesivos em Madeira Laminada Colada (MLC) tem sido revelado pelo crescente número de pesquisas desenvolvidas sobre esses assuntos que, de fato, são importantes.

1.2 Objetivos

Buscando contribuir com a melhoria da qualidade e a diminuição dos custos finais das estruturas de madeira laminada colada, este estudo teve como objetivo principal:

- Propor orientações para a colagem das lâminas de vigas constituídas com madeira laminada colada definindo a melhor pressão, temperatura e tempo de cura com adesivo sem solvente.

Assim, alguns objetivos secundários também serão atingidos com esse estudo:

- Desenvolver um mecanismo que proporcione constância de pressão e temperatura nas peças de madeira unidas por adesivo no interior de estufa;
- Estudar a influência da variação da pressão de colagem na adesão das peças de madeira;
- Verificar do tempo de cura do adesivo em função da temperatura;
- Testar um adesivo alternativo ao comumente utilizado para estruturas de madeira laminada colada

1.3 Justificativa do trabalho

Vigas laminadas coladas são produtos estruturais de madeira, cujas técnicas e tecnologias construtivas sofrem desenvolvimento contínuo ao longo do tempo. O uso da madeira de forma racional tem contribuído para evolução destas tecnologias.

Este trabalho tem por finalidade contribuir com o desenvolvimento e melhoria de tecnologias para o aperfeiçoamento dos ensaios que envolvam produtos constituídos de madeira e unidos por adesivos sem solvente, de fácil trabalhabilidade e não prejudicial ao meio ambiente nem ao homem.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Madeira como material de construção civil

O Brasil possui uma forte tradição construtiva em alvenaria de tijolos e um grande preconceito em relação à madeira, herdados de nossos colonizadores portugueses e consolidados pelo uso inadequado do material. A gradual eliminação desses obstáculos poderá ser adquirida através da divulgação dos conhecimentos tecnológicos que levem a utilização correta desse material, garantindo assim, desempenho, durabilidade e qualidade estética adequados.

Como material de construção, a madeira oferece muitas peculiaridades. Entre as vantagens, destaca-se como um dos poucos materiais renováveis, com baixa energia de processamento (muito menor que o aço, alumínio ou concreto), fornece isolamento térmico muito maior do que os metais ou o concreto, maior relação resistência e rigidez para peso do que outros materiais, relativamente fácil para trabalho, exigindo ferramentas simples. Entre as desvantagens, destaca-se o fato de a madeira ser combustível, apresentar baixa durabilidade natural, apresentar defeitos naturais como os nós, decorrentes das tensões de crescimento e oriundos de uma secagem mal conduzida. Tais desvantagens não devem ser vistas como obstáculos à utilização desse material, uma vez que existem soluções em nível de projetos e relacionadas à sua própria tecnologia. Verifica-se a necessidade de uma estreita ligação entre a ciência e a tecnologia da madeira com a ciência e a técnica florestal, para que a madeira possa ocupar seu espaço e desempenhar uma função satisfatória como material de construção.

A madeira é um excepcional material de construção além de ter qualidades muito grandes como matéria prima para outros produtos industrializados e que vem sendo utilizada desde os primórdios da civilização.

As madeiras em seu estado natural têm características próprias que podem ser alteradas com tecnologia moderna. Algumas destas características mais importantes são:

- Apresenta resistência mecânica tanto à esforços de tração quanto de compressão e, conseqüentemente, à flexão;
- Possui resistência mecânica elevada em relação ao seu peso próprio;

- Tem resistência a choques e cargas dinâmicas e absorve efeitos de impactos que dificilmente seriam absolvidos com outros materiais convencionais;
- É de fácil trabalhabilidade permitindo ligações simples;
- Possui boas características de absorção acústica e bom isolamento térmico;
- Pode ser produzida a custo reduzido e é renovável, desde que floresta seja convenientemente manejada; e
- Apresenta diversos padrões de qualidade e estéticos.

Na medida em que técnicas modernas foram sendo adotadas para melhorar suas qualidades, a madeira passou a ser mais utilizada visto que esses procedimentos conservam suas boas qualidades e eliminam ou minoram os fatores inconvenientes que podem ser:

- Perda de propriedades e surgimento de tensões internas secundárias devido a problemas de secagem e umidade. Estes problemas são resolvidos com controle da umidade e da secagem;
- Fácil deterioração em ambientes agressivos que favorecem o desenvolvimento de organismos predadores como fungos, cupins, etc.;
- Heterogeneidade e anisotropia naturais de sua constituição fibrosa além de suas dimensões limitadas, podendo estes inconvenientes ser resolvidos pela tecnologia de produção de compósitos.

As madeiras de espécies de reflorestamento têm despertado grande interesse na área de construção civil e muitos trabalhos têm surgido com o objetivo de melhor estudar suas propriedades físicas e mecânicas (SALES; LAHR, 1992; NOGUEIRA; LAHR, 1992; BITTENCOURT; DOMICIANO, 1998; PIGOZZO et al., 2000; RODRIGUES; FRANCO, 2000; ZANGIÁCOMO; LAHR, 2004; NASCIMENTO et al, 2006). Entre elas destacam-se as madeiras dos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus*.

Também tem sido desenvolvido um grande número de pesquisas e projetos arquitetônicos que envolvem madeira laminada colada que possui, dentre outras, a vantagem de se constituir em elementos estruturais de grandes dimensões, permitindo utilizar-se de madeira de espécies diferentes (MACÊDO, 1996).

2.2 Madeira laminada colada

De acordo com Dawson (2000), a madeira passou a ser utilizada em pontes, edifícios romanos, basílicas góticas e nas edificações do estilo barroco. Mesmo sendo a madeira capaz de competir em pé de igualdade com o aço, a inauguração da Torre Eiffel, em 1889, marcou o início de diminuição da sua utilização. A partir desta época, o aço se transformou em um símbolo do avanço tecnológico.

Mais tarde, no início do século XX, o concreto passou a simbolizar o modernismo e, mais uma vez, a madeira foi deixada de lado. Isso não significa que a madeira deixou de ser utilizada em alguma época. No Brasil Colônia, por exemplo, a madeira e a terra eram matérias-primas de fácil acesso e a arquitetura se aproveitou disso. São encontradas construções religiosas e residenciais e peças de mobiliário que utilizam a madeira como estrutura (RIBEIRO; CALDEIRA, 1999).

Segundo Sunley e Beddin (1985), a introdução das técnicas do laminado começou no século XIX, mas não atingiu seu potencial até que adesivos duráveis foram introduzidos durante a segunda guerra mundial.

A fabricação da madeira laminada colada (MLC) reúne duas técnicas bastante antigas, sendo concebida a partir da técnica da colagem aliada à técnica da laminação, ou seja, da reconstituição da madeira a partir de lâminas, podendo ser as vigas de eixos retos ou curvos, com seção transversal constante ou variável.

Assim, a nova tecnologia da MLC se transformou em um dos maiores avanços estruturais de todos os tempos, possibilitando sua utilização em vários tipos de construções, além da fabricação de móveis. Sua facilidade de montagem e versatilidade na fabricação de elementos estruturais faz com que a madeira volte ao cenário da construção civil, destruindo os preconceitos e perpetuando-se como material estrutural no mercado mundial. É usada em diversos países do hemisfério norte, como uma excelente alternativa de material estrutural, devido à sua adaptabilidade à grande variedade de formas, elevada resistência aos esforços mecânicos e ao ataque de produtos ou ambientes quimicamente agressivos. Peças de MLC podem ser fabricadas em qualquer tamanho, comprimento e forma. Em casos de dificuldades de seu transporte, é possível a pré-fabricação em partes menores a serem unidas por conexões e uniões produzidas

com peças metálicas e parafusos, como também se faz comumente na indústria da construção metálica.

A MLC pode ser definida como um elemento composto de pequenas peças de madeira, inferiores em tamanho às dimensões estruturais da obra, unidas por meio de cola em toda sua extensão e com as fibras das lâminas aproximadamente paralelas ao comprimento da peça (BREMER, 2003) e deve ser fabricada por rígidos padrões de controle de qualidade, para que a mesma tenha alta resistência e durabilidade, resultando num material mais homogêneo do que a madeira serrada (PFEIL, 2003).

A MLC é um dos mais importantes materiais para uso estrutural, sendo utilizado com muito sucesso em várias partes do mundo, nas mais variadas formas e dimensões (Figura1).

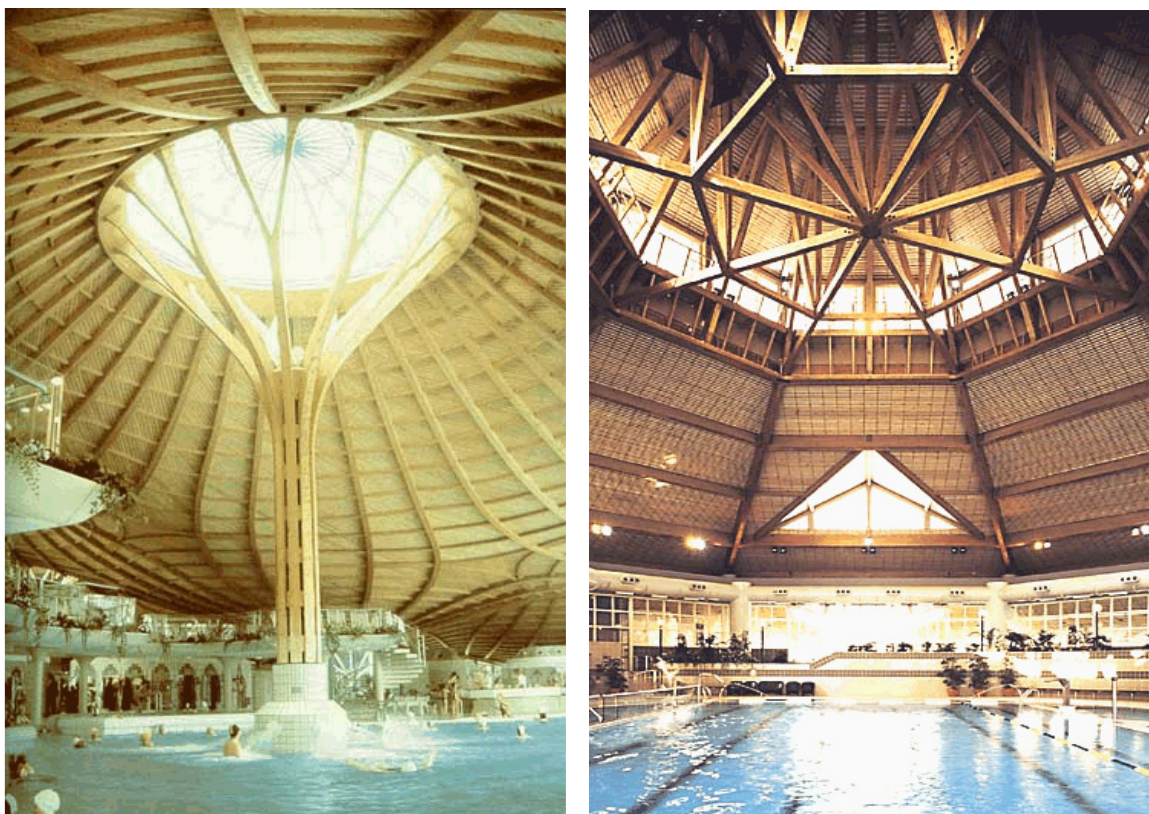


Figura 1 - Estruturas de MLC em parques aquáticos (Fonte: <http://www.unalam.com/>)

Um dos problemas encontrados na abertura do mercado para a MLC, além da aceitação pelo usuário quanto à sua qualidade, é o seu alto custo, que reduz sua competitividade em relação a outros materiais que também possibilitam a pré-fabricação.

A grande vantagem da técnica da MLC é que esta pode empregar, de forma racional, madeira de reflorestamento ou mesmo espécies nativas que não são ou são pouco utilizadas estruturalmente, tornando as estruturas de madeira mais competitivas, divulgadas e aceitas pelos projetistas.

A aplicação da MLC pode ser vista sob as mais variadas formas estruturais. O seu emprego vai desde pequenas passarelas, escadas e abrigos até grandes estruturas concebidas sob as mais variadas formas estéticas. São apropriadas para cobrir grandes vãos sem apoio intermediário (PFEIL, 2003) (Figuras 2 e 3).



Figura 2 - Pórticos laminados colados utilizados como estrutura lateral e de cobertura de um galpão rural (Fonte: <http://www.wheeler-con.com/>)



Figura 3 - Arcos laminados colados utilizados na cobertura de um auditório (Fonte: <http://www.wheeler-con.com/>)

Entre as inúmeras vantagens apresentadas pela MLC destacam-se as seguintes:

- As estruturas de MLC podem ser fabricadas com qualquer seção, forma e comprimento, tendo como limitação apenas o transporte das peças;
- Possibilidade de montar seções de peças, não limitadas pelas dimensões e geometria do tronco das árvores;
- A espessura das lâminas permite uma secagem mais regular com melhor controle da umidade desejada;
- A seção transversal das peças pode variar de acordo com as tensões solicitantes na seção, evitando gastos excessivos de material;
- Possibilidade de execução de obras onde a intempérie age com intensidade e constância, como é o caso de pontes e viadutos (Figuras 4 e 5);
- O método de fabricação permite o uso de laminas de baixa qualidade nas zonas de menor solicitação, minimizando o custo e o uso de lâminas de melhor qualidade nas zonas de maior solicitação, podendo ser possível a combinação de duas ou mais espécies;
- Apresenta um efeito estético agradável, não sendo necessário ocultar a estrutura, como no caso de outros materiais;
- Condutibilidade térmica pequena;

- Grande resistência ao fogo, porque a parte periférica da estrutura queima criando uma camada de carvão que serve de barreira para a penetração do oxigênio no miolo da peça e, conseqüentemente, a propagação do fogo vai diminuindo até cessar. Com o núcleo da peça estrutural não queimado, ela é capaz de resistir mecanicamente, por muito mais tempo, importantes esforços solicitantes (Figura 6);
- Facilidade de ligação aos outros materiais de construção;
- Alta resistência a agressões químicas como, por exemplo, as atmosferas salinas;
- Possibilidade de realizar obras de grandes vãos livres;
- Facilidade na pré-fabricação de peças, racionalização na construção e ganho de tempo na montagem e entrega da obra;
- Leveza do conjunto estrutural, o que significa uma economia nas fundações;
- Bom desempenho em ambientes úmidos e corrosivos;
- Conforto acústico;
- Durabilidade;
- Proporciona uma grande liberdade ao projetista porque pode ser produzida segundo a desejada diversidade de cores e texturas;
- A madeira utilizada pode ser retirada de espécies de reflorestamento, mesmo jovens, sendo, portanto, renovável.



Figura 4 - Ponte executada com MLC de eixo curvo (Fonte: <http://www.enwood.com/bridges/wood-bridges.htm>)



Figura 5 - Viaduto construído com MLC de eixo reto e curvo (Fonte: <http://www.maggertengineers.com/>)

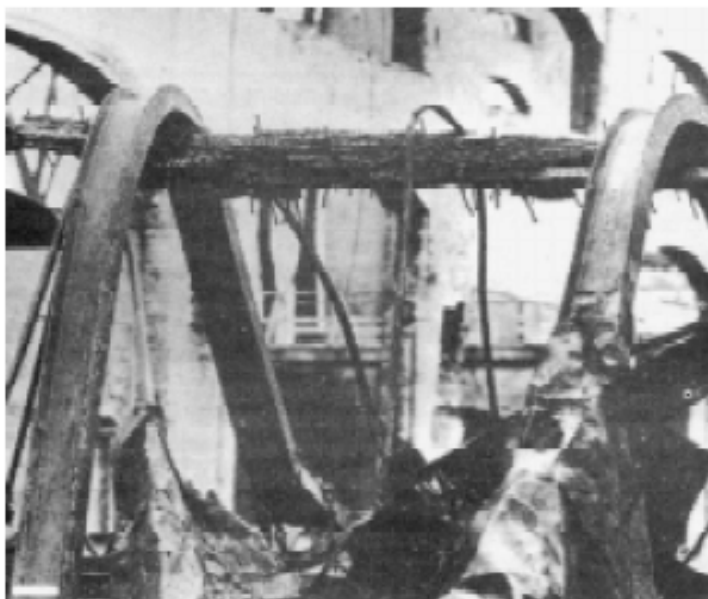


Figura 6 – Viga de madeira (horizontal) que resistiu a um incêndio e está suportando perfis metálicos que entraram em ruína (Fonte: Ritter, 1992)

2.3 Tipos de ligação

2.3.1 Entre peças em uma mesma lâmina

Para a produção dos elementos estruturais em MLC é necessário o uso de lâminas de comprimento suficientemente grande, as quais podem ser obtidas por meio de emendas longitudinais de tábuas, conforme ilustra a Figura 7.

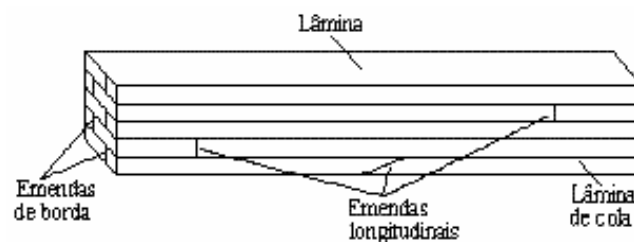


Figura 7 - Esquema geral de uma peça de MLC

Essas emendas apresentam uma descontinuidade do material e conseqüentemente são regiões consideradas potencialmente fracas. Desse modo, as emendas em MLC representam, entre outros, um dos mais importantes fatores das características de resistência e de elasticidade dos elementos estruturais de MLC.

Na construção de elementos estruturais feitos de madeira laminada colada, as emendas são de grande importância nos projetos. Os tipos mais comuns de emendas em MLC são as de topo (*butt joints*), as biseladas (*scarf joints*) e as dentadas (*finger joints*), conforme Figura 8, cada qual apresentando suas vantagens e desvantagens.

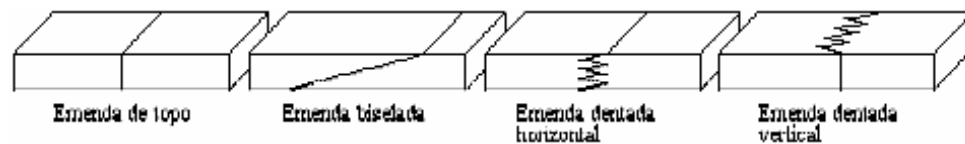


Figura 8 - Tipos mais comuns de emenda longitudinal em lâminas

Para se construir estruturas de grandes dimensões, são necessárias as emendas longitudinais, transversais ou ambas. Uma boa técnica permite a construção de vigas com mais de 43 metros de vão livre (MOODY; HERNANDEZ, 1997).

Alguns dos fatores que regem a utilidade destas emendas são a resistência, a facilidade e economia de produção, aparência e para o caso da MLC, principalmente, a uniformidade de desempenho.

As emendas dentadas (Figura 9) são as mais utilizadas no processo industrial, pela sua boa resistência mecânica. Segundo EBY (1968), 90% das indústrias de MLC nos Estados Unidos já utilizavam as emendas dentadas na produção de seus elementos estruturais. O sucesso da emenda dentada se deve ao fato de que esse tipo de emenda, mesmo necessitando de equipamentos específicos para sua execução, facilita a aplicação de adesivo e a pressão de colagem, otimizando deste modo, a produção dos elementos estruturais de MLC. Um outro ponto positivo das emendas dentadas é que estas apresentam resultados de resistência mais uniformes que as demais emendas.

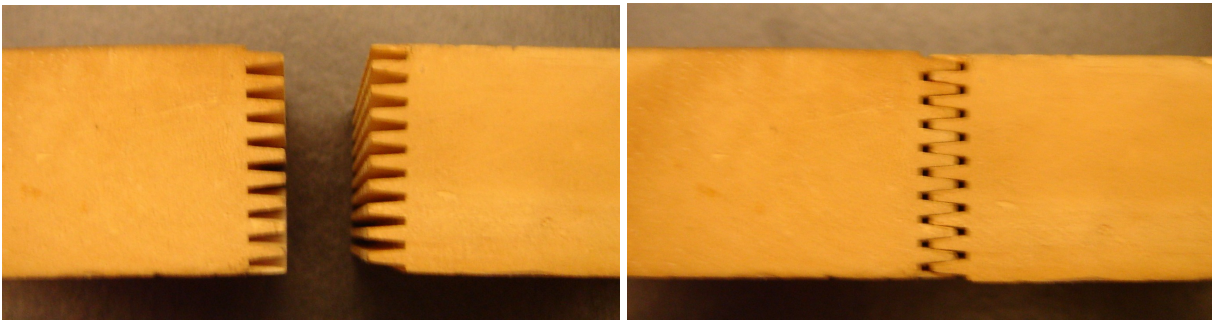


Figura 9 - Emenda dentada (*finger joint*) (fonte: Autor, 2006)

O trabalho desenvolvido por Macedo e Calil (1999) consistiu no estudo de emendas dentadas em madeira laminada colada (MLC), cujo objetivo principal era avaliar o método proposto no Projeto da Nova Norma Brasileira PNBR 7190/1996 para a caracterização da MLC, com ênfase às emendas dentadas. A emenda dentada usada no estudo foi a correspondente ao comprimento de 20 mm. A madeira usada foi o *Eucalyptus grandis*. Nos ensaios, foram avaliadas as resistências ao cisalhamento na lâmina de cola, a tração normal à lâmina de cola e a resistência à tração das emendas dentadas. A madeira utilizada para a confecção dos corpos-de-prova foi retirada de duas vigas de 6 cm x 25 cm de seção transversal e 350 cm de comprimento. O adesivo escolhido para a confecção dos corpos-de-prova foi o resorcinol-formol CASCOPHEN RS-216-M, com espalhamento de cola feito com pincel. A quantidade de adesivo variou de 350g/m² a 400g/m². A colagem foi realizada a uma temperatura ambiente de 25°C, sendo adotado um tempo de penetração de 10 minutos. A pressão de colagem adotada foi de 1,00 kN/cm². A geometria de

20 mm de comprimento reuniu uma boa resistência de emenda aos limites práticos de produção, sendo uma das mais eficientes e usadas no contexto internacional. Isto, associado ao desempenho obtido neste estudo, confirma que esta é uma geometria adequada para aplicação em MLC.

2.3.2 Entre lâminas

A árvore, em função de suas direções de crescimento, forma lenhos com estrutura heterogênea e anisotrópica. As características, disposições e frequência dos elementos celulares resultam em algumas limitações naturais do uso da madeira em relação às dimensões das peças (a largura e o comprimento das peças são limitadas ao diâmetro e altura das árvores), anisotropia (as propriedades mecânicas e não mecânicas da madeira são distintas nas direções de crescimento tangencial, radial e longitudinal) e defeitos naturais (nós, inclinação da grã, percentagem de lenhos juvenil e adulto, lenhos de reação, largura dos anéis de crescimento, etc.), interferem no comportamento reológico da madeira (REVISTA MADEIRA, 2003).

Face a tais limitações, surge a importância do adesivo que permite o reordenamento e reconstrução através de ligações adesivas, de peças de madeira de tamanhos reduzidos.

A colagem da madeira se faz de forma mecânica, isto é, o adesivo penetra em seus poros, perde umidade e seca, consolidando a colagem.

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

Foi em 1906, com o aparecimento da cola de caseína, que o mestre carpinteiro suíço Otto Hetzer teve a idéia de substituir pela cola as ligações metálicas de braçadeiras e parafusos, obtendo dessa maneira uma seção mais homogênea e sem a ocorrência de deslizamentos entre as lâminas e, daí para frente, a MLC evoluiu em paralelo com o progresso ocorrido com as colas, que foram se tornando cada vez mais eficientes. No entanto, foi na década de 1940, com o aparecimento das colas sintéticas, que os sistemas laminados-colados tornaram-se mais amplamente utilizados (RAMPAZZO; SPONCHIADO, 2000).

A capacidade de adesão da madeira constitui uma das mais importantes propriedades tecnológicas deste material. Com o auxílio de adesivos pode-se obter um grande número de produtos derivados da madeira. Por exemplo, peças de dimensões limitadas podem ser utilizadas na confecção de elementos estruturais de grandes dimensões na forma de madeira laminada colada.

Na manufatura de produtos reconstituídos de madeira, o adesivo é um componente fundamental, tendo em vista ser responsável pela ligação entre as peças de madeira e a transferência de tensões geradas no plano de cola durante a sua utilização, além da participação significativa na composição de custos de produção. Devido a isso, trabalhos têm sido desenvolvidos com o intuito de verificar a possibilidade de utilizá-lo nas estruturas coladas (ABRAHÃO, 2001).

Segundo Carrasco (1984), a resistência, estabilidade e a vida de uma estrutura dependem em grande parte da resistência, rigidez e durabilidade das ligações. As principais vantagens na utilização de adesivos na confecção de ligações são:

- A distribuição de esforços em áreas mais amplas, o que torna possível a obtenção de ligações mais leves e resistentes (ligações mais leves). Evita-se assim o uso de materiais de junção mecânica, deixando rugosidade ou ressaltos superficiais;
- O plano de adesivo pode ser uma barreira contra umidade, impermeabilizando paredes de vedação;
- Execução mais rápida e econômica;
- Melhoria na relação força/peso e a estabilidade dimensional dos materiais anisotrópicos por meio de peças cruzadas, como na madeira compensada;
- Os adesivos permitem a união de materiais não semelhantes, aumentando ainda mais o seu campo de aplicação, apresentando uma execução mais rápida e econômica.
- Massa específica baixa e alta resistência mecânica.

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

De acordo com Skeist (1990), os adesivos podem ser entendidos como sendo uma substância com propriedade de aderir fortemente a um substrato, mantendo vários substratos de um mesmo material ou materiais diferentes unidos por meio de uma ligação superficial. Esta propriedade, não intrínseca da substância, se desenvolve somente dentro de algumas condições enquanto interage com a superfície do material adeso.

Tsoumis (1991) relata também que pode haver a penetração do adesivo nas paredes celulares (entre as microfibrilas), permitindo assim, o engajamento mecânico em várias posições.

Segundo Macedo (1996) e Lima (1994), deve-se analisar a compatibilidade do aderente com o material. O adesivo à base de resina resorcinol, apesar de garantir uma boa ligação com elevada resistência mecânica e resistência à ação do intemperismo, apresenta um fator desfavorável: custo muito alto, chegando a representar cerca de 60% do custo total da madeira laminada colada. Esse fato contribui para tornar a MLC um material pouco competitivo.

Petrausky e Della Lucia (1998) investigaram o efeito da pressão de colagem, quantidade de adesivo aplicado e número de faces a receber o adesivo em madeira de *E. grandis*. Esses autores concluíram que o melhor desempenho ocorreu em juntas que utilizaram elevadas pressões e maiores quantidades de adesivo.

Devido a isso, trabalhos têm sido desenvolvidos com o intuito de verificar a possibilidade de diminuição da quantidade e a substituição do adesivo utilizado nas estruturas coladas sem diminuir a resistência mecânica e a resistência à umidade (BOHN, 1995; PETRAUSKY, 2000; ABRAHÃO, 2001).

Estudos têm sido conduzidos no sentido do desenvolvimento de novos adesivos naturais, termoestáveis, com maior resistência mecânica e à umidade. Em 1983, o Grupo de Química Analítica e Tecnologia de Polímeros (GQATP), do Instituto de Física e Química (IFQSC-USP) iniciou pesquisa a partir da mamona para o desenvolvimento de polióis para poliuretano. Esse estudo levou à obtenção de um adesivo poliuretano à base de mamona. Jesus, Calil e Chierice (2000) determinaram os parâmetros de colagem e a resistência mecânica do adesivo, onde os resultados obtidos confirmaram seu bom desempenho mecânico.

Petrauski (2000) estudou o efeito da redução de área colada no módulo de elasticidade e nas cargas de ruptura, em colunas feitas com madeira de *E. grandis*. Os valores de área colada foram 100, 50, 30, 20 e 10% da área possível. Não foi constatado efeito da redução da área colada no módulo de elasticidade. O autor observou que uma redução de até 70 % da área colada

levou a resultados que podem ser considerados, pelo menos do ponto de vista estatístico, iguais aos obtidos quando se colou 100% da área.

Lobão e Gomes (2006) realizaram ensaios com o intuito de verificar a qualidade da adesão da madeira com o adesivo resorcinol-formaldeído, em que se variou a densidade e a direção das fibras das madeiras que eram constituídas por duas peças de madeira coladas, aplicando-se o adesivo nas duas faces, na proporção de 300 g/m² e sendo submetidas à pressão aproximada de 1,0 MPa durante 8 horas com as fibras paralelas ao esforço. Não houve diferença significativa entre seus valores médios de resistência e a média da madeira sólida e da junta colada no plano paralelo na madeira de baixa densidade.

Silva, Iwakiri e Tomaselli (1998) chegaram à conclusão de que a variação do tempo de prensagem das lâminas de mesmo teor de umidade, não resulta em diferenças significativas para as médias de resistência ao cisalhamento.

Nascimento (2002) testou dois níveis de taxa de aplicação do adesivo, 300 g/m² e 600 g/m², e três níveis de pressão de colagem, a saber: 0,6 MPa, 1,0 MPa e 1,4 MPa concluindo que não foi detectada melhora da resistência da ligação adesiva no aumento da taxa de aplicação de adesivo, as diferenças entre as pressões de colagem só foram verificadas na taxa de aplicação de 600 g/m² e as melhores pressões foram de 1,0 e 1,4 MPa. A quantidade ou taxa de aplicação de adesivo de 300 g/m² pode ser considerada satisfatória, pois a resistência da junta colada sempre ultrapassou a resistência ao cisalhamento da madeira. A utilização de 600 g/m² decorreu em desperdício de adesivo aumentando o custo final das estruturas coladas

Num ensaio posterior, Nascimento (2003) aplicou a pressão com auxílio de prensa construída com madeira de jatobá, que foi projetada segundo Carrasco (1989), para garantir a pressão desejada na posição menos favorável. Em cada par de eixos rosqueados foi aplicada uma carga de 24,4 kN, que garantia uma pressão de 1,1 MPa. O período mínimo de prensagem foi de 16 horas e o período para utilização das vigas, de oito dias. As vigas foram coladas com adesivo resorcinol com taxa de espalhamento de 300 g/m². O tempo médio desde o início da aplicação do adesivo até a prensagem da viga foi de aproximadamente 20 minutos. Nesse trabalho concluiu-se que a temperatura influenciou na qualidade das vigas, permitindo atingir módulo de ruptura de até 86,7MPa e módulo de elasticidade de 18.382 MPa.

Petrauski (2004), utilizou o adesivo conhecido comercialmente como Cascophen RS 216 M fabricado pela Alba Química. O adesivo foi espalhado a pincel, camada por camada,

obedecendo a mistura sugerida pelo fabricante e tendo-se utilizado um consumo da ordem de 300 g/m². Após um tempo de montagem em local fechado de aproximadamente 20 minutos o conjunto era submetido à pressão, através de barras rosqueadas existentes na prensa, por tempo não inferior a oito horas. Os desempenhos em termos de rigidez pareceram ser equivalentes, nos trechos iniciais de carregamento até próximo de 4 vezes as cargas de projeto, com indício de que os módulos de elasticidade das madeiras seriam similares.

Melo e Carrasco (2004) analisaram diversos adesivos para a confecção de madeira laminada colada, onde houve variação apenas na pressão (de 0,1 à 9,0 N/mm²) e no tempo de prensagem (9 e 12 horas), mas com temperatura constante (20°C). Os valores obtidos para o módulo de elasticidade e a rigidez à flexão efetiva foram bem elevados. As vigas ensaiadas romperam por tração das fibras da madeira, não se tendo, portanto, ruptura da ligação colada. A seção transversal das vigas pode ser considerada maciça. Os resultados das resistências do adesivo e da madeira ao cisalhamento podem ser considerados iguais (hipótese nula aceita e quociente igual a 1).

Costa (2004), testando ligações adesivas, variou a pressão (0,6 MPa, 1,0 MPa e 1,4 MPa,) numa taxa de aplicação do adesivo resorcinol (Cascophen RS 250) de 600 g/m² e diluindo-o em 0%, 10%, 20%, 30% e 40% e usando a água como agente diluidor, com temperatura ambiente constante. Os melhores resultados foram obtidos para pressão de colagem de 1,00 MPa. As diluições em até 10% tiveram o mesmo desempenho do adesivo não diluído. A resistência média das juntas coladas ultrapassaram à madeira sólida (8,3 MPa).

Nascimento et al. (2001), em seu teste de colagem de emendas biseladas em madeira, colocou as amostras em sala climatizada numa temperatura de 23°C e 50% de umidade relativa, para uniformização da umidade. No processo de prensagem das emendas, foi utilizada uma prensa de madeira com eixos de 12,7 mm (½ polegada). O adesivo utilizado foi o resorcinol, comercialmente conhecido como Cascophen RS 250. Os níveis de pressão utilizados foram 0,7, 1,1 e 1,5 MPa. As lâminas permaneceram sob pressão por um período de 16 horas. A aplicação da pressão e da temperatura foram feitas em momentos distintos. As distintas pressões de colagem não afetaram a resistência da emenda em bisel. Quanto à resistência relativa, valores acima de 80% foram encontrados nas inclinações inferiores e iguais a 1:12 para madeira de eucalipto.

Zanziácomo (2003) com pressão de 0,8 e 1,6 MPa, mas temperatura ambiente constante ensaiou dois adesivos (Cascofen e à base de mamona) para avaliar seus comportamentos. Concluiu-se que não basta que a espécie apresente densidade entre 0,5 e 0,75 g/cm³ para a produção de elementos estruturais de madeira laminada colada. Tão importante quanto a densidade é a permeabilidade da espécie em relação aos adesivos disponíveis para a produção de vigas laminadas coladas (VLC). As propriedades de rigidez de vigas me MLC não são influenciadas pela pressão de colagem variando entre 0,8 e 1,2 MPa.

Enfim, é inexistente na literatura nacional ou internacional, a aplicação de alta temperatura aliada, simultaneamente, a diversas pressões, num mesmo ensaio. Na quase totalidade, as pressões são aplicadas com o auxílio de sargentos, grampos ou outras ferramentas e, posteriormente, as peças são submetidas à uma oscilação de temperatura. No intuito de sanar esta deficiência, desenvolveu-se um artefato capaz de reter a pressão e suportar a variação de temperatura sem prejudicar o experimento o que, por si só, justifica a elaboração do presente trabalho.

Isso também mostra a importância da ligação por adesivo na viga laminada colada (VLC) e a diversidade de metodologias utilizadas no estudo. As ligações por adesivos na VLC precisam ser melhor estudadas no sentido de possibilitar a manufatura de VLC da forma mais econômica possível. É importante compreenderem-se as variáveis tempo de cura, pressão e temperatura e suas interações no processo de fabricação das VLC's.

2.4 Causas ecológicas

A madeira é um material que, formado dentro do processo fisiológico de crescimento das árvores, dá a sua contribuição ao equilíbrio ecológico. Proporciona ainda uma ação economicamente importante para o país se observado sob o ponto de vista de implantação de reflorestamentos comerciáveis. Ainda nesse sentido, e não menos importante, está o fato de ser este um material que, depois de cumprida a função para a qual foi destinado, torna-se um produto de reutilização e que, em último caso, pode ser ainda transformado em fonte energética, tanto na forma de lenha como na forma biodegradável e revigorante para o solo (SZÜCS, 1998).

Stumpp (1997) afirma que consumir madeira significa cultivar a floresta. A floresta acumula dióxido de carbono e produz oxigênio, melhora o clima, filtra o ar, purifica a água, previne contra enchentes e erosão. Usar madeira é armazenar, em longo prazo, CO₂.

De acordo com Mascaró (1992), o forno de cimento, com mistura de gases incandescentes permanentes, consome uma grande intensidade de energia, promovendo uma liberação constante de carbono na atmosfera. Numa obra de construção civil utiliza-se inúmeras formas descartáveis de madeira para a moldagem de sua estrutura, assim como é utilizada várias toneladas de aço nas armaduras liberando, dessa forma, grandes quantidades de energia que é consumida na extração mineral e no processo siderúrgico e as taxas de CO₂ liberadas para a atmosfera. A madeira, fundamentalmente formada por carbono, auxilia no seqüestro deste contribuindo sobremaneira para a boa qualidade a camada gasosa que envolve nosso planeta (CARUANA, 1994).

A madeira é um material nobre produzido pela natureza com menor índice de consumo de energia que o concreto armado e o aço estrutural. Além disso, se devidamente preservado e produzido através de reflorestamento, pode ser usado sem limite e de maneira ecologicamente correta.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Para o correto manuseio da madeira, foram excluídas as partes que continham defeitos (nós, inclinação da grã, etc.) e unindo-a novamente por intermédio de adesivo especial. Sua união não pode ser dada à esmo e deve envolver estudos e tecnologia suficiente para a adequada colagem. É apresentado um adesivo alternativo ao ordinariamente utilizado que é incolor, não tóxico sendo, dessa maneira, inofensivo ao ambiente.

O expositivo seguinte dará ênfase a Madeira Laminada Colada (MLC) que une os três tópicos acima, ou seja, a confecção de estruturas de madeira ecologicamente correta unidas com adesivo, largamente empregada em países do hemisfério norte.

Na primeira fase do experimento foram testados dois tempos de colagem (07 e 10 dias), três níveis de pressão de colagem (1,25 MPa, 2,50 MPa e 5,00 MPa) com dose de adesivo de 200 g/m² e temperaturas de 27°C, 60°C e 90°C e 4 repetições.

A segunda fase consistiu na obtenção da massa específica e da umidade dos corpos-de-prova ensaiados nos testes de cisalhamento.

3.1 Tempo de cura do adesivo em condições controladas

A velocidade de secagem está diretamente ligada às condições ambientais, à umidade da madeira e ao processo de prensagem utilizado. A própria norma europeia EN-204 recomenda um mínimo de 7 dias (à temperatura entre 21°C e 25°C) entre o momento da colagem e o início dos testes, para que ocorra a cura do adesivo. O tempo de cura está diretamente relacionado à temperatura a que o adesivo é exposto durante sua secagem e após a operação de colagem.

3.2 Caracterização dos corpos-de-prova

Os corpos-de-prova foram confeccionados com madeira da espécie *Eucalyptus grandis* proveniente de floresta plantada e fornecida pelo Laboratório de Engenharia da Madeira do Departamento de Ciências Florestais da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”.

As dimensões do corpo-de-prova (Figura 10) diferem das recomendadas pela Norma Brasileira, a NBR 7190/1996, e foram adotadas em função do equipamento inventado para

aplicar as pressões de colagem nos corpos-de-prova e da restrição do espaço físico da estufa utilizada no aquecimento dos corpos-de-prova. A utilização de corpos-de-prova de dimensão reduzida também proporcionou uma considerável economia de adesivo sem prejuízo para os resultados dos ensaios de cisalhamento.

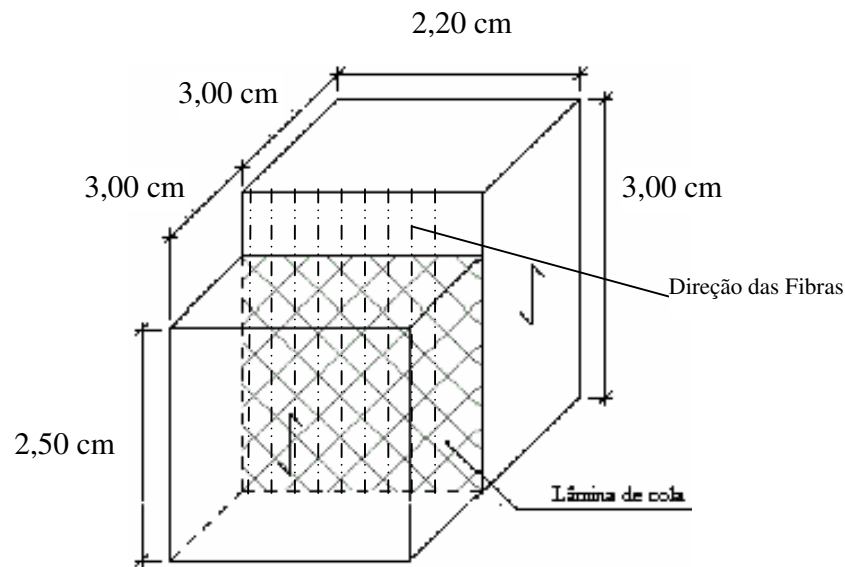


Figura 10 – Corpo-de-prova adotado para ensaio de cisalhamento

Para avaliar a eficiência do adesivo na união das lâminas sob uma determinada temperatura e condições de umidade durante um tempo específico, deve-se submetê-la a testes de carregamento específico, como de cisalhamento na linha de cola (FOREST PRODUCTS LABORATORY, 1999).

Os corpos-de-prova (CP's) foram submetidos a ensaios no Laboratório de Engenharia e Máquinas para Madeira localizado nas dependências do Departamento de Ciências Florestais, da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" para verificação da tensão no limite de resistência.

Os corpos-de-prova foram obtidos a partir de pranchas disponíveis no Laboratório. Após a escolha, as pranchas (Figura 11) foram cortadas em peças mais curtas numa destopadeira pesada (Figura 12) para melhorara as condições de se planificar uma face e uma borda na plaina desempenadeira (Figura 13) e a uniformização da espessura numa plaina desengrossadeira (Figura 14).

A partir daí, utilizou-se uma serra circular (Figura 15) e a desgrossadeira para ajuste das dimensões da seção transversal dos sarrafos que foram cortados no comprimento correto do corpo-de-prova numa serra circular destopadeira leve (Figura 16).



Figura 11 – Pranchas para a extração dos C.P.'s



Figura 12 – Seccionamento das pranchas em peças mais curtas



Figura 13 – Preparo de uma face na Plaina Desempeneira



Figura 14 – Regularização da espessura na Plaina Desengrossadeira



Figura 15 – Sarrafeamento na Serra Circular

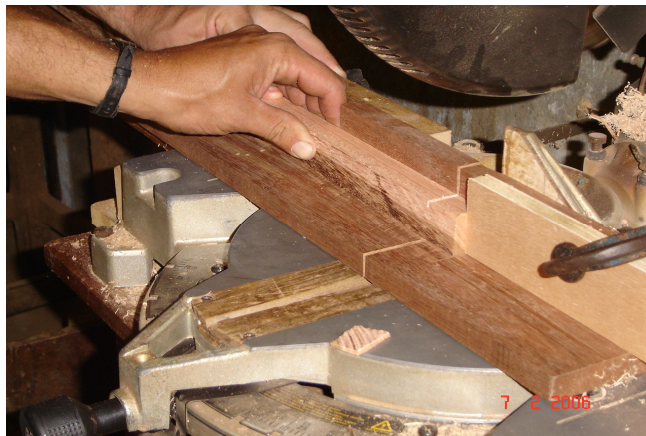


Figura. 16 – Corte transversal para regularizar o comprimento do corpo-de-prova

3.3 Desenvolvimento de um equipamento destinado a manter os corpos-de-prova sob influência simultânea de pressão e temperatura

O primeiro aparelho desenvolvido e utilizado para acondicionar os corpos-de-prova e reter a pressão na linha de colagem foi confeccionado em madeira maciça. A pressão era aplicada numa máquina universal e depois mantida através de ligações por pinos metálicos (Figura 17), colocados de tal forma a fixar a tampa superior do aparelho antes do alívio da carga aplicada na máquina.

Este mecanismo foi abandonado devido ao excessivo atrito entre as superfícies de contato e fragilidade do sistema ao efeito *Poisson*, onde os esforços não eram totalmente transmitidos aos corpos-de-prova por causa da instabilidade das paredes do aparelho. Outro fato que forçou a evolução do aparato foi o problema do excesso de adesivo que acabava ligando indevidamente os corpos-de-prova às paredes de madeira do aparato e tornava difícil a remoção dos CP's ao final do processo de cura do adesivo.



Figura 17 – Primeiro aparelho inventado para aplicar pressão controlada na colagem de corpos-de-prova

Devido às esses interferentes, foi então desenvolvido um novo aparelho, desta vez de material metálico, de modo a não reproduzir a problemática anterior (Figura 18).

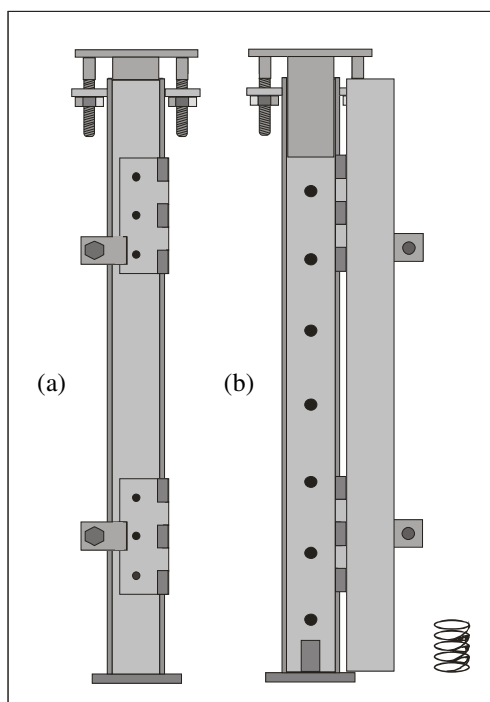


Figura 18 – Aparelho de aço com porta fechada (a) e aberta (b) com o sistema de parafusos no topo para manter a pressão desejada

Os primeiros ensaios realizados com esse aparato foram prejudicados pela deformação por retração dos CP's devida à perda de água que ocorre quando são expostos em ambientes mais secos e quentes. Até então, o aparelho estava desprovido de mecanismo capaz de reter, no interior de uma estufa, a pressão aplicada. A pressão baixava drasticamente, chegando a se anular por causa da retração dos corpos-de-prova.

Esse problema foi resolvido com a adição de uma mola (Figuras 19 e 20) que mantinha a pressão dos CP's a partir da energia potencial elástica armazenada quando da aplicação da força compatível com a pressão a planejada para cada conjunto de CP's. Para a obtenção dos valores da tensão de cisalhamento (τ) na temperatura de 27°C, não houve necessidade da utilização de estufa, pois os CP's e o adesivo já estavam em equilíbrio térmico com o ambiente. Para obtenção dos valores da τ na temperatura de 60°C e tempo de cura de 7 dias, os CP's ficaram expostos, antes da aplicação do adesivo, no interior da estufa (Figura 21) pelo mesmo período e na mesma temperatura. Para a temperatura de 60°C e tempo de 10 dias, o procedimento se repetiu, ficando os CP's submetidos à temperatura de 60°C durante 10 dias. Procedimento idêntico foi feito para a obtenção da τ na temperatura de 90°C. Esses procedimentos foram adotados para colocar os CP's em equilíbrio térmico e higrocópico com o ambiente do interior da estufa de tal modo a evitar variações drásticas nas dimensões do corpo-de-prova e garantir a constância da pressão aplicada. A mola possui, então, a função de compensar apenas pequenas deformações que possam ocorrer nos CP's.



Figura 19 – Aparelho metálico provido de mola

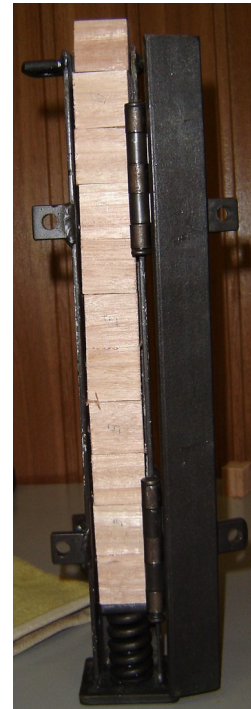



Figura 20 – Aparelho com os CP's



Figura 21 – CP's secando no interior da estufa

As molas empregadas nos equipamentos (uma específica para cada pressão) foram fabricadas em aço carbono patentiado classe C, por uma empresa especializada, obedecendo a norma alemã DIN-17223-1/64 de extremidades retificadas e enrolamento direto. Suas especificações técnicas seguem nas Tabelas 1 a 3 e Figuras 22 a 24 respectivamente. Essas figuras mostram os diagramas carga x deslocamento das 3 molas utilizadas sendo a da Figura 22 para a pressão de 1,25 MPa, a da Figura 23 para a pressão de 2,50 MPa e a da Figura 24 para a pressão de 5,00 MPa.

Deformação X Carga



Cliente:
 Desenho:
 Código:

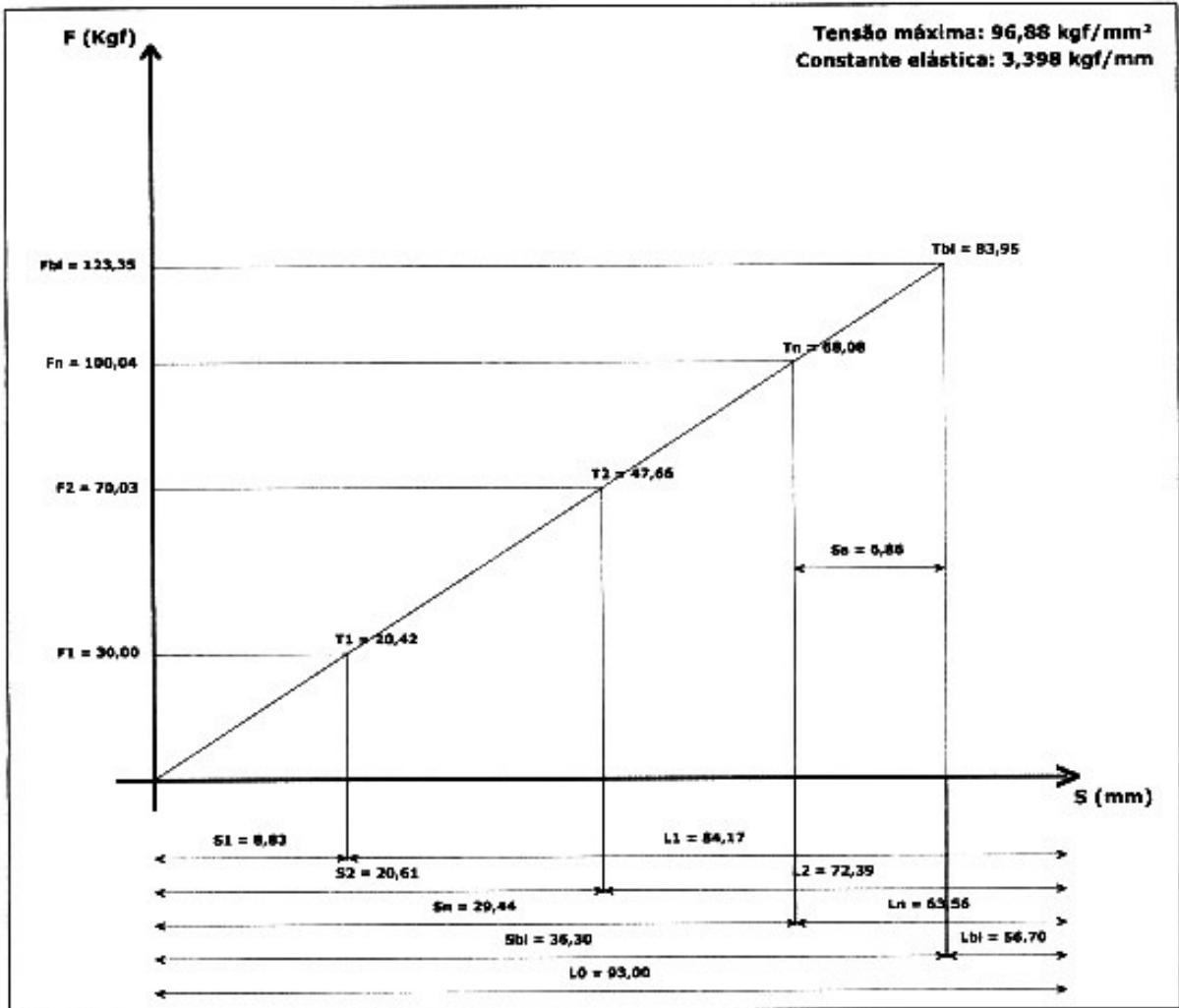


Figura 22 – Deformação x carga da mola empregada no equipamento destinado a reter a pressão de prensagem em 1,25 MPa

Tabela 1 - Ficha de cálculo para a mola destinada a reter a pressão de prensagem em 1,25 MPa

Características				Tolerância (Din 2095)		
Dimensionais						
	Descrição	Dados		Grau 1	Grau 2	Grau 3
L ₀	Altura Livre (Mm)	93,00	±	1,23	1,95	3,13
D	Diâmetro do Arame (Mm)	4,20	±	0,030	0,030	0,030
D _e	Diâmetro Externo (Mm)	24,00	±	0,20	0,35	0,70
D _m	Diâmetro Médio (Mm)	19,80	±	0,20	0,35	0,70
D _i	Diâmetro Interno (Mm)	15,60	±	0,20	0,35	0,70
I _f	Espiras Ativas	12,25	±			
I _g	Espiras Totais	14,00	±			
S _{BI}	Curso Máximo (Mm)	36,30	±			
Carga						
	Descrição	Dados		Grau 1	Grau 2	Grau 3
F ₁	Carga em L ₁ (Kgf)	30,01	±	4,47	7,09	11,35
F ₂	Carga em L ₂ (Kgf)	70,03	±	4,85	7,69	12,31
F _n	Carga em L _n (Kgf)	100,05	±	5,13	8,14	13,03
C	Constante Elástica (Kgf/Mm)	3,398	±			
Trabalho						
	Altura (Mm)	Carga/Força (Kgf)		Tensão (Kgf/Mm ²)		Limites
L ₁	84,17	F ₁	30,00	1	20,42	
L ₂	72,39	F ₂	70,03	2	47,66	Curso Limite (Mm)
L _N	63,56	F _n	100,04	N	68,08	Altura Limite (Mm)
L _{BI}	56,70	F _{bl}	123,35	BI	83,95	Carga Limite (Kgf)

Deformação X Carga



Cliente:

Desenho:

Código:

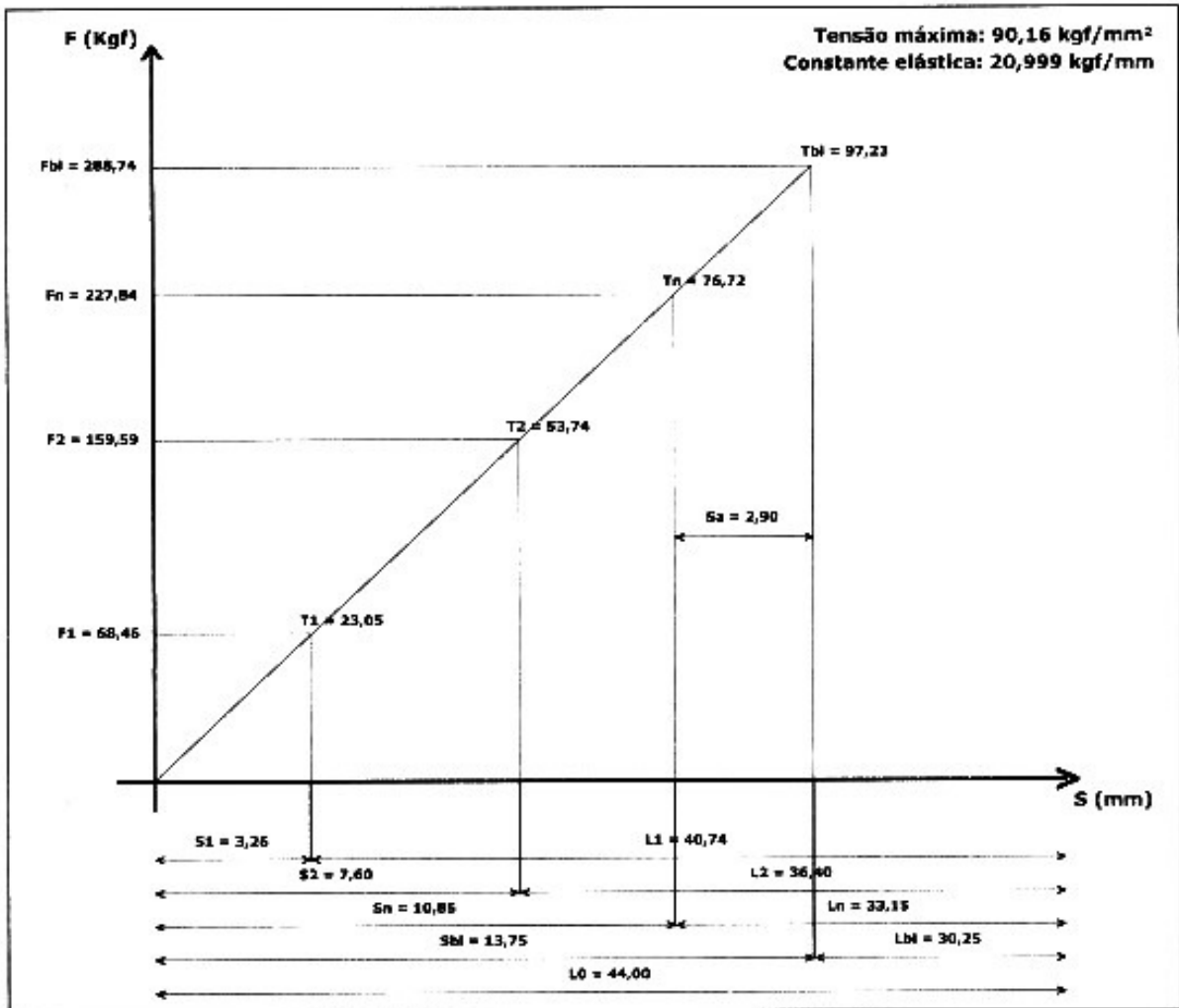



Figura 23 – Deformação x carga da mola empregada no equipamento destinado a reter a pressão de prensagem de 2,50 MPa

Tabela 2 - Ficha de cálculo para a mola destinada a reter a pressão de prensagem em 2,50 MPa

Características				Tolerância (Din 2095)		
Dimensionais						
	Descrição	Dados		Grau 1	Grau 2	Grau 3
L ₀	Altura Livre (Mm)	44,00	±	0,52	0,83	1,33
D	Diâmetro do Arame (Mm)	5,50	±	0,030	0,030	0,030
D _e	Diâmetro Externo (Mm)	27,50	±	0,20	0,35	0,70
D _m	Diâmetro Médio (Mm)	22,00	±	0,20	0,35	0,70
D _i	Diâmetro Interno (Mm)	16,50	±	0,20	0,35	0,70
I _f	Espiras Ativas	4,25	±			
I _g	Espiras Totais	6,00	±			
S _{BI}	Curso Máximo (Mm)	13,75	±			
Carga						
	Descrição	Dados		Grau 1	Grau 2	Grau 3
F ₁	Carga em L ₁ (Kgf)	68,36	±	11,62	18,44	29,51
F ₂	Carga em L ₂ (Kgf)	159,51	±	12,48	19,81	31,69
F _n	Carga em L _n (Kgf)	227,87	±	13,13	20,83	33,34
C	Constante Elástica (Kgf/Mm)	20,999	±			
Trabalho						
	Altura (Mm)	Carga/Força (Kgf)		Tensão (Kgf/Mm ²)		Limites
L ₁	40,74	F ₁ 68,46		1 23,05		
L ₂	36,40	F ₂ 159,59		2 53,74	Curso Limite (Mm)	12,75
L _N	33,15	F _n 227,84		N 76,72	Altura Limite (Mm)	31,25
L _{BI}	30,25	F _{bi} 288,74		BI 97,23	Carga Limite (Kgf)	267,8

Deformação X Carga



Cliente:

Desenho:

Código:

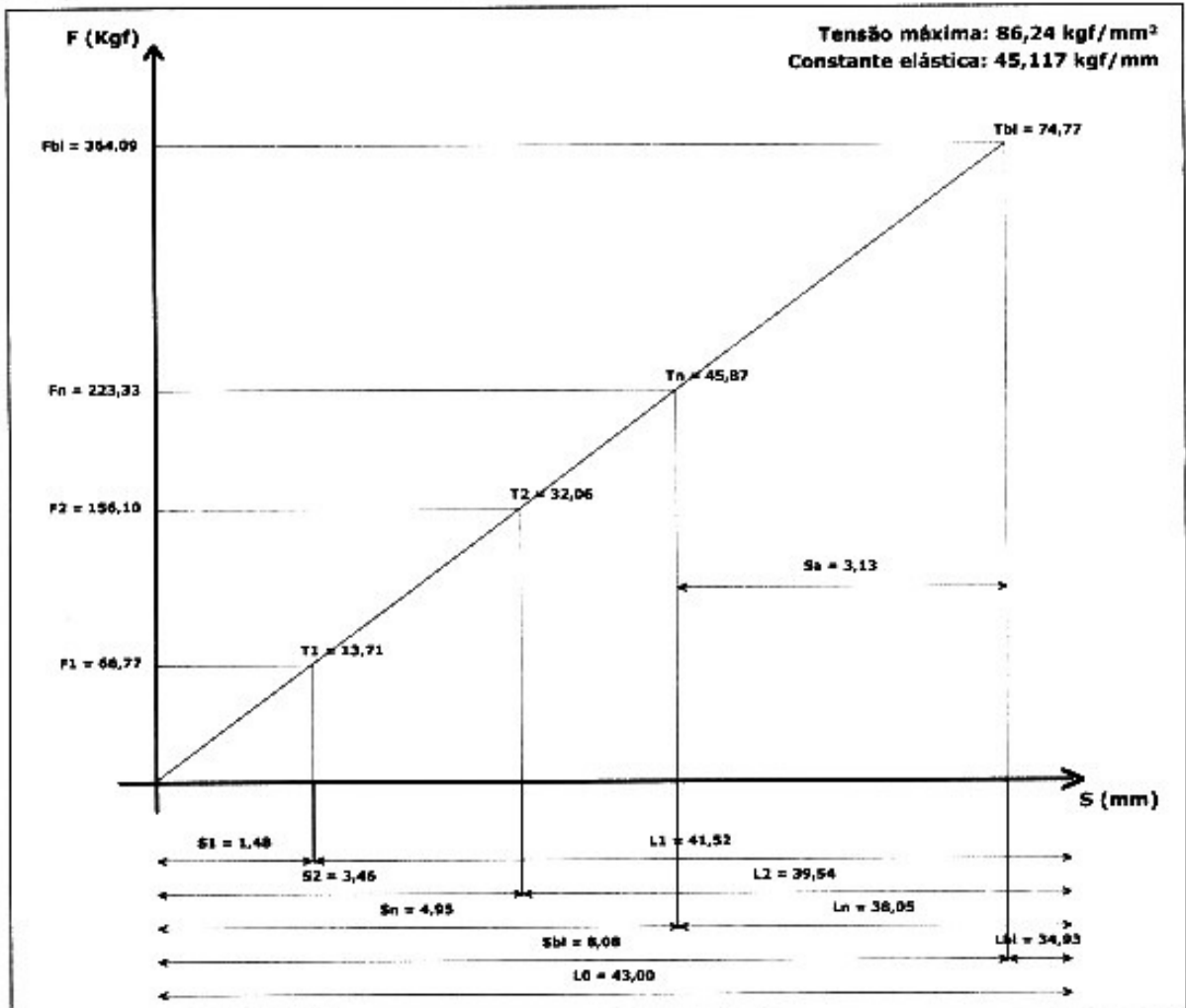


Figura 24 – Deformação x carga da mola empregada no equipamento destinado a reter a pressão de prensagem de 5,00 MPa

Tabela 3 - Ficha de cálculo para a mola destinada a reter a pressão de prensagem em 5,00 MPa

Características			Tolerância (Din 2095, Din 2096)			
Dimensionais						
	Descrição	Dados		Grau 1	Grau 2	Grau 3
L ₀	Altura Livre (Mm)	43,00	±	0,26	0,42	0,67
D	Diâmetro do Arame (Mm)	6,35	±	0,040	0,040	0,040
D _e	Diâmetro Externo (Mm)	27,00	±	0,00	0,00	0,00
D _m	Diâmetro Médio (Mm)	20,65	±	0,00	0,00	0,00
D _i	Diâmetro Interno (Mm)	14,30	±	0,00	0,00	0,00
I _f	Espiras Ativas	4,25	±			
I _g	Espiras Totais	6,00	±			
S _{BI}	Curso Máximo (Mm)	8,08	±			
Carga						
	Descrição	Dados		Grau 1	Grau 2	Grau 3
F ₁	Carga em L ₁ (Kgf)	66,97	±	12,46	19,78	31,65
F ₂	Carga em L ₂ (Kgf)	156,27	±	13,31	21,12	33,80
F _n	Carga em L _n (Kgf)	223,25	±	13,94	22,13	35,40
C	Constante Elástica (Kgf/Mm)	45,117	±			
Trabalho						
	Altura (Mm)	Carga/Força (Kgf)		Tensão (Kgf/Mm ²)		Limites
L ₁	41,52	F ₁	66,77	1	13,71	
L ₂	39,54	F ₂	156,10	2	32,06	Curso Limite (Mm)
L _N	38,05	F _n	223,33	N	45,87	Altura Limite (Mm)
L _{BI}	34,93	F _{BI}	364,09	BI	74,77	Carga Limite (Kgf)

Inicialmente, foram previstas pressões de 5,00, 10,00 e 20,00 MPa perpendicular às fibras da madeira mas, durante o processo de prensagem, os corpos-de-prova rompiam ou se deformavam, surgindo pequenas fissuras, quando a pressão tocava 6,0 MPa prejudicando o ensaio proposto inicialmente (Figuras 25 e 26).



Figura 25 – CP rompido



Figura 26 – CP deformado pro excessiva compressão normal

Definiu-se então que, ao invés de dobrar a pressão a partir dos 5,00 MPa, ela seria definida pela mesma progressão geométrica, mas com o valor inicial de 1,25 MPa, recomendado pela maioria dos adesivos para madeira.

A dose de adesivo foi fixada em 200g/m² devido à constatação de que, a partir dessa quantidade, o adesivo pode ser espalhado, na espessura do filme recomendado, por uma área superior à dos CP's adotado, resultando em desperdício de material e sem influência no resultado final dos testes. Doses inferiores são insuficientes para o cobrimento da área a ser unida. A velocidade da carga para a aplicação da pressão foi de 2,50 MPa/min.

Foi utilizada seringa U-100 de 1,0 ml para a aplicação do adesivo que deveria preencher 0,12 ml, já que a densidade do adesivo era de 1,08 g/cm³ (Figura 27).

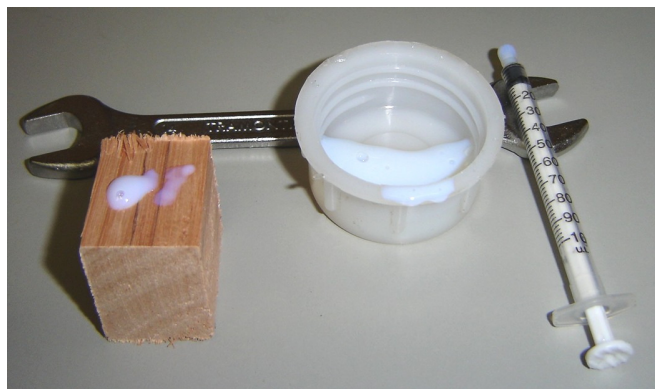


Figura 27 – Aplicação da dose de adesivo na superfície de contato

As faces a serem unidas tiveram o acabamento aplainado (Figura 28), pois uma superfície rugosa pode aumentar a adesão na junta colada (PIZZI, 1994), por haver uma maior penetração do adesivo nas paredes das células da madeira (entre as microfibrilas) (TSOUMIS, 1991).

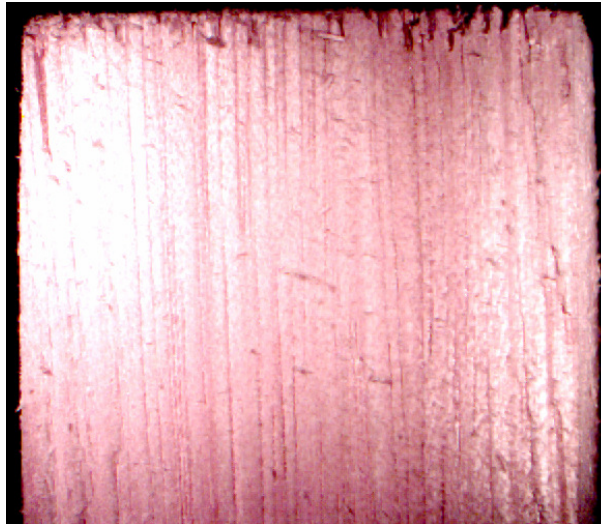


Figura 28 – Superfície a ser colada com acabamento de plaina desengrossaderia

Existem muitos testes sendo desenvolvidos para a substituição do resorcinol-formaldeído sob o nome comercial CASCOPHEN, da Alba Química S.A que é um adesivo líquido sintético, de solução aquosa/alcoólica, tóxico, de coloração marrom avermelhada e, o outro, o endurecedor (Preparado Endurecedor F-60-M), que se apresenta na forma de pó bege (o que mancha a madeira) necessitando de uma nova etapa de acabamento antes de sua entrega definitiva e sua aplicação requer um controle rígido, além da necessidade de ser acondicionado sob refrigeração e seu custo chegar a, aproximadamente, 60% do custo final da estrutura.

Durante uma visita ao Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) em São Paulo, e à empresa “ADESPEC”, destaque na etapa regional Sudeste do Prêmio Finep de Inovação Tecnológica 2005 na categoria Pequena Empresa (BRASIL INOVADOR, 2006), foi apresentado um adesivo que, posteriormente, seria escolhido, em substituição ao resorcinol-formol, denominado comercialmente de “FUNDO PREPARADOR PARA JUNTA DE PLACA CIMENTÍCIA ADESPEC” sendo um adesivo monocomponente, composto à base de elastômeros de alta performance, não inflamável, incolor e atóxico que, devido às tendências atuais, deverá substituir os adesivos utilizados no mercado.

Este adesivo foi originado para fixar e unir todos os tipos de materiais de construção. É considerado como um produto ecologicamente correto, pois não emite voláteis para o meio

ambiente, sendo isento de solventes orgânicos inflamáveis. O adesivo não requer ambientes especiais para aplicações e as pessoas que irão montar as vigas não estarão sujeitas a vapores tóxicos, como é o caso de outros adesivos comumente utilizado para este tipo de estrutura. Resiste a temperaturas altas e baixas e tem propriedade impermeabilizante, tornando-o diferente dos demais adesivos utilizados.

O “FUNDO PREPARADOR PARA JUNTA DE PLACA CIMENTÍCIA ADESPEC” foi desenvolvido dentro do CIETEC (Centro Incubador de Empresas Tecnológicas) e criado por um convênio entre o Ipen, IPT, USP, Sebrae-SP e a SCTDET. Os laboratórios do IPT e da USP foram amplamente utilizados para comprovação das propriedades do produto. Sua cor, após a secagem é transparente não causando, dessa forma, manchas indesejadas na madeira.

Segundo a pesquisadora da ADESPEC que desenvolveu este adesivo, o mesmo é flexível quando curado em temperatura ambiente (30°C), mas torna-se rígido quando a cura se dá com temperatura em torno de 60°C. O maior impedimento para o uso desse adesivo está em seu alto custo, incertezas quanto à sua função estrutural como, por exemplo, desconhecimento de sua rigidez.

No caso da presente pesquisa, o adesivo deve apresentar características que atendam os requisitos da norma NBR 7190 sendo atóxico e não poluente, ser compatível com outros materiais do projeto, ou seja, a madeira e ter função estrutural.

Os fatores que levaram a adotar este adesivo foram a facilidade de manuseio e armazenamento, baixa toxicidade ao ser humano e ao meio ambiente por não necessitar de solvente e tempo de cura lento que possibilita a montagem da junta num processo artesanal.

Os corpos-de-prova foram curados à temperatura de 27°C (ambiente), 60°C e 90°C no interior da estufa, com dose de adesivo de 200 g/m². O tempo de cura foi tomado como de 07 e 10 dias para ambas as prensagens. A superfície foi plainada e as tensões de prensagem foram de 1,25; 2,50 e 5,00 MPa. Como testemunha, foi utilizado um corpo-de-prova maciço com as mesmas dimensões que o CP. Foram feitas 4 repetições.

A pressão na coluna dos CP's foi aplicada numa máquina universal como mostra a Figura 29 e mantida pelos parafusos que forçam o êmbulo que comprime os CP's. Depois dos parafusos apertados, o aparato confinado era liberado e colocado na estufa (Figura 30) à temperatura e tempo planejados. Somente no momento do ensaio foi feito o dente característico do corpo-de-prova do cisalhamento (Figura 10). Esse procedimento foi adotado porque se verificou, em testes

exploratórios, que o referido dente prejudicava a estabilidade da coluna de corpos-de-prova durante a prensagem no interior do aparelho metálico.



Figura 29 – Aplicação de pressão numa máquina universal de ensaio



Figura 30 – CP's no interior da estufa sob pressões controladas segundo os tratamentos planejados.

O adesivo e a correta adesão das lâminas são os fatores mais importantes para a boa qualidade de viga laminada colada (CARRASCO, 1984, ABRAHÃO, 2003). Verificando-se que houve uma considerável variabilidade nos resultados dos ensaios de cisalhamento optou-se, dessa forma, por aprofundarem-se os estudos na ligação madeira-cola no sentido de compreender variáveis importantes da adesão e contribuir para a melhoria da eficiência da viga laminada colada.

As Figuras 31 e 32 demonstram o ensaio de cisalhamento no plano de cola, para avaliar a eficiência do adesivo na união das lâminas submetidas a distintas temperaturas e pressões.

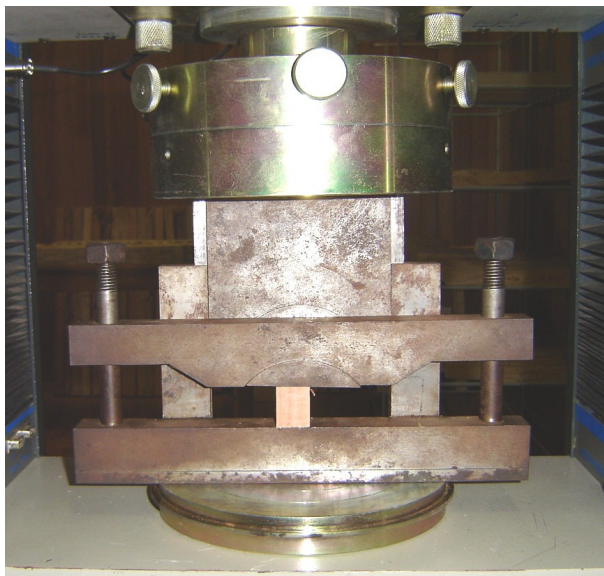


Figura 31 – Sistema de fixação do corpo-de-prova e a placa que provoca o seu cisalhamento



Figura 32 – Detalhe do CP durante o ensaio de cisalhamento no plano de cola

Após a realização dos ensaios de cisalhamento, os corpos-de-prova foram pesados e dimensionados, obtendo a massa e o volume de cada unidade em temperatura ambiente (27°C), a 60°C e a 90°C para a determinação da massa específica (ρ) e umidade (U). Foram elaboradas tabelas e, a partir daí, gráficos para a verificação da relação entre a tensão no limite de resistência ao cisalhamento (τ) com a massa específica (ρ) e com a umidade (U).

Várias análises estatísticas foram efetuadas no sentido de explorar os resultados obtidos e discuti-los de uma forma didática. O esquema de análise mais completo, um fatorial com três variáveis está apresentado na Tabela 4.

Tabela 4 – Esquema de análise de variância fatorial com 3 variáveis independentes

CV	gl
Temperatura (T)	2
Pressão (P)	2
Tempo de Prensagem (C)	1
T x P	4
T x C	2
P x C	2
T x P x C	4
(Tratamentos)	(17)
Resíduo	54
Total	71

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Cisalhamento no plano de cola

As Tabelas 5, 6, 7, 8, 9 e 10 mostram os resultados obtidos para a tensão de cisalhamento (τ) no plano de cola e a Tabela 11 mostra os valores de τ obtidos para a madeira propriamente dita.

Tabela 5 – Cisalhamento no plano de cola dos corpos-de-prova de *Eucalyptus grandis* após 7 dias em estufa a uma temperatura de 27°C (ambiente)

Laboratório de Engenharia e Máquinas para Madeira						
Ensaio: Cisalhamento no plano de cola				Norma: adaptada		
Espécie: <i>Eucalyptus grandis</i>						
Amostra	Largura (mm)	Altura (mm)	Área (mm ²)	Carga		Pressão de Colagem (Mpa)
				Máxima (N)	Tensão de Cisalhamento τ (MPa)	
1-1	23,5	27,1	636,85	4089,37	6,41	5,00
1-2	23,3	27,5	640,75	3775,56	5,88	5,00
1-3	23,4	27,5	643,50	2961,60	4,59	5,00
1-4	23,5	26,8	629,80	3069,48	4,87	5,00
Média	-	-	-	-	4,22	-
2-1	22,8	27,8	633,84	1765,19	2,78	2,50
2-2	23,1	27,6	637,56	3138,12	4,91	2,50
2-3	23,6	28,0	660,80	3344,06	5,05	2,50
2-4	23,6	26,6	627,76	2294,75	3,65	2,50
Média	-	-	-	-	4,10	-
3-1	23,1	26,2	605,22	3775,56	6,23	1,25
3-2	23,2	26,5	614,80	2785,08	4,52	1,25
3-3	23,1	26,7	616,77	2284,94	3,70	1,25
3-4	23,3	27,1	631,43	2745,86	4,34	1,25
Média	-	-	-	-	4,70	-
Média Geral					4,34	

Tabela 6 – Cisalhamento no plano de cola dos corpos-de-prova de *Eucalyptus grandis* após 7 dias em estufa a uma temperatura de 60°C

Laboratório de Engenharia e Máquinas para Madeira						
Ensaio: Cisalhamento no plano de cola				Norma: adaptada		
Espécie: <i>Eucalyptus grandis</i>						
Amostra	Largura (mm)	Altura (mm)	Área (mm²)	Carga Máxima (N)	Tensão de Cisalhamento τ (MPa)	Pressão de Colagem (MPa)
4-1	22,1	26,0	574,60	2863,54	4,98	5,00
4-2	22,8	26,1	595,08	2873,34	4,82	5,00
4-3	22,1	26,0	574,60	2402,62	4,17	5,00
4-4	22,2	26,2	581,64	2432,04	4,17	5,00
Média	-	-	-	-	4,54	-
5-1	21,9	26,2	573,78	2088,81	3,63	2,50
5-2	22,0	25,3	556,60	2863,54	5,14	2,50
5-3	21,6	26,1	563,76	2961,60	5,24	2,50
5-4	23,0	24,8	570,40	2716,44	4,75	2,50
Média	-	-	-	-	4,69	-
6-1	21,8	25,3	551,54	2608,56	4,72	1,25
6-2	22,1	25,6	565,76	3520,58	6,21	1,25
6-3	21,5	26,8	576,20	2647,79	4,59	1,25
6-4	22,0	26,5	583,00	2608,56	3,79	1,25
Média	-	-	-	-	4,83	-
Média Geral					4,69	

Tabela 7 – Cisalhamento no plano de cola dos corpos-de-prova de *Eucalyptus grandis* após 7 dias em estufa a uma temperatura de 90°C

Laboratório de Engenharia e Máquinas para Madeira						
Ensaio: Cisalhamento no plano de cola				Norma: adaptada		
Espécie: <i>Eucalyptus grandis</i>						
Amostra	Largura (mm)	Altura (mm)	Área (mm²)	Carga Máxima (N)	Tensão de Cisalhamento τ (MPa)	Pressão de Colagem (MPa)
7-1	21,9	24,3	532,17	4432,60	8,32	5,00 MPa
7-2	22,2	25,2	559,44	4462,02	7,97	5,00 MPa
7-3	22,6	24,8	560,48	5432,88	9,68	5,00 MPa
7-4	22,4	24,3	544,32	4913,13	9,02	5,00 MPa
Média	-	-	-	-	8,75	-
8-1	22,5	24,7	555,75	3324,45	5,97	2,50 MPa
8-2	22,1	25,5	563,55	3079,28	5,46	2,50 MPa
8-3	21,8	25,3	551,54	4040,33	7,32	2,50 MPa
8-4	22,4	25,3	566,72	4991,58	8,80	2,50 MPa
Média	-	-	-	-	6,89	-
9-1	21,9	24,9	545,31	3314,64	6,07	1,25 MPa
9-2	22,2	26,0	577,20	4775,83	8,26	1,25 MPa
9-3	21,9	24,1	527,79	4050,14	7,66	1,25 MPa
9-4	21,5	25,3	543,95	5609,40	10,30	1,25 MPa
Média	-	-	-	-	8,07	-
Média Geral					7,90	

Tabela 8 – Cisalhamento no plano de cola dos corpos-de-prova de *Eucalyptus grandis* após 10 dias em estufa a uma temperatura de 27°C

Laboratório de Engenharia e Máquinas para Madeira						
Ensaio: Cisalhamento no plano de cola				Norma: adaptada		
Espécie: <i>Eucalyptus grandis</i>						
Amostra	Largura (mm)	Altura (mm)	Área (mm ²)	Carga		
				Máxima (N)	Tensão de Cisalhamento τ (MPa)	Pressão de Colagem (Mpa)
10-1	23,8	26,7	635,46	3206,77	5,04	5,00
10-2	23,3	27,1	631,43	2353,59	3,72	5,00
10-3	23,2	27,7	642,64	2951,80	4,59	5,00
10-4	23,6	27,5	649,00	3638,26	5,60	5,00
Média	-	-	-	-	4,74	-
11-1	23,4	26,5	620,10	3775,56	6,08	2,50
11-2	23,0	27,4	630,20	3265,61	5,17	2,50
11-3	23,0	27,2	625,60	3814,78	6,09	2,50
11-4	23,2	27,5	638,00	4305,11	6,74	2,50
Média	-	-	-	-	6,02	-
12-1	23,0	26,8	616,40	3069,48	4,97	1,25
12-2	23,4	28,2	659,88	4040,33	6,11	1,25
12-3	23,4	27,0	631,80	2314,36	3,65	1,25
12-4	22,9	27,8	636,62	3344,06	5,24	1,25
Média	-	-	-	-	5,00	-
Média Geral					5,25	

Tabela 9 – Cisalhamento no plano de cola dos corpos-de-prova de *Eucalyptus grandis* após 10 dias em estufa a uma temperatura de 60°C

Laboratório de Engenharia e Máquinas para Madeira						
Ensaio: Cisalhamento no plano de cola				Norma: adaptada		
Espécie: <i>Eucalyptus grandis</i>						
Amostra	Largura (mm)	Altura (mm)	Área (mm ²)	Carga	Tensão de Cisalhamento τ (MPa)	Pressão de Colagem (Mpa)
				Máxima (N)		
13-1	22,8	27,3	622,44	3196,97	5,13	5,00
13-2	22,5	26,7	600,75	3246,00	5,39	5,00
13-3	22,5	26,3	591,75	3020,44	5,10	5,00
13-4	23,0	26,4	607	3314,64	5,45	5,00
Média	-	-	-	-	5,27	-
14-1	22,6	26,7	603,42	2991,02	4,95	2,50
14-2	22,7	27,7	628,79	3246,00	5,15	2,50
14-3	22,4	26,0	582,40	2951,80	5,06	2,50
14-4	22,6	26,8	605,68	3599,04	5,93	2,50
Média	-	-	-	-	5,27	-
15-1	22,9	25,0	572,50	3030,25	5,28	1,25
15-2	22,8	25,8	588,24	3893,24	6,61	1,25
15-3	22,9	27,4	627,46	2843,92	4,53	1,25
15-4	22,7	25,0	567,50	2353,59	4,14	1,25
Média	-	-	-	-	5,14	-
Média Geral					5,23	

Tabela 10 – Cisalhamento no plano de cola dos corpos-de-prova de *Eucalyptus grandis* após 10 dias em estufa a uma temperatura de 90°C

Laboratório de Engenharia e Máquinas para Madeira						
Ensaio: Cisalhamento no plano de cola					Norma: adaptada	
Espécie: <i>Eucalyptus grandis</i>						
Amostra	Largura (mm)	Altura (mm)	Área (mm ²)	Carga	Tensão de Cisalhamento	Pressão de Colagem (MPa)
				Máxima (N)	τ (MPa)	
16-1	22,4	26,1	584,64	4403,18	7,52	5,00
16-2	21,9	27,0	591,30	3157,74	5,33	5,00
16-3	22,2	26,5	588,30	4030,53	6,84	5,00
16-4	22,1	26,3	581,23	4638,54	7,97	5,00
Média	-	-	-	-	6,92	-
17-1	22,4	27,1	607,04	4324,73	7,11	2,50
17-2	22,4	27,3	611,52	4873,90	7,96	2,50
17-3	22,7	25,7	583,39	3903,04	6,68	2,50
17-4	22,5	25,7	578,25	4138,40	7,15	2,50
Média	-	-	-	-	7,23	-
18-1	22,5	26,3	591,75	4059,95	6,85	1,25
18-2	22,5	26,1	587,25	3569,62	6,07	1,25
18-3	21,5	26,7	574,05	4275,69	7,44	1,25
18-4	21,6	25,8	557,28	4569,89	8,19	1,25
Média	-	-	-	-	7,14	-
Média Geral					7,09	

Tabela 11 – Cisalhamento na madeira de *Eucalyptus grandis* determinados em corpos-de-prova maciços

Laboratório de Engenharia e Máquinas para Madeira					
Ensaio: Cisalhamento na madeira					Norma: adaptada
Espécie: <i>Eucalyptus grandis</i>					
Amostra	Largura (mm)	Altura (mm)	Área (mm ²)	Carga	Tensão de Cisalhamento
				Máxima (N)	τ (MPa)
T-1	23,1	30,1	695,31	8659,27	12,44
T-2	22,8	30,0	684,00	10179,30	14,87
T-3	23,0	30,2	694,60	9414,38	13,54
T-4	23,0	30,0	690,00	8492,55	12,29
Média	-	-	-	-	13,29

Não foram realizados ensaios de cisalhamento utilizando madeira maciça a 60°C e a 90°C para economizar tempo e custo uma vez que os dados da resistência a 27°C mostraram-se muito superiores no plano de cola mesmo depois do longo tempo de exposição a altas temperaturas e, também, porque a madeira é, normalmente, utilizada em temperatura ambiente.

A Tabela 12 e a Figura 33 mostram a relação entre a Tensão no Limite de Resistência ao Cisalhamento (τ) e a Pressão no tempo de 7 dias sob cura de adesivo e para as temperaturas avaliadas. Concluí-se que, nesse tempo, a temperatura de 90°C foi favorável aos valores de τ superiores em relação às demais temperaturas.

Tabela 12 – Tensões de cisalhamento (τ [MPa]) obtidas em corpos-de-prova de *Eucalyptus grandis* colados com adesivo sem solvente no tempo de 7 dias

Pressão (Mpa)	Temperatura (°C)		
	27	60	90
1,25	4,70	4,83	8,07
2,50	4,10	4,69	6,89
5,00	4,22	4,54	8,75

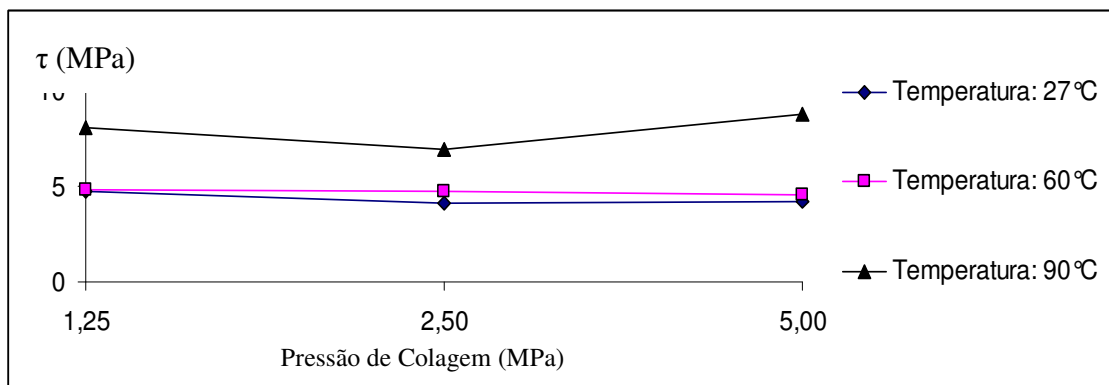


Figura 33 – Tensões de Cisalhamento [τ (MPa)] obtidas em corpos-de-prova de *Eucalyptus grandis* colados com adesivo sem solvente no tempo de cura de 7 dias

A Tabela 13 e Figura 34 expressam a relação entre a Tensão no Limite de Resistência ao Cisalhamento (τ) e a Pressão no tempo de 10 dias. Novamente a temperatura de 90°C obteve τ superiores às demais temperaturas.

Tabela 13 – Tensões de cisalhamento [τ (MPa)] obtidas em corpos-de-prova de *Eucalyptus grandis* colados com adesivo sem solvente no tempo de 10 dias

Pressão (Mpa)	Temperatura (°C)		
	27	60	90
1,25	5,00	5,14	7,14
2,50	6,02	5,27	7,23
5,00	4,74	5,27	6,92

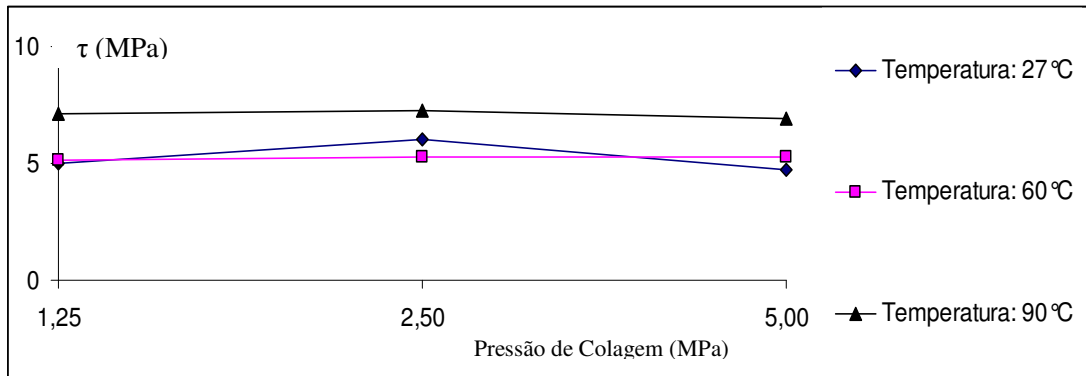


Figura 34 – Tensões de Cisalhamento [τ (MPa)] obtidas em corpos-de-prova de *Eucalyptus grandis* colados com adesivo sem solvente no tempo de 10 dias

A Tabela 14 e a Figura 35, respectivamente rearranjadas da Tabela 13 e Figura 34, mostram a relação entre a Tensão no Limite de Resistência ao Cisalhamento (τ) e a Temperatura no tempo de 7 dias. Observa-se que não há diferença significativa entre as pressões até a temperatura de 60° mas, na temperatura de 90°C, há um aumento de τ para todas as pressão, especialmente na de 5,00 MPa.

Tabela 14 – Tensões de cisalhamento [τ (MPa)] obtidas em corpos-de-prova de *Eucalyptus grandis* colados com adesivo sem solvente no tempo de cura de 7 dias

Temperatura (°C)	Pressão (MPa)		
	1,25	2,50	5,00
27	4,70	4,10	4,22
60	4,83	4,69	4,54
90	8,07	6,89	8,75

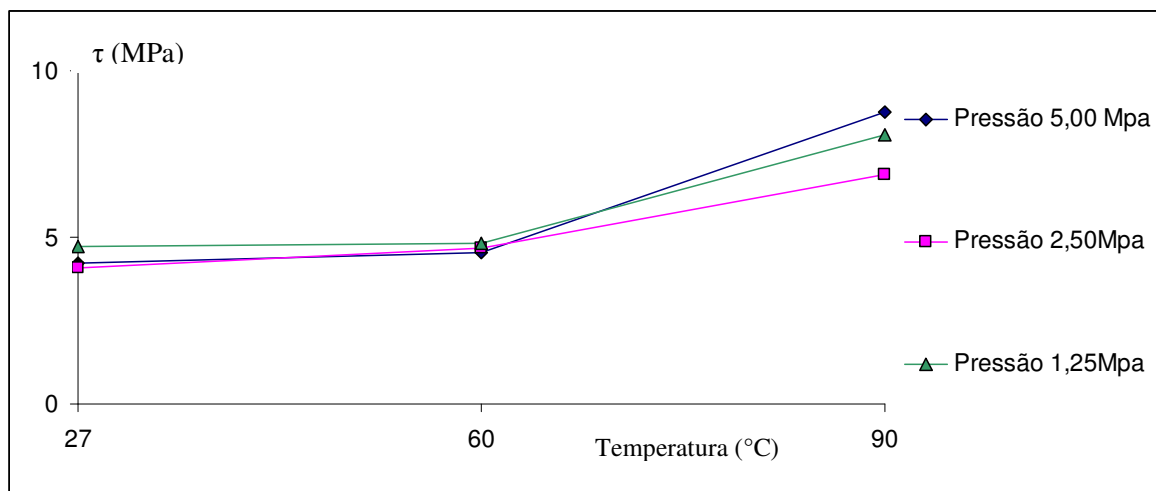


Figura 35 – Tensões de Cisalhamento [τ (MPa)] obtidas em corpos-de-prova de *Eucalyptus grandis* colados com adesivo sem solvente no tempo de cura de 7 dias

A Tabela 15 e a Figura 36, respectivamente rearranjadas da Tabela 14 e Figura 35, mostram a relação entre a Tensão no Limite de Resistência ao Cisalhamento (τ) e a temperatura no tempo de 10 dias. Observa-se que não há diferenças nas temperaturas de 60°C e 90°C, mas na temperatura de 27°C, há uma diferença na τ para a pressão de 2,50 MPa.

Tabela 15 – Tensões de cisalhamento [τ (MPa)] obtidas em corpos-de-prova de *Eucalyptus grandis* colados com adesivo sem solvente no tempo de cura de 10 dias

Temperatura (°C)	Pressão (MPa)		
	1,25	2,50	5,00
27	5,00	6,02	4,74
60	5,14	5,27	5,27
90	7,14	7,23	6,92

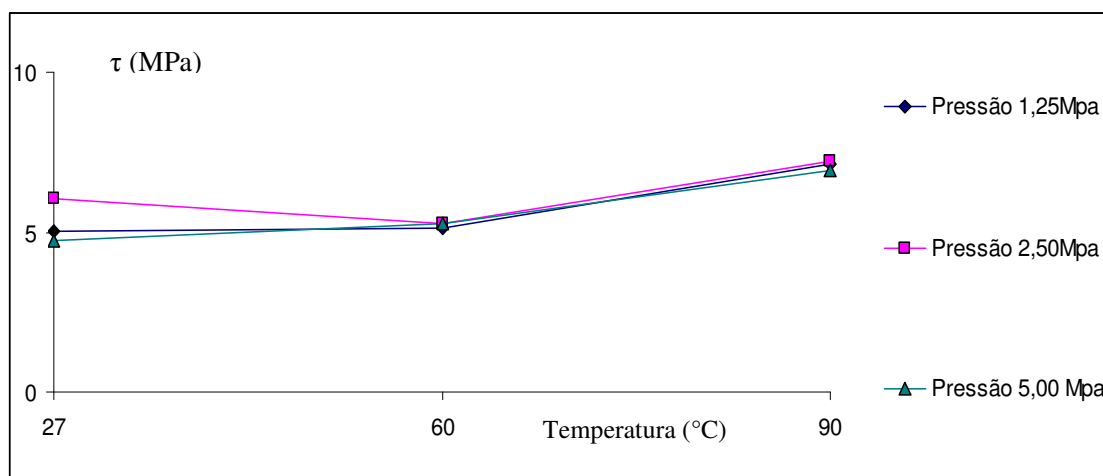


Figura 36 – Tensões de Cisalhamento [τ (MPa)] obtidas em corpos-de-prova de *Eucalyptus grandis* colados com adesivo sem solvente no tempo de cura de 10 dias

4.2 Análises estatísticas

Nas análises estatísticas, apresentadas nas Tabelas 16 a 21 e na Figura 37, tendo apenas a pressão como variável, observa-se que não há influência significativa da pressão de colagem, ou seja, o aumento ou a diminuição dos valores de pressão não resulta numa diferença expressiva na τ , podendo para economia de custos, utilizar apenas a pressão de 1,25 MPa.

A não significância de nenhuma diferença de médias de τ devida às pressões para qualquer combinação de tempo e temperatura não indica necessariamente ausência de interação entre a pressão e qualquer das outras duas variáveis e isso será verificado mais adiante numa análise estatística mais completa segundo o esquema fatorial que envolve todos os três fatores.

Tabela 16 – Análise estatística para tensão de cisalhamento para corpos-de-prova de *eucalyptus grandis* fixando o tempo de 7 dias e temperatura de 27°C e Tendo como variável a pressão de colagem

	Pressão (MPa)			Σ
	5,00	2,50	1,25	
	6,41	2,78	6,23	15,43
	5,88	4,91	4,52	15,33
	4,59	5,05	3,70	13,35
	4,87	3,65	4,34	12,87
Σ	21,77 (4)	16,40 (4)	18,80 (4)	56,99 (12)
CV	gl	SQ	QM	F
Pressão (P)	2	3,61	1,80	1,76
Resíduo	9	9,21	1,02	
Total	11	12,82		

$$\Sigma X = 6,41 + 5,88 + \dots + 3,70 + 4,34 = 56,99$$

$$\Sigma X^2 = 6,41^2 + 5,88^2 + \dots + 3,70^2 + 4,34^2 = 283,51$$

$$SQ_{\text{pressão}} = \frac{1}{4} (21,77^2 + 16,40^2 + 18,80^2) - (56,99^2/12) = 3,61$$

$$SQ_{\text{Total}} = 283,51 - (56,99^2/12) = 12,82$$

Tabela 17– Análise estatística para tensão de cisalhamento para corpos-de-prova de *eucalyptus grandis* fixando o tempo de 7 dias e temperatura de 60°C e Tendo como variável a pressão de colagem

	Pressão (MPa)			Σ
	5,00	2,50	1,25	
	4,98	3,63	4,72	13,34
	4,82	5,14	6,21	16,18
	4,17	5,24	4,59	14,02
	4,17	4,75	3,79	12,73
Σ	18,16 (4)	18,78 (4)	19,33 (4)	56,28 (12)
CV	gl	SQ	QM	F
Pressão (P)	2	0,17	0,08	0,14
Resíduo	9	5,22	0,58	
Total	11	5,39		

$$\Sigma X = 4,98 + 4,82 + \dots + 4,59 + 3,79 = 56,28$$

$$\Sigma X^2 = 4,98^2 + 4,82^2 + \dots + 4,59^2 + 3,79^2 = 269,41$$

$$SQ_{\text{pressão}} = \frac{1}{4} (18,16^2 + 18,78^2 + 19,33^2) - (56,28^2/12) = 0,17$$

$$SQ_{\text{Total}} = 269,41 - (56,28^2/12) = 5,39$$

Tabela 18 – Análise estatística para tensão de cisalhamento para corpos-de-prova de *eucalyptus grandis* fixando o tempo de 7 dias e temperatura de 90°C e Tendo como variável a pressão de colagem

	Pressão (MPa)			Σ
	5,00	2,50	1,25	
	8,32	5,97	6,07	20,37
	7,97	5,46	8,26	21,69
	9,68	7,32	7,66	24,67
	9,02	8,80	10,30	28,12
Σ	35,00 (4)	27,56 (4)	32,31 (4)	94,87 (12)
CV	gl	SQ	QM	F
Pressão (P)	2	7,09	3,54	1,81
Resíduo	9	17,63	1,95	
Total	11	24,73		

$$\Sigma X = 8,32 + 7,97 + \dots + 7,66 + 10,30 = 94,87$$

$$\Sigma X^2 = 8,32^2 + 7,97^2 + \dots + 7,66^2 + 10,30^2 = 774,89$$

$$SQ_{\text{pressão}} = \frac{1}{4} (35,00^2 + 27,56^2 + 32,31^2) - (94,87^2/12) = 7,09$$

$$SQ_{\text{Total}} = 774,89 - (94,87^2/12) = 24,73$$

Tabela 19 – Análise estatística para tensão de cisalhamento para corpos-de-prova de *eucalyptus grandis* fixando o tempo de 10 dias e temperatura de 27°C e Tendo como variável a pressão de colagem

	Pressão (MPa)			Σ
	5,00	2,50	1,25	
	5,04	6,08	4,97	16,10
	3,72	5,17	6,11	15,02
	4,59	6,09	3,65	14,34
	5,60	6,74	5,24	17,59
Σ	18,96 (4)	24,09 (4)	20,00 (4)	63,06 (12)
CV	gl	SQ	QM	F
Pressão (P)	2	3,68	1,84	2,66
Resíduo	9	6,23	0,69	
Total	11	9,92		

$$\Sigma X = 5,04 + 3,72 + \dots + 6,11 + 3,65 + 5,24 = 63,06$$

$$\Sigma X^2 = 5,04^2 + 3,72^2 + \dots + 6,11^2 + 3,65^2 + 5,24^2 = 341,36$$

$$SQ_{\text{pressão}} = \frac{1}{4} (18,96^2 + 24,09^2 + 20,00^2) - (63,06^2/12) = 3,68$$

$$SQ_{\text{Total}} = 341,36 - (63,06^2/12) = 9,92$$

Tabela 20 – Análise estatística para tensão de cisalhamento para corpos-de-prova de *eucalyptus grandis* fixando o tempo de 10 dias e temperatura de 60°C e Tendo como variável a pressão de colagem

	Pressão (MPa)			Σ
	5,00	2,50	1,25	
	5,13	4,95	5,28	15,37
	5,39	5,15	6,61	17,17
	5,10	5,06	4,53	14,69
	5,45	5,93	4,14	15,53
Σ	21,08 (4)	21,11 (4)	20,57 (4)	62,78 (12)
CV	gl	SQ	QM	F
Pressão (P)	2	0,04	0,02	0,04
Resíduo	9	4,26	0,47	
Total	11	4,30		

$$\Sigma X = 5,13 + 5,39 + 5,10 + 4,53 + 4,14 = 62,78$$

$$\Sigma X^2 = 5,13^2 + 5,39^2 + \dots + 4,53^2 + 4,14^2 = 332,75$$

$$SQ_{\text{pressão}} = \frac{1}{4} (21,08^2 + 21,11^2 + 20,57^2) - (62,78^2/12) = 0,04$$

$$SQ_{\text{Total}} = 332,75 - (62,78^2/12) = 4,30$$

Tabela 21 – Análise estatística para tensão de cisalhamento para corpos-de-prova de *eucalyptus grandis* fixando o tempo de 10 dias e temperatura de 90°C e tendo como variável a pressão de colagem

	Pressão (MPa)			Σ
	5,00	2,50	1,25	
	7,52	7,11	6,85	21,50
	5,33	7,96	6,07	19,37
	6,84	6,68	7,44	20,97
	7,97	7,15	8,19	23,32
Σ	27,68 (4)	28,92 (4)	28,56 (4)	85,17 (12)
CV	gl	SQ	QM	F
Pressão (P)	2	0,20	0,10	0,12
Resíduo	9	7,26	0,80	
Total	11	7,47		

$$\Sigma X = 7,52 + 5,33 + \dots + 6,07 + 7,44 + 8,19 = 85,17$$

$$\Sigma X^2 = 7,52^2 + 5,33^2 + \dots + 7,44^2 + 8,19^2 = 612,04$$

$$SQ_{\text{pressão}} = \frac{1}{4} (27,68^2 + 28,92^2 + 28,56^2) - (85,17^2/12) = 0,20$$

$$SQ_{\text{Total}} = 612,04 - (85,17^2/12) = 7,47$$

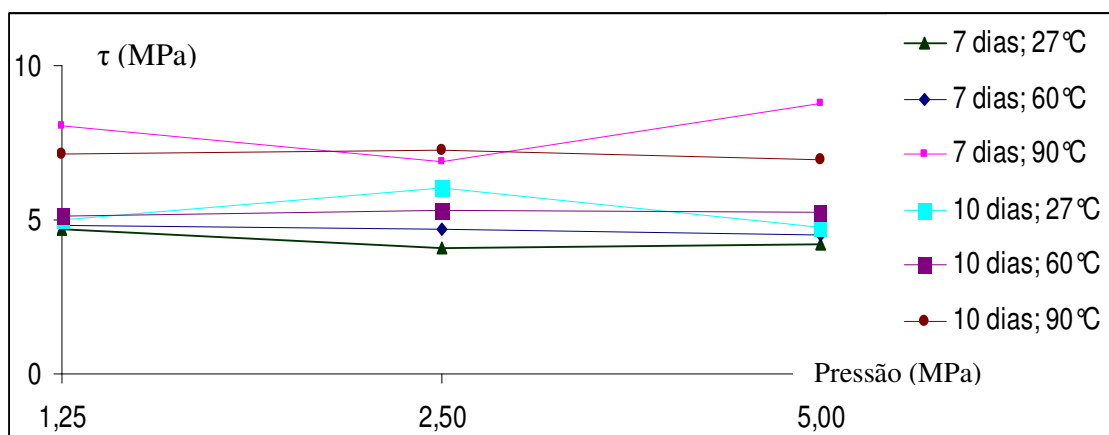


Figura 37 – Tensões de cisalhamento [τ (mpa)] em corpos-de-prova de *eucalyptus grandis* colados com adesivo sem solvente

Nas tabelas 22 a 27, o teste F foi significativo em todas as combinações de tempo e pressão (tempos de 7 e 10 dias e pressões de 1,25 MPa, 2,50 MPa e 5,00 MPa), indicando que existem diferenças significativas e a τ é influenciada exclusivamente pela temperatura. A Figura 38 mostra a variação entre os tratamentos apresentados nessas Tabelas.

Tabela 22 – Análise estatística para Tensão de Cisalhamento para corpos-de-prova de *Eucalyptus grandis* fixando o tempo de 7 dias, pressão de 1,25 MPa e tendo como variável a temperatura

	Temperatura (°C)			Σ
	27	60	90	
	6,23	4,72	6,07	17,03
	4,52	6,21	8,26	19,01
	3,70	4,59	7,66	15,96
	4,34	3,79	10,30	18,45
Σ	18,80 (4)	19,33 (4)	32,31 (4)	70,46 (12)
CV	gl	SQ	QM	F
Temperatura (T)	2	29,26	14,63	8,36*
Resíduo	9	15,74	1,74	
Total	11	45,01		

$$\Sigma X = 6,23 + 4,52 + \dots + 7,66 + 10,30 = 70,46$$

$$\Sigma X^2 = 6,23^2 + 4,52^2 + \dots + 7,66^2 + 10,30^2 = 458,75$$

$$SQ_{\text{temperatura}} = \frac{1}{4} (18,80^2 + 19,33^2 + 32,31^2) - (70,46^2/12) = 29,26$$

$$SQ_{\text{total}} = 458,75 - (70,46^2/12) = 45,01$$

Tabela 23 – Análise estatística para Tensão de Cisalhamento para corpos-de-prova de *Eucalyptus grandis* fixando o tempo de 7 dias, pressão de 2,50 MPa e tendo como variável a temperatura

	Temperatura (°C)			Σ
	27	60	90	
	2,78	3,63	5,97	12,39
	4,91	5,14	5,46	15,52
	5,05	5,24	7,32	17,62
	3,65	4,75	8,80	17,21
Σ	16,40 (4)	18,78 (4)	27,56 (4)	62,75 (12)
CV	gl	SQ	QM	F
Temperatura (T)	2	17,24	8,62	6,53*
Resíduo	9	11,86	1,31	
Total	11	29,11		

$$\Sigma X^2 = 2,78^2 + 4,91^2 + \dots + 7,32^2 + 8,80^2 = 62,75$$

$$\Sigma X^2 = 2,78^2 + 4,91^2 + \dots + 7,32^2 + 8,80^2 = 357,33$$

$$SQ_{\text{temperatura}} = \frac{1}{4} (16,40^2 + 18,78^2 + 27,56^2) - (62,75^2/12) = 17,24$$

$$SQ_{\text{total}} = 357,33 - (62,75^2/12) = 29,11$$

Tabela 24 – Análise estatística para Tensão de Cisalhamento para corpos-de-prova de *Eucalyptus grandis* fixando o tempo de 7 dias, pressão de 5,00 MPa e tendo como variável a temperatura

	Temperatura (°C)			Σ
	27	60	90	
	6,41	4,98	8,32	19,72
	5,88	4,82	7,97	18,68
	4,59	4,17	9,68	18,46
	4,87	4,17	9,02	18,06
Σ	21,77 (4)	18,16 (4)	35,00 (4)	74,93 (12)
CV	gl	SQ	QM	F
Temperatura (T)	2	39,29	19,64	39,61*
Resíduo	9	4,46	0,49	
Total	11	43,75		

$$\Sigma X=6,41+5,88+\dots+9,68+9,02=74,93$$

$$\Sigma X^2=6,41^2+5,88^2+\dots+9,68^2+9,02^2=511,73$$

$$SQ_{\text{temperatura}} = \frac{1}{4} (21,77^2+18,16^2+35,00^2)-(74,93^2/12)= 39,29$$

$$SQ_{\text{total}}= 511,73 -(74,93^2/12)= 43,75$$

Tabela 25 – Análise estatística para Tensão de Cisalhamento para corpos-de-prova de *Eucalyptus grandis* fixando o tempo de 10 dias, pressão de 1,25 MPa e tendo como variável a temperatura

	Temperatura (°C)			Σ
	27	60	90	
	4,97	5,28	6,85	17,12
	6,11	6,61	6,07	18,80
	3,65	4,53	7,44	15,63
	5,24	4,14	8,19	17,58
Σ	20,00 (4)	20,57 (4)	28,56 (4)	69,14 (12)
CV	gl	SQ	QM	F
Temperatura (T)	2	11,46	5,73	5,67*
Resíduo	9	9,09	1,01	
Total	11	20,55		

$$\Sigma X=4,97+6,11+\dots+7,44+8,19=69,14$$

$$\Sigma X^2=4,97^2+6,11^2+\dots+7,44^2+8,19^2=419,02$$

$$SQ_{\text{temperatura}} = \frac{1}{4} (20,00^2+20,57^2+28,56^2)-(69,14^2/12)= 11,46$$

$$SQ_{\text{total}}= 419,02 -(69,14^2/12)= 20,55$$

Tabela 26 – Análise estatística para Tensão de Cisalhamento para corpos-de-prova de *Eucalyptus grandis* fixando o tempo de 10 dias, pressão de 2,50 MPa e tendo como variável a temperatura

	Temperatura (°C)			Σ
	27	60	90	
	6,08	4,95	7,11	18,15
	5,17	5,15	7,96	18,30
	6,09	5,06	6,68	17,84
	6,74	5,93	7,15	19,83
Σ	24,09 (4)	21,11 (4)	28,92 (4)	74,13 (12)
CV	gl	SQ	QM	F
Temperatura (T)	2	7,75	3,87	12,95*
Resíduo	9	2,69	0,29	
Total	11	10,45		

$$\Sigma X = 6,08 + 5,17 + \dots + 6,68 + 7,15 = 74,13$$

$$\Sigma X^2 = 6,08^2 + 5,17^2 + \dots + 6,68^2 + 7,15^2 = 468,47$$

$$SQ_{\text{temperatura}} = \frac{1}{4} (24,09^2 + 21,11^2 + 28,92^2) - (74,13^2/12) = 7,75$$

$$SQ_{\text{total}} = 468,47 - (74,13^2/12) = 10,45$$

Tabela 27 – Análise estatística para Tensão de Cisalhamento para corpos-de-prova de *Eucalyptus grandis* fixando o tempo de 10 dias, pressão de 5,00 MPa e tendo como variável a temperatura

	Temperatura (°C)			Σ
	27	60	90	
	5,04	5,13	7,52	17,70
	3,72	5,39	5,33	14,46
	4,59	5,10	6,84	16,53
	5,60	5,45	7,97	19,03
Σ	18,96 (4)	21,08 (4)	27,68 (4)	67,73 (12)
CV	gl	SQ	QM	F
Temperatura (T)	2	10,34	5,17	7,78*
Resíduo	9	5,97	0,66	
Total	11	16,31		

$$\Sigma X = 5,04 + 3,72 + \dots + 6,84 + 7,97 = 67,73$$

$$\Sigma X^2 = 5,04^2 + 3,72^2 + \dots + 6,84^2 + 7,97^2 = 398,66$$

$$SQ_{\text{temperatura}} = \frac{1}{4} (18,96^2 + 21,08^2 + 27,68^2) - (67,73^2/12) = 10,34$$

$$SQ_{\text{total}} = 398,66 - (67,73^2/12) = 16,31$$

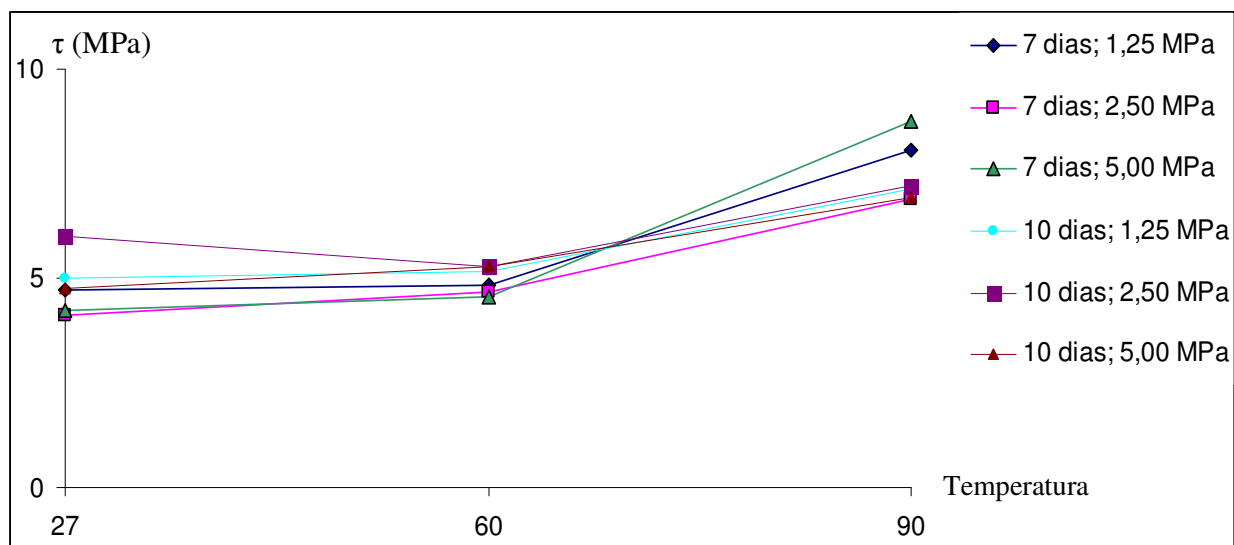


Figura 38 – Tensões de Cisalhamento [τ (MPa)] em corpos-de-prova de *Eucalyptus grandis* colados com adesivos sem solvente

Comparando-se as Figuras 37 e 38 observa-se que a tensão de cisalhamento sofre pouca influência da variação da pressão. O mesmo não ocorre com relação à temperatura que, a 90°C, a tensão de cisalhamento é significativamente maior.

As Tabelas 28 a 36 apresentam a variação da τ nos tempos de 7 e 10 dias com temperaturas e pressões fixadas. A tensão de cisalhamento é influenciada pela temperatura de 27°C na pressão de 2,50 MPa (Tabela 28), pela temperatura de 60°C na pressão de 5,00 MPa (Tabela 33) e pela temperatura de 90°C na pressão de 5,00 MPa (Tabela 36).

Tabela 28 – Análise estatística para Tensão de Cisalhamento para corpos-de-prova de *Eucalyptus grandis* fixando a temperatura em 27°C, pressão de 1,25 MPa e tendo como variável o tempo

	Tempo (dias)				
	7	10	Σ		
	6,23	4,97	11,21		
	4,52	6,11	10,64		
	3,70	3,65	7,36		
	4,34	5,24	9,59		
Σ	18,80 (4)	20,00 (4)	38,81 (8)		
CV	gl	SQ	QM	F	
Tempo (C)	1	0,17	0,17	0,16	
Resíduo	6	6,61	1,10		
Total	7	6,79			

$$\Sigma X = 6,23 + 4,52 + \dots + 3,65 + 5,24 = 38,81$$

$$\Sigma X^2 = 6,23^2 + 4,52^2 + \dots + 3,65^2 + 5,24^2 = 195,10$$

$$SQ_{\text{tempo}} = \frac{1}{4} (18,80^2 + 20,00^2) - (38,81^2/8) = 0,17$$

$$SQ_{\text{total}} = 195,10 - (38,81^2/8) = 6,79$$

Tabela 29 – Análise estatística para Tensão de Cisalhamento para corpos-de-prova de *Eucalyptus grandis* fixando a temperatura em 27°C, pressão de 2,50 MPa e tendo como variável o tempo

	Tempo (dias)				
	7	10	Σ		
	2,78	6,08	8,86		
	4,91	5,17	10,09		
	5,05	6,09	11,15		
	3,65	6,74	10,39		
Σ	16,40 (4)	24,09 (4)	40,50 (8)		
CV	gl	SQ	QM	F	
Tempo (C)	1	7,39	7,39	9,30*	
Resíduo	6	4,76	0,79		
Total	7	12,15			

$$\Sigma X = 2,78 + 4,91 + \dots + 6,09 + 6,74 = 40,50$$

$$\Sigma X^2 = 2,78^2 + 4,91^2 + \dots + 6,09^2 + 6,74^2 = 217,28$$

$$SQ_{\text{tempo}} = \frac{1}{4} (16,40^2 + 24,09^2) - (40,50^2/8) = 7,39$$

$$SQ_{\text{total}} = 217,28 - (40,50^2/8) = 12,15$$

Tabela 30 – Análise estatística para Tensão de Cisalhamento para corpos-de-prova de *Eucalyptus grandis* fixando a temperatura em 27°C, pressão de 5,00 MPa e tendo como variável o tempo

	Tempo (dias)			
	7	10	Σ	
	6,41	5,04	11,45	
	5,88	3,72	9,61	
	4,59	4,59	9,18	
	4,87	5,60	10,47	
Σ	21,77 (4)	18,96 (4)	40,73 (8)	
CV	gl	SQ	QM	F
Tempo (C)	1	0,98	0,98	1,45
Resíduo	6	4,06	0,67	
Total	7	5,05		

$$\Sigma X = 6,41 + 5,88 + \dots + 4,59 + 5,60 = 40,73$$

$$\Sigma X^2 = 6,41^2 + 5,88^2 + \dots + 4,59^2 + 5,60^2 = 212,50$$

$$SQ_{\text{tempo}} = \frac{1}{4} (21,77^2 + 18,96^2) - (40,73^2/8) = 0,98$$

$$SQ_{\text{total}} = 212,50 - (40,73^2/8) = 5,05$$

Tabela 31 – Análise estatística para Tensão de Cisalhamento para corpos-de-prova de *Eucalyptus grandis* fixando a temperatura em 60°C, pressão de 1,25 MPa e tendo como variável o tempo

	Tempo (dias)			
	7	10	Σ	
	4,72	5,28	10,01	
	6,21	6,61	12,83	
	4,59	4,53	9,12	
	3,79	4,14	7,93	
Σ	19,33 (4)	20,57 (4)	39,91 (4)	
CV	gl	SQ	QM	F
Tempo (C)	1	0,19	0,19	0,17
Resíduo	6	6,62	1,10	
Total	7	6,81		

$$\Sigma X = 4,72 + 6,21 + \dots + 4,53 + 4,14 = 39,91$$

$$\Sigma X^2 = 4,72^2 + 6,21^2 + \dots + 4,53^2 + 4,14^2 = 205,94$$

$$SQ_{\text{tempo}} = \frac{1}{4} (19,33^2 + 20,57^2) - (39,91^2/8) = 0,19$$

$$SQ_{\text{total}} = 205,94 - (39,91^2/8) = 6,81$$

Tabela 32 – Análise estatística para Tensão de Cisalhamento para corpos-de-prova de *Eucalyptus grandis* fixando a temperatura em 60°C, pressão de 2,50 MPa e tendo como variável o tempo

	Tempo (dias)			
	7	10	Σ	
	3,63	4,95	8,59	
	5,14	5,15	10,30	
	5,24	5,06	10,31	
	4,75	5,93	10,69	
Σ	18,78 (4)	21,11 (4)	39,90 (8)	
CV	gl	SQ	QM	F
Tempo (C)	1	0,67	0,67	1,82
Resíduo	6	2,22	0,37	
Total	7	2,90		

$$\Sigma X = 3,63 + 5,14 + \dots + 5,06 + 5,93 = 39,90$$

$$\Sigma X^2 = 3,63^2 + 5,14^2 + \dots + 5,06^2 + 5,93^2 = 201,94$$

$$SQ_{\text{tempo}} = \frac{1}{4} (18,78^2 + 21,11^2) - (39,90^2/8) = 0,67$$

$$SQ_{\text{total}} = 201,94 - (39,90^2/8) = 2,90$$

Tabela 33 – Análise estatística para Tensão de Cisalhamento para corpos-de-prova de *Eucalyptus grandis* fixando a temperatura em 60°C, pressão de 5,00 MPa e tendo como variável o tempo

	Tempo (dias)			
	7	10	Σ	
	4,98	5,13	10,11	
	4,82	5,39	10,22	
	4,17	5,10	9,27	
	4,17	5,45	9,63	
Σ	18,16 (4)	21,08 (4)	39,25 (8)	
CV	gl	SQ	QM	F
Tempo (C)	1	1,07	1,07	10,11*
Resíduo	6	0,63	0,10	
Total	7	1,70		

$$\Sigma X = 4,98 + 4,82 + \dots + 5,10 + 5,45 = 39,25$$

$$\Sigma X^2 = 4,98^2 + 4,82^2 + \dots + 5,10^2 + 5,45^2 = 194,28$$

$$SQ_{\text{tempo}} = \frac{1}{4} (18,16^2 + 21,08^2) - (39,25^2/8) = 1,07$$

$$SQ_{\text{total}} = 194,28 - (39,25^2/8) = 1,70$$

Tabela 34 – Análise estatística para Tensão de Cisalhamento para corpos-de-prova de *Eucalyptus grandis* fixando a temperatura em 90°C, pressão de 1,25 MPa e tendo como variável o tempo

	Tempo (dias)			
	7	10	Σ	
	6,07	6,85	12,93	
	8,26	6,07	14,34	
	7,66	7,44	15,11	
	10,30	8,19	18,50	
Σ	32,31 (4)	28,56 (4)	60,88 (8)	
CV	gl	SQ	QM	F
Tempo (C)	1	1,75	1,75	0,90
Resíduo	6	11,60	1,93	
Total	7	13,35		

$$\Sigma X = 6,07 + 8,26 + \dots + 6,07 + 7,44 + 8,19 = 60,88$$

$$\Sigma X^2 = 6,07^2 + 8,26^2 + \dots + 7,44^2 + 8,19^2 = 476,73$$

$$SQ_{\text{tempo}} = \frac{1}{4} (32,31^2 + 28,56^2) - (60,88^2/8) = 1,75$$

$$SQ_{\text{total}} = 476,73 - (60,88^2/8) = 13,35$$

Tabela 35 – Análise estatística para Tensão de Cisalhamento para corpos-de-prova de *Eucalyptus grandis* fixando a temperatura em 90°C, pressão de 2,50 MPa e tendo como variável o tempo

	Tempo (dias)			
	7	10	Σ	
	5,97	7,11	13,09	
	5,46	7,96	13,42	
	7,32	6,68	14,00	
	8,80	7,15	15,95	
Σ	27,56 (4)	28,92 (4)	56,48 (8)	
CV	gl	SQ	QM	F
Tempo (C)	1	0,23	0,23	0,18
Resíduo	6	7,57	1,26	
Total	7	7,80		

$$\Sigma X = 5,97 + 5,46 + \dots + 6,68 + 7,15 = 56,48$$

$$\Sigma X^2 = 5,97^2 + 5,46^2 + \dots + 6,68^2 + 7,15^2 = 406,58$$

$$SQ_{\text{tempo}} = \frac{1}{4} (27,56^2 + 28,92^2) - (56,48^2/8) = 0,23$$

$$SQ_{\text{total}} = 406,58 - (56,48^2/8) = 7,80$$

Tabela 36 – Análise estatística para Tensão de Cisalhamento para corpos-de-prova de *Eucalyptus grandis* fixando a temperatura em 90°C, pressão de 5,00 MPa e tendo como variável o tempo

	Tempo (dias)				
	7	10	Σ		
	8,32	7,52	15,85		
	7,97	5,33	13,30		
	9,68	6,84	16,53		
	9,02	7,97	16,99		
Σ	35,00 (4)	27,68 (4)	62,68 (8)		
CV	gl	SQ	QM	F	
Tempo (C)	1	6,69	6,69	7,00*	
Resíduo	6	5,73	0,95		
Total	7	12,42			

$$\Sigma X = 8,32 + 7,97 + \dots + 6,84 + 7,97 = 62,68$$

$$\Sigma X^2 = 8,32^2 + 7,97^2 + \dots + 6,84^2 + 7,97^2 = 503,60$$

$$SQ_{\text{tempo}} = \frac{1}{4} (35,00^2 + 27,68^2) - (62,68^2/8) = 6,69$$

$$SQ_{\text{total}} = 503,60 - (62,68^2/8) = 12,42$$

Nos esquemas fatoriais de duas variáveis expressos nas Tabelas 37 a 40, os testes F foram mostraram diferenças significativas da τ , concluindo-se que essa tensão sofre importante influência da temperatura tanto para o tempo de 7 dias quanto para o tempo de 10 dias.

Tabela 37 – Análise estatística para obtenção do SQ de tratamento no ensaio de Tensão de Cisalhamento para corpos-de-prova de *Eucalyptus grandis* fixando o tempo em 7 dias e tendo como variável a temperatura e a pressão

	Tempo			Σ
	P1,25 T27	P1,25 T60	P1,25 T90	
	6,23	4,72	6,07	
	4,52	6,21	8,26	
	3,70	4,59	7,66	
	4,34	3,79	10,30	
ΣT=	18,80 (4)	19,33 (4)	32,31 (4)	ΣP= 70,46 (12)
	P2,50 T27	P2,50 T60	P2,50 T90	
	2,78	3,63	5,97	
	4,91	5,14	5,46	
	5,05	5,24	7,32	
	3,65	4,75	8,80	
ΣT=	16,40 (4)	18,78 (4)	27,56 (4)	ΣP= 62,75 (12)
	P5,0 T27	P5,0 T60	P5,0 T90	
	6,41	4,98	8,32	
	5,88	4,82	7,97	
	4,59	4,17	9,68	
	4,87	4,17	9,02	
ΣT=	21,77 (4)	18,16 (4)	35,00 (4)	ΣP= 74,93 (12)
ΣT _{27;60;90} =	56,99 (12)	56,28 (12)	94,87 (12)	ΣX= 208,15 (36)
CV	gl	SQ	QM	F
(Tratamentos)	8	92,13	11,51	9,69*
Resíduo	27	32,07	1,18	
Total	35	124,20		

Tabela 38 – Análise estatística para Tensão de Cisalhamento para corpos-de-prova de *Eucalyptus grandis* fixando o tempo em 7 dias e tendo como variável a temperatura e a pressão

	T27	T60	T90	Σ
P1,25	6,23	4,72	6,07	
	4,52	6,21	8,26	
	3,70	4,59	7,66	
	4,34	3,79	10,30	
Σ	18,80 (4)	19,33 (4)	32,31 (4)	ΣP1,25= 70,46 (12)
P2,50	2,78	3,63	5,97	
	4,91	5,14	5,46	
	5,05	5,24	7,32	
	3,65	4,75	8,80	
Σ	16,40 (4)	18,78 (4)	27,56 (4)	ΣP2,50= 62,75 (12)
P5,00	6,41	4,98	8,32	
	5,88	4,82	7,97	
	4,59	4,17	9,68	
	4,87	4,17	9,02	
Σ	21,77 (4)	18,16 (4)	35,00 (4)	ΣP5,00= 74,93 (12)
ΣT27;60;90=	56,99 (12)	56,28 (12)	94,87 (12)	ΣX= 208,15 (36)
CV	gl	SQ	QM	F
Pressão (P)	2	6,32	3,16	2,66
Temperatura (T)	2	81,25	40,62	34,19*
P x T (Tratamentos)	4	4,55	1,13	0,95
Resíduo	27	32,07	1,18	
Total	35	124,20		

$$\Sigma X = 6,23 + 4,52 + \dots + 9,68 + 9,02 = 208,15$$

$$\Sigma X^2 = 6,23^2 + 4,52^2 + \dots + 9,68^2 + 9,02^2 = 1327,82$$

$$SQ_{total} = 1327,82 - ((208,15)^2/36) = 124,20$$

$$SQ_{ressão} = 1/12 (70,46^2 + 62,75^2 + 74,93^2) - ((208,15)^2/36) = 6,32$$

$$SQ_{temperatura} = 1/12 (56,99^2 + 56,28^2 + 94,87^2) - ((208,15)^2/36) = 81,25$$

$$SQ_{p,t} = 1/4 (18,80^2 + 19,33^2 + 32,31^2 + 16,40^2 + 18,78^2 + 27,56^2 + 21,77^2 + 18,16^2 + 35,00^2) - ((208,15)^2/36) = 92,13$$

$$SQ_{p \times t} = 92,13 - 6,32 - 81,25 = 4,55$$

$$SQ_{res} = 124,20 - 6,32 - 81,25 - 4,55 = 32,07$$

$$SQ_{tratamento} = 1/4 (18,80^2 + 19,33^2 + 32,31^2 + 16,40^2 + 18,78^2 + 27,56^2 + 21,77^2 + 18,16^2 + 35,00^2) - ((208,15)^2/36) = 92,13$$

Tabela 39 – Análise estatística para obtenção do SQ de tratamento no ensaio de Tensão de Cisalhamento para corpos-de-prova de *Eucalyptus grandis* fixando o tempo em 10 dias e tendo como variável a temperatura e a pressão

	Tempo			Σ
	P1,25 T27	P1,25 T60	P1,25 T90	
	4,97	5,28	6,85	
	6,11	6,61	6,07	
	3,65	4,53	7,44	
	5,24	4,14	8,19	
ΣT=	20,00 (4)	20,57 (4)	28,56 (4)	ΣP=69,14 (12)
	P2,50 T27	P2,50 T60	P2,50 T90	
	6,08	4,95	7,11	
	5,17	5,15	7,96	
	6,09	5,06	6,68	
	6,74	5,93	7,15	
ΣT=	24,09 (4)	21,11 (4)	28,92 (4)	ΣP=74,13 (12)
	P5,0 T27	P5,0 T60	P5,0 T90	
	5,04	5,13	7,52	
	3,72	5,39	5,33	
	4,59	5,10	6,84	
	5,60	5,45	7,97	
ΣT=	18,96 (4)	21,08 (4)	27,68 (4)	ΣP=67,73 (12)
ΣT _{27;60;90} =	63,06 (12)	62,78 (12)	85,17 (12)	ΣX=211,02 (36)

CV	gl	SQ	QM	F
(Tratamentos)	8	31,44	3,93	5,97*
Resíduo	27	17,76	0,65	
Total	35	49,21		

$$\Sigma X = 4,97 + 6,11 + 3,65 + \dots + 6,84 + 7,97 = 211,02$$

$$\Sigma X^2 = 4,97^2 + 6,11^2 + 3,65^2 + \dots + 5,33^2 + 6,84^2 + 7,97^2 = 1286,16$$

$$SQ \text{ total} = 1286,16 - ((211,02)^2/36) = 49,21$$

$$SQ \text{ pressão} = 1/12 (69,14^2 + 74,13^2 + 67,73^2) - ((211,02)^2/36) = 1,88$$

$$SQ \text{ temperatura} = 1/12 (63,06^2 + 62,78^2 + 85,17^2) - ((211,02)^2/36) = 27,51$$

$$SQ_{p,t} = 1/4 (20,00^2 + 20,57^2 + 28,56^2 + 24,09^2 + 21,11^2 + 28,92^2 + 18,96^2 + 21,08^2 + 27,68^2) - ((211,02)^2/36) = 31,44$$

$$SQ_{pxt} = 31,44 - 1,88 - 27,51 = 2,05$$

$$SQ_{res} = 49,21 - 1,88 - 27,51 - 2,05 = 17,76$$

$$SQ \text{ tratamento} = 1/4 (20,00^2 + 20,57^2 + 28,56^2 + 24,09^2 + 21,11^2 + 28,92^2 + 18,96^2 + 21,08^2 + 27,68^2) - ((211,02)^2/36) =$$

$$31,44$$

Tabela 40 – Análise estatística para Tensão de Cisalhamento nos corpos-de-prova de *Eucalyptus grandis* fixando o tempo em 10 dias e tendo como variável a temperatura e a pressão

	T27	T60	T90	Σ
P1,25	4,97	5,28	6,85	
	6,11	6,61	6,07	
	3,65	4,53	7,44	
	5,24	4,14	8,19	
Σ	20,00 (4)	20,57 (4)	28,56 (4)	ΣP1,25=69,14 (12)
P2,50	6,08	4,95	7,11	
	5,17	5,15	7,96	
	6,09	5,06	6,68	
	6,74	5,93	7,15	
Σ	24,09 (4)	21,11 (4)	28,92 (4)	ΣP2,50=74,13 (12)
P5,00	5,042	5,13	7,52	
	3,72	5,39	5,33	
	4,59	5,10	6,84	
	5,60	5,45	7,97	
Σ	18,96 (4)	21,08 (4)	27,68 (4)	ΣP5,00=67,73 (12)
ΣT27;60;90=	63,06 (12)	62,78 (12)	85,17 (12)	ΣX=211,02 (36)
CV	gl	SQ	QM	F
Pressão (P)	2	1,88	0,94	1,43
Temperatura (T)	2	27,51	13,75	20,90*
P x T (Tratamentos)	4	2,05	0,51	0,77
Resíduo	8			
Total	27	17,76	0,65	
	35	49,21		
ΣX=4,97+6,11+...+6,84+7,97=211,02				
ΣX ² =4,97 ² +6,11 ² +...+5,33 ² +6,84 ² +7,97 ² =1286,16				
SQ total= 1286,16 - ((211,02) ² /36)= 49,21				
SQpressão= 1/12 (69,14 ² +74,13 ² +67,73 ²)-((211,02) ² /36)= 1,88				
SQtemperatura= 1/12 (63,06 ² +62,78 ² +85,17 ²)-((211,02) ² /36)= 27,51				
SQp,t=1/4(20,00 ² +20,57 ² +28,56 ² +24,09 ² +21,11 ² +28,92 ² +18,96 ² +21,08 ² +27,68 ²)-((211,02) ² /36)= 31,44				
SQpxt= 31,44 - 1,88 - 27,51 = 2,05				
SQres= 49,21 - 1,88 - 27,51 - 2,05 = 17,76				
SQtratamento=1/4(20,00 ² +20,57 ² +28,56 ² +24,09 ² +21,11 ² +28,92 ² +18,96 ² +21,08 ² +27,68 ²)-((211,02) ² /36)= 31,44				

As análises estatísticas mostradas nas Tabelas 41 e 42 mostram que os valores da τ sofrem influência da temperatura quando a pressão é de 1,5 MPa. Na pressão de 2,50 MPa, a τ sofre influência do tempo e da temperatura (Tabela 43 e 44). As Tabelas 44 e 45 mostram que, na pressão de 5,00 MPa, a temperatura tem comportamento diferente na presença do tempo.

Tabela 41 – Análise estatística para obtenção do SQ de tratamento no ensaio de Tensão de Cisalhamento nos corpos-de-prova de *Eucalyptus grandis* fixando a pressão em 1,25 MPa e tendo como variável a temperatura e o tempo

	C7 T27	C7 T60	C7 T90	Σ
	6,23	4,72	6,07	
	4,52	6,21	8,26	
	3,70	4,59	7,66	
	4,34	3,79	10,30	
$\Sigma_{C=}$	18,80 (4)	19,33 (4)	32,31 (4)	$\Sigma_{T=}$ 70,46 (12)
	C10 T27	C10 T60	C10 T90	
	4,97	5,28	6,85	
	6,11	6,61	6,07	
	3,65	4,53	7,44	
	5,24	4,14	8,19	
$\Sigma_{C=}$	20,00 (4)	20,57 (4)	28,56 (4)	$\Sigma_{T=}$ 69,14 (12)
$\Sigma_{Te27;60;90=}$	38,81 (12)	39,91 (12)	60,88 (12)	$\Sigma_{X=}$ 139,61 (36)
CV (Tratamentos)	gl 5	SQ 40,80	QM 8,16	F 5,91*
Resíduo	18	24,83	1,37	
Total	23	65,64		

Tabela 42 – Análise estatística para Tensão de Cisalhamento nos corpos-de-prova de *Eucalyptus grandis* fixando a pressão em 1,25 MPa e tendo como variável a temperatura e o tempo

	T27	T60	T90	Σ
C7	6,23	4,72	6,07	
	4,52	6,21	8,26	
	3,70	4,59	7,66	
	4,34	3,79	10,30	
Σ	18,80 (4)	19,33 (4)	32,31 (4)	ΣC7= 70,46 (12)
C10	4,97	5,28	6,85	
	6,11	6,61	6,07	
	3,65	4,53	7,44	
	5,24	4,14	8,19	
Σ	20,00 (4)	20,57 (4)	28,56 (4)	ΣC10= 69,14 (12)
ΣT27;60;90=	38,81 (8)	39,91 (8)	60,88 (8)	ΣX= 139,61 (24)
CV	gl	SQ	QM	F
Tempo (C)	1	0,07	0,07	0,05
Temperatura (T)	2	38,67	19,33	14,01*
T x C (Tratamentos)	2	2,05	1,02	0,74
Resíduo	18	24,83	1,37	
Total	23	65,64		

$$\Sigma X = 6,23 + 4,52 + \dots + 7,44 + 8,19 = 139,61$$

$$\Sigma X^2 = 6,23^2 + 4,52^2 + \dots + 7,44^2 + 8,19^2 = 877,78$$

$$SQ \text{ total} = 877,78 - ((139,61)^2/24) = 65,64$$

$$SQ \text{ tempo} = 1/12 (70,46^2 + 69,14^2) - ((139,61)^2/24) = 0,07$$

$$SQ \text{ temperatura} = 1/8 (38,81^2 + 39,91^2 + 60,88^2) - ((139,61)^2/24) = 38,67$$

$$SQ_{t,c} = 1/4 (18,80^2 + 19,33^2 + 32,31^2 + 20,00^2 + 20,57^2 + 28,56^2) - ((139,61)^2/24) = 40,80$$

$$SQ_{t \times c} = 40,80 - 0,07 - 38,67 = 2,05$$

$$SQ_{\text{res}} = 65,64 - 0,07 - 38,67 - 2,05 = 24,83$$

$$SQ_{\text{tratamento}} = 1/4 (18,80^2 + 19,33^2 + 32,31^2 + 20,00^2 + 20,57^2 + 28,56^2) - ((139,61)^2/24) = 40,80$$

Tabela 43 – Análise estatística para obtenção do SQ de tratamento no ensaio de Tensão de Cisalhamento nos corpos-de-prova de *Eucalyptus grandis* fixando a pressão em 2,50 MPa e tendo como variável a temperatura e o tempo

	C7 T27	C7 T60	C7 T90	Σ
	2,78	3,63	5,97	
	4,91	5,14	5,46	
	5,05	5,24	7,32	
	3,65	4,75	8,80	
$\Sigma C =$	16,40 (4)	18,78 (4)	27,56 (4)	$\Sigma T = 62,75 (12)$
	C10 T27	C10 T60	C10 T90	
	6,08	4,95	7,11	
	5,17	5,15	7,96	
	6,09	5,06	6,68	
	6,74	5,93	7,15	
$\Sigma C =$	24,09 (4)	21,11 (4)	28,92 (4)	$\Sigma T = 74,13 (12)$
$\Sigma T_{e27;60;90} =$	40,50 (8)	39,90 (8)	56,48 (8)	$\Sigma X = 136,89 (24)$
CV	gl	SQ	QM	F
(Tratamentos)	5	30,39	6,07	7,51*
Resíduo	18	14,56	0,80	
Total	23	44,96		

Tabela 44 – Análise estatística para Tensão de Cisalhamento nos corpos-de-prova de *Eucalyptus grandis* fixando a pressão em 2,50 MPa e tendo como variável a temperatura e o tempo

	T27	T60	T90	Σ
C7	2,78	3,63	5,97	
	4,91	5,14	5,46	
	5,05	5,24	7,32	
	3,65	4,75	8,80	
Σ	16,40 (4)	18,78 (4)	27,56 (4)	ΣC7= 62,75 (12)
C10	6,08	4,95	7,11	
	5,17	5,15	7,96	
	6,09	5,06	6,68	
	6,74	5,93	7,15	
Σ	24,09 (4)	21,11 (4)	28,92 (4)	ΣC10= 74,13 (12)
Σ T27;60;90=	40,50 (8)	39,90 (8)	56,48 (8)	ΣX= 136,89 (24)
CV	gl	SQ	QM	F
Tempo (C)	1	5,39	5,39	6,66*
Temperatura (T)	2	22,09	11,04	13,65*
T x C (Tratamentos)	2	2,90	1,45	1,79*
Resíduo	5			
Total	18	14,56	0,80	
	23	44,96		

$$\Sigma X = 2,78 + 4,91 + \dots + 6,68 + 7,15 = 136,89$$

$$\Sigma X^2 = 2,78^2 + 4,91^2 + \dots + 6,68^2 + 7,15^2 = 825,81$$

$$SQ \text{ total} = 825,81 - ((136,89)^2 / 24) = 44,96$$

$$SQ \text{ tempo} = 1/12 (62,75^2 + 74,13^2) - ((136,89)^2 / 24) = 5,39$$

$$SQ \text{ temperatura} = 1/8 (40,50^2 + 39,90^2 + 56,48^2) - ((136,89)^2 / 24) = 22,09$$

$$SQ_{t,c} = 1/4 (16,40^2 + 18,78^2 + 27,56^2 + 24,09^2 + 21,11^2 + 28,92^2) - ((136,89)^2 / 24) = 30,39$$

$$SQ_{txc} = 30,39 - 5,39 - 22,09 = 2,90$$

$$SQ_{res} = 44,96 - 5,39 - 22,09 - 2,90 = 14,56$$

$$SQ_{tratamento} = 1/4 (16,40^2 + 18,78^2 + 27,56^2 + 24,09^2 + 21,11^2 + 28,92^2) - ((136,89)^2 / 24) = 30,39$$

Tabela 45 – Análise estatística para obtenção do SQ de tratamento no ensaio de Tensão de Cisalhamento nos corpos-de-prova de *Eucalyptus grandis* fixando a pressão em 5,00 MPa e tendo como variável a temperatura e o tempo

	C7 T27	C7 T60	C7 T90	Σ
	6,41	4,98	8,32	
	5,88	4,82	7,97	
	4,59	4,17	9,68	
	4,87	4,17	9,02	
$\Sigma C=$	21,77 (4)	18,16 (4)	35,00 (4)	$\Sigma T=$ 74,93 (12)
	C10 T27	C10 T60	C10 T90	
	5,04	5,13	7,52	
	3,72	5,39	5,33	
	4,59	5,10	6,84	
	5,60	5,45	7,97	
$\Sigma C=$	18,96 (4)	21,08 (4)	27,68 (4)	$\Sigma T=$ 67,73 (12)
$\Sigma C_{27;60;90}=$	40,73 (8)	39,25 (8)	62,68 (8)	$\Sigma X=$ 142,67 (24)
CV	gl	SQ	QM	F
(Tratamentos)	5	51,79	10,35	17,86*
Resíduo	18	10,43	0,57	
Total	23	62,23		

Tabela 46 – Análise estatística Tensão de Cisalhamento nos corpos-de-prova de *Eucalyptus grandis* fixando a pressão em 5,00 MPa e tendo como variável a temperatura e o tempo

	T ₂₇	T ₆₀	T ₉₀	Σ
C ₇	6,41	4,98	8,32	
	5,88	4,82	7,97	
	4,59	4,17	9,68	
	4,87	4,17	9,02	
Σ	21,77 (4)	18,16 (4)	35,00 (4)	Σ C ₇ = 74,93 (12)
C ₁₀	5,04	5,13	7,52	
	3,72	5,39	5,33	
	4,59	5,10	6,84	
	5,60	5,45	7,97	
Σ	18,96 (4)	21,08 (4)	27,68 (4)	Σ C ₁₀ = 67,73 (12)
Σ T _{27;60;90} =	40,73 (8)	39,25 (8)	62,68 (8)	ΣX= 142,67 (24)
CV	gl	SQ	QM	F
Tempo (C)	1	2,61	2,61	4,50
Temperatura (T)	2	43,04	21,52	37,11*
T x C (Tratamentos)	2	6,58	3,29	5,68*
Resíduo	5			
Total	18	10,43	0,57	
Total	23	62,23		

$$\Sigma X = 6,41 + 5,88 + \dots + 6,84 + 7,97 = 142,67$$

$$\Sigma X^2 = 6,41^2 + 5,88^2 + \dots + 6,84^2 + 7,97^2 = 910,39$$

$$SQ \text{ total} = 910,39 - ((142,67)^2 / 24) = 62,23$$

$$SQ \text{ tempo} = 1/12 (74,93^2 + 67,73^2) - ((142,67)^2 / 24) = 2,16$$

$$SQ \text{ temperatura} = 1/8 (40,73^2 + 39,25^2 + 62,68^2) - ((142,67)^2 / 24) = 43,04$$

$$SQ_{t,c} = 1/4 (21,77^2 + 18,16^2 + 35,00^2 + 18,96^2 + 21,08^2 + 27,68^2) - ((142,67)^2 / 24) = 51,79$$

$$SQ_{txc} = 51,79 - 2,16 - 43,04 = 6,58$$

$$SQ_{res} = 62,23 - 2,16 - 43,04 - 6,58 = 10,43$$

$$SQ_{tratamento} = 1/4 (21,77^2 + 18,16^2 + 35,00^2 + 18,96^2 + 21,08^2 + 27,68^2) - ((142,67)^2 / 24) = 51,79$$

Para o delineamento estatístico segundo o esquema fatorial de duas variáveis para os valores da τ na temperatura de 27°C (Tabelas 46 e 47), a interação tempo x pressão mostrou-se significativa, no teste F, ou seja, o tempo tem comportamento diferente na presença da pressão.

Tabela 47 – Análise estatística para obtenção do SQ de tratamento no ensaio de Tensão de Cisalhamento nos corpos-de-prova de *Eucalyptus grandis* fixando a temperatura em 27°C e tendo como variáveis a pressão e o tempo

	C7 P1,25	C7 P2,50	C7 P5,00	Σ
	6,23	2,78	6,41	
	4,52	4,91	5,88	
	3,70	5,05	4,59	
	4,34	3,65	4,87	
$\Sigma=$	18,80 (4)	16,40 (4)	21,77 (4)	$\Sigma C= 56,99 (12)$
	C10 P1,25	C10 P2,50	C10 P5,00	
	4,97	6,08	5,04	
	6,11	5,17	3,72	
	3,65	6,09	4,59	
	5,24	6,74	5,60	
$\Sigma=$	20,00 (4)	24,09 (4)	18,96 (4)	$\Sigma C= 63,06 (12)$
$\Sigma P1,25;2,50;5,00=$	38,81 (8)	40,50 (8)	40,73 (8)	$\Sigma X= 120,06 (24)$
CV (Tratamentos)	gl 5	SQ 8,83	QM 1,76	F 2,05
Resíduo	18	15,45	0,85	
Total	23	24,28		

Tabela 48 – Análise estatística para Tensão de Cisalhamento nos corpos-de-prova de *Eucalyptus grandis* fixando a temperatura em 27°C e tendo como variáveis a pressão e o tempo

	P1,25	P2,50	P5,00	Σ
C ₇	6,23	2,78	6,41	
	4,52	4,91	5,88	
	3,70	5,05	4,59	
	4,34	3,65	4,87	
Σ	18,80 (4)	16,40 (4)	21,77 (4)	Σ C ₇ = 56,99 (12)
C ₁₀	4,97	6,08	5,04	
	6,11	5,17	3,72	
	3,65	6,09	4,59	
	5,24	6,74	5,60	
Σ	20,00 (4)	24,09 (4)	18,96 (4)	Σ C ₁₀ = 63,06 (12)
Σ P=	38,81 (8)	40,50 (8)	40,73 (8)	Σ X= 120,06 (24)
CV	gl	SQ	QM	F
Tempo (C)	1	1,53	1,53	1,78
Pressão (P)	2	0,27	0,13	0,16
C x P (Tratamentos)	2	7,02	3,51	4,09*
Resíduo	18	15,45	0,85	
Total	23	24,28		

$$\Sigma X = 6,23 + 4,52 + \dots + 4,59 + 5,60 = 120,06$$

$$\Sigma X^2 = 6,23^2 + 4,52^2 + \dots + 4,59^2 + 5,60^2 = 624,88$$

$$SQ \text{ total} = 624,88 - ((120,06)^2/24) = 24,28$$

$$SQ \text{ tempo} = 1/12 (56,99^2 + 63,06^2) - ((120,06)^2/24) = 1,53$$

$$SQ \text{ pressão} = 1/8 (38,81^2 + 40,50^2 + 40,73^2) - ((120,06)^2/24) = 0,27$$

$$SQ_{c,p} = 1/4 (18,80^2 + 16,40^2 + 21,77^2 + 20,00^2 + 24,09^2 + 18,96^2) - ((120,06)^2/24) = 8,83$$

$$SQ_{c \times p} = 8,83 - 1,53 - 0,27 = 7,02$$

$$SQ_{\text{res}} = 24,28 - 1,53 - 0,27 - 7,02 = 15,45$$

$$SQ_{\text{tratamento}} = 1/4 (18,80^2 + 16,40^2 + 21,77^2 + 20,00^2 + 24,09^2 + 18,96^2) - ((120,06)^2/24) = 8,83$$

Tabela 49 – Análise estatística para obtenção do SQ de tratamento no ensaio de Tensão de Cisalhamento nos corpos-de-prova de *Eucalyptus grandis* fixando a temperatura em 60°C e tendo como variáveis a pressão e o tempo

	C7 P1,25	C7 P2,50	C7 P5,00	Σ
	4,72	3,63	4,98	
	6,21	5,14	4,82	
	4,59	5,24	4,17	
	3,79	4,75	4,17	
$\Sigma P=$	19,33 (4)	18,78 (4)	18,16 (4)	$\Sigma C= 56,28 (12)$
	C10 T27	C10 T60	C10 T90	
	5,28	4,95	5,13	
	6,61	5,15	5,39	
	4,53	5,06	5,10	
	4,14	5,93	5,45	
$\Sigma P=$	20,57 (4)	21,11 (4)	21,08 (4)	$\Sigma C= 62,78 (12)$
TP1,25;2,50;5,00=	39,91 (8)	39,90 (8)	39,25 (8)	$\Sigma X= 119,06 (24)$
CV	gl	SQ	QM	F
(Tratamentos)	5	1,97	0,39	0,74
Resíduo	18	9,48	0,52	
Total	23	11,45		

Tabela 50 – Análise estatística para Tensão de Cisalhamento nos corpos-de-prova de *Eucalyptus grandis* fixando a temperatura em 60°C e tendo como variáveis a pressão e o tempo

	P _{1,25}	P _{2,50}	P _{5,00}	Σ
C ₇	4,72	3,63	4,98	
	6,21	5,14	4,82	
	4,59	5,24	4,17	
	3,79	4,75	4,17	
Σ	19,33 (4)	18,78 (4)	18,16 (4)	Σ C ₇ = 56,28 (12)
C ₁₀	5,28	4,95	5,13	
	6,61	5,15	5,39	
	4,53	5,06	5,10	
	4,14	5,93	5,45	
Σ	20,57 (4)	21,11 (4)	21,08 (4)	Σ C ₁₀ = 62,78 (12)
Σ P=	39,91 (8)	39,90 (8)	39,25 (8)	Σ X= 119,06 (24)

CV	gl	SQ	QM	F
Tempo (C)	1	1,75	1,75	3,33
Pressão (P)	2	0,03	0,01	0,03
C x P (Tratamentos)	2	0,18	0,09	0,17
Resíduo	5			
	18	9,48	0,52	
Total	23	11,45		

$$\Sigma X = 4,72 + 6,21 + \dots + 5,10 + 5,45 = 119,06$$

$$\Sigma X^2 = 4,72^2 + 6,21^2 + \dots + 5,10^2 + 5,45^2 = 602,16$$

$$SQ \text{ total} = 602,16 - ((119,06)^2/24) = 11,45$$

$$SQ \text{ tempo} = 1/12 (56,28^2 + 62,78^2) - ((119,06)^2/24) = 1,75$$

$$SQ \text{ pressão} = 1/8 (39,91^2 + 39,90^2 + 39,25^2) - ((119,06)^2/24) = 0,03$$

$$SQ_{c,p} = 1/4 (19,33^2 + 18,78^2 + 18,16^2 + 20,57^2 + 21,11^2 + 21,08^2) - ((119,06)^2/24) = 1,97$$

$$SQ_{c \times p} = 1,97 - 1,75 - 0,03 = 0,18$$

$$SQ_{\text{res}} = 11,45 - 1,75 - 0,03 - 0,18 = 9,48$$

$$SQ_{\text{tratamento}} = 1/4 (19,33^2 + 18,78^2 + 18,16^2 + 20,57^2 + 21,11^2 + 21,08^2) - ((119,06)^2/24) = 1,97$$

Tabela 51 – Análise estatística para obtenção do SQ de tratamento no ensaio de Tensão de Cisalhamento nos corpos-de-prova de *Eucalyptus grandis* fixando a temperatura em 90°C e tendo como variáveis a pressão e o tempo

	C7 P1,25	C7 P2,50	C7 P5,00	Σ
	6,07	5,97	8,32	
	8,26	5,46	7,97	
	7,66	7,32	9,68	
	10,30	8,80	9,02	
$\Sigma P=$	32,31 (4)	27,56 (4)	35,00 (4)	$\Sigma C= 94,87 (12)$
	C10 T27	C10 T60	C10 T90	
	6,85	7,11	7,52	
	6,07	7,96	5,33	
	7,44	6,68	6,84	
	8,19	7,15	7,97	
$\Sigma P=$	28,56 (4)	28,92 (4)	27,68 (4)	$\Sigma C= 85,17 (12)$
$\Sigma P1,25;2,50;5,00=$	60,88 (8)	56,48 (8)	62,68 (8)	$\Sigma X= 180,05 (24)$
CV	gl	SQ	QM	F
(Tratamentos)	5	11,22	2,24	1,62
Resíduo	18	24,90	1,38	
Total	23	36,12		

Tabela 52 – Análise estatística para Tensão de Cisalhamento nos corpos-de-prova de *Eucalyptus grandis* fixando a temperatura em 90°C e tendo como variáveis a pressão e o tempo

	P _{1,25}	P _{2,50}	P _{5,00}	Σ
C ₇	6,07	5,97	8,32	
	8,26	5,46	7,97	
	7,66	7,32	9,68	
	10,30	8,80	9,02	
Σ	32,31 (4)	27,56 (4)	35,00 (4)	ΣC ₇ = 94,87 (12)
C ₁₀	6,85	7,11	7,52	
	6,07	7,96	5,33	
	7,44	6,68	6,84	
	8,19	7,15	7,97	
Σ	28,56 (4)	28,92 (4)	27,68 (4)	ΣC ₁₀ = 85,17 (12)
ΣP=	60,88 (8)	56,48 (8)	62,68 (8)	ΣX= 180,05 (24)

CV	gl	SQ	QM	F
Tempo (C)	1	3,92	3,92	2,83
Pressão (P)	2	2,54	1,27	0,92
C x P (Tratamentos)	2	4,75	2,37	1,71
Resíduo	5			
Total	18	24,90	1,38	
	23	36,12		

$$\Sigma X = 6,07 + 8,26 + \dots + 6,84 + 7,97 = 180,05$$

$$\Sigma X^2 = 6,07^2 + 8,26^2 + \dots + 6,84^2 + 7,97^2 = 1386,93$$

$$SQ \text{ total} = 1386,93 - ((180,05)^2/24) = 36,12$$

$$SQ \text{ tempo} = 1/12 (94,87^2 + 85,17^2) - ((180,05)^2/24) = 3,92$$

$$SQ \text{ pressão} = 1/8 (60,88^2 + 56,48^2 + 62,68^2) - ((180,05)^2/24) = 2,54$$

$$SQ_{c,p} = 1/4 (32,31^2 + 27,56^2 + 35,00^2 + 28,56^2 + 28,92^2 + 27,68^2) - ((180,05)^2/24) = 11,22$$

$$SQ_{c \times p} = 11,22 - 3,92 - 2,54 = 4,75$$

$$SQ_{\text{res}} = 36,12 - 3,92 - 2,54 - 4,75 = 24,90$$

$$SQ_{\text{tratamento}} = 1/4 (32,31^2 + 27,56^2 + 35,00^2 + 28,56^2 + 28,92^2 + 27,68^2) - ((180,05)^2/24) = 11,22$$

Para os tempos de 7 e 10 dias, apenas a temperatura mostrou-se significativamente importante no valor da Tensão no Limite de Resistência ao Cisalhamento (τ) (Tabelas 53 e 54).

Tabela 53 – Análise estatística para obtenção do SQ de tratamento no ensaio de Tensão de Cisalhamento nos corpos-de-prova de *Eucalyptus grandis* fixando o tempo em 7 e 10 dias e tendo como variáveis a pressão e temperatura

	P1,25 T27	P1,25 T60	P1,25 T90	Σ
	6,23	4,72	6,07	
	4,52	6,21	8,26	
	3,70	4,59	7,66	
	4,34	3,79	10,30	
	4,97	5,28	6,85	
	6,11	6,61	6,07	
	3,65	4,53	7,44	
	5,24	4,14	8,19	
$\Sigma T=$	38,81 (8)	39,91 (8)	60,88 (8)	$\Sigma P= 139,61 (24)$
	P2,50 T27	P2,50 T60	P2,50 T90	
	2,78	3,63	5,97	
	4,91	5,14	5,46	
	5,05	5,24	7,32	
	3,65	4,75	8,80	
	6,08	4,95	7,11	
	5,17	5,15	7,96	
	6,09	5,06	6,68	
	6,74	5,93	7,15	
$\Sigma T=$	40,50 (8)	39,90 (8)	56,48 (8)	$\Sigma P= 136,89 (24)$
	P5,0 T27	P5,0 T60	P5,0 T90	
	6,41	4,98	8,32	
	5,88	4,82	7,97	
	4,59	4,17	9,68	
	4,87	4,17	9,02	
	5,04	5,13	7,52	
	3,72	5,39	5,33	
	4,59	5,10	6,84	
	5,60	5,45	7,97	
$\Sigma T=$	40,73 (8)	39,25 (8)	62,68 (8)	$\Sigma P= 142,67 (24)$
$\Sigma T27;60;90=$	120,06 (24)	119,06 (24)	180,05 (24)	$\Sigma X= 419,18 (72)$
CV	gl	SQ	QM	F
(Tratamentos)	8	104,51	13,06	5,11*
Resíduo	27	69,01	2,55	
Total	35	173,53		

Tabela 54 – Análise estatística para Tensão de Cisalhamento nos corpos-de-prova de *Eucalyptus grandis* fixando o tempo em 7 e 10 dias e tendo como variável a pressão e a temperatura **(continua)**

		T27	T60	T90	Σ
P1,25	C07	6,23	4,72	6,07	
		4,52	6,21	8,26	
		3,70	4,59	7,66	
		4,34	3,79	10,30	
	C10	4,97	5,28	6,85	
		6,11	6,61	6,07	
		3,65	4,53	7,44	
		5,24	4,14	8,19	
	Σ	38,81 (8)	39,91 (8)	60,88 (8)	Σ P1,25= 139,61 (24)
			T27	T60	T90
P2,50	C07	2,78	3,63	5,97	
		4,91	5,14	5,46	
		5,05	5,24	7,32	
		3,65	4,75	8,80	
	C10	6,08	4,95	7,11	
		5,17	5,15	7,96	
		6,09	5,06	6,68	
		6,74	5,93	7,15	
	Σ	40,50 (8)	39,90 (8)	56,48 (8)	Σ P2,50= 136,89 (24)
	P5,00	C7,0	6,41	4,98	8,32
5,88			4,82	7,97	
4,59			4,17	9,68	
4,87			4,17	9,02	

Tabela 54 – Análise estatística para Tensão de Cisalhamento nos corpos-de-prova de *Eucalyptus grandis* fixando o tempo em 7 e 10 dias e tendo como variável a pressão e a temperatura (conclusão)

	T27	T60	T90	Σ
C10	5,04	5,13	7,52	
	3,72	5,39	5,33	
	4,59	5,10	6,84	
	5,60	5,45	7,97	
Σ	40,73 (8)	39,25 (8)	62,68 (8)	Σ P5,00= 142,67 (24)
Σ T27;60;90=	120,06 (24)	119,06 (24)	180,05 (24)	ΣX= 419,18 (72)
Pressão (P)	2	0,69	0,34	0,13
Temperatura (T)	2	101,66	50,83	19,88*
P x C (Tratamentos)	4	2,16	0,54	0,21
Resíduo	27	69,01	2,55	
Total	35	173,53		

$$\Sigma X = 6,23 + 4,52 + \dots + 6,84 + 7,97 = 419,18$$

$$\Sigma X^2 = 6,23^2 + 4,52^2 + \dots + 6,84^2 + 7,97^2 = 2613,99$$

$$SQ \text{ total} = 2613,99 - ((419,18)^2/72) = 173,53$$

$$SQ \text{ pressão} = 1/24(139,61^2 + 136,89^2 + 142,67^2) - ((419,18)^2/72) = 0,69$$

$$SQ \text{ temperatura} = 1/24(120,06^2 + 119,06^2 + 180,05^2) - ((419,18)^2/72) = 101,66$$

$$SQ_{p,t} = 1/8(38,81^2 + 39,91^2 + 60,88^2 + 40,50^2 + 39,90^2 + 56,48^2 + 40,73^2 + 39,25^2 + 62,68^2) - ((419,18)^2/72) = 104,51$$

$$SQ_{p \times t} = 104,51 - 0,69 - 101,66 = 2,16$$

$$SQ_{\text{res}} = 173,53 - 0,69 - 101,66 - 2,16 = 69,01$$

$$SQ_{\text{tratamento}} = 1/8(38,81^2 + 39,91^2 + 60,88^2 + 40,50^2 + 39,90^2 + 56,48^2 + 40,73^2 + 39,25^2 + 62,68^2) - ((419,18)^2/72) = 104,51$$

A τ é influenciada, nas pressões de 1,25 MPa, 2,50 MPa e 5,00 Mpa, pelo tempo de prensagem (Tabelas 55 e 56).

Tabela 55 – Análise estatística para obtenção do SQ de tratamento no ensaio de Tensão de Cisalhamento nos corpos-de-prova de *Eucalyptus grandis* fixando a pressão em 1,25, 2,50 e 5,00 e tendo como variáveis o tempo e temperatura

	C07 T27	C1,25 T60	C1,25 T90	Σ
	6,23	4,72	6,07	
	4,52	6,21	8,26	
	3,70	4,59	7,66	
	4,34	3,79	10,30	
	2,78	3,63	5,97	
	4,91	5,14	5,46	
	5,05	5,24	7,32	
	3,65	4,75	8,80	
	6,41	4,98	8,32	
	5,88	4,82	7,97	
	4,59	4,17	9,68	
	4,87	4,17	9,02	
Σ	56,99 (12)	56,28 (12)	94,87 (12)	$\Sigma C= 208,15 (36)$
	P2,50 T27	P2,50 T60	P2,50 T90	
	4,97	5,28	6,85	
	6,11	6,61	6,07	
	3,65	4,53	7,44	
	5,24	4,14	8,19	
	6,08	4,95	7,11	
	5,17	5,15	7,96	
	6,09	5,06	6,68	
	6,74	5,93	7,15	
	5,04	5,13	7,52	
	3,72	5,39	5,33	
	4,59	5,10	6,84	
	5,60	5,45	7,97	
Σ	63,06 (12)	62,78 (12)	85,17 (12)	$\Sigma C= 211,02 (36)$
$\Sigma T=$	120,06 (24)	119,06 (24)	180,05 (24)	$\Sigma X= 419,18 (72)$
CV	gl	SQ	QM	F
(Tratamentos)	5	108,87	21,77	6,06*
Resíduo	18	64,65	3,59	
Total	23	2613,99		

Tabela 56 – Análise estatística para Tensão de Cisalhamento nos corpos-de-prova de *Eucalyptus grandis* fixando a pressão em 1,25, 2,50 e 5,00 MPa e tendo como variável o tempo e a temperatura (continua)

		T ₂₇	T ₆₀	T ₉₀	Σ
C ₀₇	P1,25	6,23	4,72	6,07	
		4,52	6,21	8,26	
		3,70	4,59	7,66	
		4,34	3,79	10,30	
	P2,50	2,78	3,63	5,97	
		4,91	5,14	5,46	
		5,05	5,24	7,32	
		3,65	4,75	8,80	
	P5,00	T ₂₇	T ₆₀	T ₉₀	
		6,41	4,98	8,32	
		5,88	4,82	7,97	
		4,59	4,17	9,68	
	4,87	4,17	9,02		
	Σ	56,99 (12)	56,28 (12)	94,87 (12)	ΣC ₀₇ = 208,15 (36)
C ₁₀	P1,25	4,97	5,28	6,85	
		6,11	6,61	6,07	
		3,65	4,53	7,44	
		5,24	4,14	8,19	
	P2,50	6,08	4,95	7,11	
		5,17	5,15	7,96	
		6,09	5,06	6,68	
		6,74	5,93	7,15	

Tabela 56 – Análise estatística para Tensão de Cisalhamento nos corpos-de-prova de *Eucalyptus grandis* fixando a pressão em 1,25, 2,50 e 5,00 MPa e tendo como variável o tempo e a temperatura (conclusão)

	T ₂₇	T ₆₀	T ₉₀	Σ
P5,00	5,04	5,13	7,52	
	3,72	5,39	5,33	
	4,59	5,10	6,84	
	5,60	5,45	7,97	
Σ	63,06(12)	62,78 (12)	85,17 (12)	Σ C10= 211,02 (36)
Σ T27;60;90=	120,06 (24)	119,06 (24)	180,05 (24)	ΣX= 419,18 (72)
CV	gl	SQ	QM	F
Temperatura (T)	2	0,11	0,05	0,01
Tempo (C)	1	101,66	101,66	28,30*
T x C	2	7,10	3,55	0,98
(Tratamentos)	5			
Resíduo	18	64,65	3,59	
Total	23	2613,99		

$$\Sigma x = 6,23 + 4,52 + \dots + 6,84 + 7,97 = 419,18$$

$$\Sigma x^2 = 6,23^2 + 4,52^2 + \dots + 6,84^2 + 7,97^2 = 2613,99$$

$$SQ \text{ total} = 2613,99 - ((419,18)^2/72) = 173,53$$

$$SQ \text{ temperatura} = 1/36(208,15^2 + 211,02^2) - ((419,18)^2/72) = 0,11$$

$$SQ \text{ tempo} = 1/24(120,06^2 + 119,06^2 + 180,05^2) - ((419,18)^2/72) = 101,66$$

$$SQ_{t,c} = 1/12(56,99^2 + 56,28^2 + 94,87^2 + 63,06^2 + 62,78^2 + 85,17^2) - ((419,18)^2/72) = 108,87$$

$$SQ_{txc} = 108,87 - 0,11 - 101,66 = 7,10$$

$$SQ_{res} = 173,53 - 0,11 - 101,66 - 7,10 = 64,65$$

$$SQ_{tratamento} = 1/12(56,99^2 + 56,28^2 + 94,87^2 + 63,06^2 + 62,78^2 + 85,17^2) - ((419,18)^2/72) = 108,87$$

Confundindo-se os graus de liberdade de todas as temperaturas, a pressão e o tempo não apresentam nenhuma influência (Tabelas 57 e 58).

Tabela 57 – Análise estatística para obtenção do SQ de tratamento no ensaio de Tensão de Cisalhamento nos corpos-de-prova de *Eucalyptus grandis* fixando a temperatura em 27, 60 e 90°C e tendo como variáveis o tempo e a pressão

	C07 P1,25	C1,25 P2,50	C1,25 P5,00	Σ	
	6,23	2,78	6,41		
	4,52	4,91	5,88		
	3,70	5,05	4,59		
	4,34	3,65	4,87		
	4,72	3,63	4,98		
	6,21	5,14	4,82		
	4,59	5,24	4,17		
	3,79	4,75	4,17		
	6,07	5,97	8,32		
	8,26	5,46	7,97		
	7,66	7,32	9,68		
	10,30	8,80	9,02		
Σ	70,46 (12)	62,75 (12)	74,93 (12)	Σ C07= 208,15 (36)	
	P2,50 T27	P2,50 T60	P2,50 T90		
	4,97	6,08	5,04		
	6,11	5,17	3,72		
	3,65	6,09	4,59		
	5,24	6,74	5,60		
	5,28	4,95	5,13		
	6,61	5,15	5,39		
	4,53	5,06	5,10		
	4,14	5,93	5,45		
	6,85	7,11	7,52		
	6,07	7,96	5,33		
	7,44	6,68	6,84		
	8,19	7,15	7,97		
Σ	69,14 (12)	74,13 (12)	67,73 (12)	Σ C10= 211,02 (36)	
	Σ T=	139,61 (24)	136,89 (24)	142,67 (24)	Σ X= 419,18 (72)
	Σ X ² =	2613,99			
	SQ Total=	173,53			
	SQ Tratamento=	8,32			
CV	gl	SQ	QM	F	
(Tratamentos)	5	8,32	1,66	0,18	
Resíduo	18	165,21	9,17		
Total	23	173,53			

Tabela 58 – Análise estatística para Tensão de Cisalhamento nos corpos-de-prova de *Eucalyptus grandis* fixando a temperatura em 27, 60 e 90 °C e tendo como variável o tempo e a pressão (continua)

		P1,25	P2,50	P5,00	Σ
C07	T27	6,23	2,78	6,41	
		4,52	4,91	5,88	
		3,70	5,05	4,59	
		4,34	3,65	4,87	
	T60	4,72	3,63	4,98	
		6,21	5,14	4,82	
		4,59	5,24	4,17	
		3,79	4,75	4,17	
	T60	P1,25	P2,50	P5,00	
		6,07	5,97	8,32	
		8,26	5,46	7,97	
		7,66	7,32	9,68	
10,30		8,80	9,02		
Σ	70,46 (12)	62,75 (12)	74,93 (12)	Σ C07= 208,15 (36)	
C10	T27	4,97	6,08	5,04	
		6,11	5,17	3,72	
		3,65	6,09	4,59	
		5,24	6,74	5,60	
	T60	5,28	4,95	5,13	
		6,61	5,15	5,39	
		4,53	5,06	5,10	
		4,14	5,93	5,45	

Tabela 58 – Análise estatística para Tensão de Cisalhamento nos corpos-de-prova de *Eucalyptus grandis* fixando a temperatura em 27, 60 e 90 °C e tendo como variável o tempo e a pressão **(conclusão)**

	P _{1,25}	P _{2,50}	P _{5,00}	Σ
T90	6,85	7,11	7,52	
	6,07	7,96	5,33	
	7,44	6,68	6,84	
	8,19	7,15	7,97	
Σ	69,14 (12)	74,13 (12)	67,73 (12)	Σ C ₁₀ = 211,02 (36)
Σ P _{1,25;2,50;5,00} =	139,61 (24)	136,89 (24)	142,67 (24)	ΣX= 419,18 (72)
CV	gl	SQ	QM	F
Tempo (C)	1	0,11	0,11	0,01
Pressão (P)	2	0,69	0,34	0,03
P x C (Tratamentos)	2	7,51	3,75	0,40
Resíduo	18	165,21	9,17	
Total	23	173,53		

$$\Sigma x = 6,23 + 4,52 + \dots + 6,84 + 7,97 = 419,18$$

$$\Sigma x^2 = 6,23^2 + 4,52^2 + \dots + 6,84^2 + 7,97^2 = 2613,99$$

$$SQ \text{ total} = 2613,99 - ((419,18)^2 / 72) = 173,53$$

$$SQ \text{ tempo} = 1/36(208,15^2 + 211,02^2) - ((419,18)^2 / 72) = 0,11$$

$$SQ \text{ pressão} = 1/24(139,61^2 + 136,89^2 + 142,67^2) - ((419,18)^2 / 72) = 0,69$$

$$SQ_{c,p} = 1/12(70,46^2 + 62,75^2 + 74,93^2 + 67,73^2) - ((419,18)^2 / 72) = 8,32$$

$$SQ_{c \times p} = 8,32 - 0,11 - 0,69 = 7,51$$

$$SQ_{\text{res}} = 173,53 - 0,11 - 0,69 - 7,51 = 165,21$$

$$SQ_{\text{tratamento}} = 1/12(70,46^2 + 62,75^2 + 74,93^2 + 67,73^2) - ((419,18)^2 / 72) = 8,32$$

No esquema fatorial de três variáveis as interações temperatura x tempo de prensagem e pressão x tempo de prensagem foram significativas, no teste F, indicando que o tempo tem comportamento diferenciado na presença da pressão e da temperatura e vice-versa (Tabelas 59 e 60). Os gráficos relativos a essas análises já estão apresentados (para economia de espaço) nas Figuras 33 a 36

Tabela 59 – Análise estatística para obtenção do SQ de tratamento no ensaio de Tensão de Cisalhamento nos corpos-de-prova de *Eucalyptus grandis* na interação tripla entre temperatura, pressão e tempo de pressão

		Tr27	Tr60	Tr90	Σ	
C07	1,25	6,23	4,72	6,07		
		4,52	6,21	8,26		
		3,70	4,59	7,66		
		4,34	3,79	10,30		
		Σ	18,80 (4)	19,33 (4)	32,31 (4)	Σ 07;1,25= 70,46 (12)
	2,50	2,78	3,63	5,97		
		4,91	5,14	5,46		
		5,05	5,24	7,32		
		3,65	4,75	8,80		
		Σ	16,40 (4)	18,78 (4)	27,56 (4)	Σ 07;2,50= 62,75 (12)
	5,00	6,41	4,98	8,32		
		5,88	4,82	7,97		
4,59		4,17	9,68			
4,87		4,17	9,02			
	Σ	21,77 (4)	18,16 (4)	35,00 (4)	Σ 07;2,50= 74,93 (12)	
	Σ	56,99 (12)	56,28 (12)	94,87 (12)		
C10	1,25	4,97	5,28	6,85		
		6,11	6,61	6,07		
		3,65	4,53	7,44		
		5,24	4,14	8,19		
		Σ	20,00 (4)	20,57 (4)	28,56 (4)	Σ 10;1,25= 69,14 (12)
	2,50	6,08	4,95	7,11		
		5,17	5,15	7,96		
		6,09	5,06	6,68		
6,74		5,93	7,15			
	Σ	24,09 (4)	21,11 (4)	28,92 (4)	Σ 10;2,50= 74,13 (12)	

Tabela 59 – Análise estatística para obtenção do SQ de tratamento no ensaio de Tensão de Cisalhamento nos corpos-de-prova de *Eucalyptus grandis* na interação tripla entre temperatura, pressão e tempo de pressão

(conclusão)					
5,00	5,04	5,13	7,52		
	3,72	5,39	5,33		
	4,59	5,10	6,84		
	5,60	5,45	7,97		
Σ	18,96 (4)	21,08 (4)	27,68 (4)	$\Sigma 10;5,00=$	67,73 (12)
Σ	63,06 (12)	62,78 (12)	85,17 (12)		
$\Sigma \text{ Tr}27;60;90=$	120,06 (24)	119,06 (24)	180,05 (24)	$\Sigma X=$	419,18 (72)
CV		gl	SQ	QM	F
(Tratamentos)		17	123,69	7,27	7,88*
Resíduo		54	49,83	0,92	
Total		71	173,53		

Tabela 60 – Análise estatística para o ensaio de Tensão de Cisalhamento nos corpos-de-prova de *Eucalyptus grandis* na interação tripla entre temperatura, pressão e tempo de prensagem (continua)

		T27	T60	T90	Σ
C07	P1,25	6,23	4,72	6,07	
		4,52	6,21	8,26	
		3,70	4,59	7,66	
		4,34	3,79	10,30	
	Σ	18,80 (4)	19,33 (4)	32,31 (4)	$\Sigma 07;1,25= 70,46 (12)$
	2,50	2,78	3,63	5,97	
		4,91	5,14	5,46	
		5,05	5,24	7,32	
		3,65	4,75	8,80	
	Σ	16,40 (4)	18,78 (4)	27,56 (4)	$\Sigma 07;2,50= 62,75 (12)$
	5,00	6,41	4,98	8,32	
		5,88	4,82	7,97	
4,59		4,17	9,68		
4,87		4,17	9,02		
Σ	21,77 (4)	18,16 (4)	35,00 (4)	$\Sigma 07;5,00= 74,93 (12)$	
Σ	56,99 (12)	56,28 (12)	94,87 (12)		
C10	1,25	4,97	5,28	6,85	
		6,11	6,61	6,07	
		3,65	4,53	7,44	
		5,24	4,14	8,19	
	Σ	20,00 (4)	20,57 (4)	28,56 (4)	$\Sigma 10;1,25= 69,14 (12)$
	2,50	6,08	4,95	7,11	
		5,17	5,15	7,96	
		6,09	5,06	6,68	
		6,74	5,93	7,15	
	Σ	24,09 (4)	21,11 (4)	28,92 (4)	$\Sigma 10;2,50= 74,13 (12)$

Tabela 60 – Análise estatística para o ensaio de Tensão de Cisalhamento nos corpos de prova de *eucalyptus grandis* na interação tripla entre temperatura, pressão e tempo de prensagem (conclusão)

	T27	T60	T90	Σ
5,00	5,04	5,13	7,52	
	3,72	5,39	5,33	
	4,59	5,10	6,84	
	5,60	5,45	7,97	
Σ	18,96 (4)	21,08 (4)	27,68 (4)	Σ _{10;5,00} = 67,73 (12)
Σ	63,06 (12)	62,78 (12)	85,17 (12)	
Σ T27;60;90=	120,06 (24)	119,06 (24)	180,05 (24)	ΣX= 419,18 (72)

CV	gl	SQ	QM	F	Pr>Fc
Temperatura (T)	2	101,66	50,83	55,07*	0,00
Pressão (P)	2	0,69	0,34	0,37	0,69
Tempo de Prensagem (C)	1	0,11	0,11	0,12	0,73
T x P	4	2,16	0,54	0,58	0,67
T x C	2	7,10	3,55	3,84*	0,02
P x C	2	7,51	3,75	4,07*	0,02
T x P x C	4	4,44	1,11	1,20	0,32
(Tratamentos)	17				
Resíduo	54	49,83	0,92		
Total	71	173,53			

$$\Sigma x = 6,23 + 4,52 + \dots + 6,84 + 7,97 = 419,18$$

$$\Sigma x^2 = 6,23^2 + 4,52^2 + \dots + 6,84^2 + 7,97^2 = 2613,99$$

$$SQ \text{ total} = 2613,99 - ((419,18)^2 / 72) = 173,53$$

$$SQ \text{ temperatura} = 1/24(120,06^2 + 119,06^2 + 180,05^2) - (419,18)^2 / 72 = 101,66$$

$$SQ \text{ pressão} = 1/24(139,61^2 + 136,89^2 + 142,67^2) - (419,18)^2 / 72 = 0,69$$

$$SQ \text{ tempo} = 1/36(208,15^2 + 211,02^2) - (419,18)^2 / 72 = 0,11$$

$$SQ_{t,p} = 1/8((18,80 + 20,00)^2 + (16,40 + 24,09)^2 + (21,77 + 18,96)^2 + (19,33 + 20,57)^2 + (18,78 + 21,11)^2 + (18,16 + 21,08)^2 + (32,31 + 28,56)^2 + (27,56 + 28,92)^2 + (35,00 + 27,68)^2) - ((419,18)^2 / 72) = 104,51$$

$$SQ_{txp} = 104,51 - 101,66 - 0,69 = 2,16$$

$$SQ_{t,c} = 1/12(56,99^2 + 63,06^2 + 56,28^2 + 62,78^2 + 94,87^2 + 85,17^2) - ((419,18)^2 / 72) = 108,87$$

$$SQ_{txc} = 108,87 - 101,66 - 0,11 = 7,10$$

$$SQ_{p,c} = 1/12((70,46)^2 + (62,75)^2 + (74,93)^2 + (67,73)^2) - ((419,18)^2 / 72) = 8,32$$

$$SQ_{pxc} = 8,32 - 0,69 - 0,11 = 7,51$$

$$SQ_{t,p,c} = 1/4(18,80^2 + 20,00^2 + 16,40^2 + 24,09^2 + 21,77^2 + 18,96^2 + 19,33^2 + 20,57^2 + 18,78^2 + 21,11^2 + 18,16^2 + 21,08^2 + 32,31^2 + 28,56^2 + 27,56^2 + 28,92^2 + 35,00^2 + 27,68^2) - ((419,18)^2 / 72) = 123,69$$

$$SQ_{txpxc} = 123,69 - 101,66 - 0,69 - 0,11 - 2,16 - 7,10 - 7,51 = 4,44$$

$$SQ_{res} = 173,53 - 101,66 - 0,69 - 0,11 - 2,16 - 7,10 - 7,51 - 4,44 = 49,83$$

$$SQ_{tratamento} = 1/4(18,80^2 + 20,00^2 + 16,40^2 + 24,09^2 + 21,77^2 + 18,96^2 + 19,33^2 + 20,57^2 + 18,78^2 + 21,11^2 + 18,16^2 + 21,08^2 + 32,31^2 + 28,56^2 + 27,56^2 + 28,92^2 + 35,00^2 + 27,68^2) - ((419,18)^2 / 72) = 123,69$$

Tabela 61 – Determinação da interação de tempo e temperatura na interação tripla

P	T			
	27	60	90	
7	56,99	56,28	94,87	$\Sigma 7 = 208,15$
10	63,06	62,78	85,17	$\Sigma 10 = 211,02$
Σ	120,06	119,06	180,05	
SQ Tempo (C)= 0,11				
SQ Temperatura (T)= 101,66				
SQ T,C= 108,87				
SQ TxC= 7,10				

Tabela 62 – Determinação da interação de pressão e temperatura na interação tripla

P	T			
	27	60	90	
1,25	38,81	39,91	60,88	$\Sigma 1,25 = 139,61$
2,50	40,50	39,90	56,48	$\Sigma 2,50 = 136,89$
5,00	40,73	39,25	62,68	$\Sigma 5,00 = 142,67$
Σ	120,06	119,06	180,05	
SQ Temperatura (T)= 101,66				
SQ Pressão (P)= 0,69				
SQ T,P= 104,51				
SQ TxP= 2,16				

Tabela 63 – Determinação da interação de pressão e tempo na interação tripla

P	T			
	1,25	2,50	5,00	
7	70,46	62,75	74,93	$\Sigma 7 = 208,15$
10	69,14	74,13	67,73	$\Sigma 10 = 211,02$
Σ	139,61	136,89	142,67	
SQ Pressão (P)= 0,69				
SQ Tempo (C)= 0,11				
SQ P,C= 8,32				
SQ Px C= 7,51				

As pressões de colagem não influenciaram significativamente os valores de τ , podendo-se optar pela pressão que melhor convém. O mesmo ocorre com o tempo de prensagem.

Com o auxílio do Teste Tukey, na tabela 64, verifica-se que a temperatura de 90°C possibilitou a obtenção dos maiores valores de τ , tanto no conjunto dos dados quanto dentro de cada tempo de cura do adesivo (Tabelas 64 a 66)

Tabela 64 – Resultado do teste de Tukey para a tensão de cisalhamento (τ), quando dependente da temperatura

Temperatura (°C)	Média de τ (MPa)	
90	7,50	a
27	5,00	b
60	4,96	b

Na análise da temperatura dentro do tempo, observa-se que a temperatura de 90°C influencia nos tempos de prensagem de 7 e 10 dias (Tabela 68 e 69).

Tabela 65 – Resultado do teste de Tukey para a tensão de cisalhamento (τ) no tempo de 7 dias

Temperatura (°C)	Média de τ (MPa)	
90	7,91	a
27	4,75	b
60	4,68	b

Tabela 66 – Resultado do teste de Tukey para a tensão de cisalhamento (τ) no tempo de 10 dias

Temperatura (°C)	Média de τ (MPa)	
90	7,09	a
27	5,25	b
60	5,23	b

Na análise do tempo dentro da temperatura, observa-se que o tempo de 7 dias foi favorável à resistência da junta colada na temperatura de 90°C (Tabela 67).

Tabela 67 – Resultado do teste Tukey para a tensão de cisalhamento (τ) na temperatura de 90°C

Tempo (dias)	Média de τ	
7	7,91	a
10	7,10	b

Na análise da pressão dentro do tempo de prensagem, observa-se que as pressões de 1,25 MPA e 5,00 MPA, estão no mesmo nível de significância no tempo de 7 dias e não houve diferenças significativas no tempo de 10 dias (Tabela 68).

Tabela 68 – Resultado do teste Tukey para a tensão de cisalhamento (τ) dentro do tempo de 7 dias

Pressão (Mpa)	Média de τ	
5,00	6,24	a
1,25	5,87	a
2,50	5,23	b

Na análise do tempo dentro da pressão, observa-se que na pressão de 2,50 MPA houve influência do tempo de cura do adesivo (Tabela 69).

Tabela 69 – Resultado do teste Tukey para a tensão de cisalhamento (τ) dentro da pressão de 2,50 MPA

Tempo (dias)	Média de τ	
10	6,18	a
7	5,23	b

As Tabelas 70, 71 e 72 mostram os valores de massa específica (ρ) e umidade (U) das amostras ensaiadas ao cisalhamento, obtidos nas temperaturas de 27, 60 e 90°C, respectivamente, determinadas com o intuito de avaliar a altíssima variabilidade verificada nas análises estatísticas anteriores das uniões coladas. Ressalta-se que é comum aceitar-se o paradigma de que uniões coladas são, pelos processos controlados de produção, uniformes e de comportamento previsível.

Tabela 70 – Valores de tensão de cisalhamento (τ), massa específica (ρ) e umidade (U) das sub-amostras obtidas dos corpos-de-prova ensaiados com massa (M) e volume (V) a 27° (continua)

Sub-amostras	τ (MPa)	M (g)	V (cm ³)	ρ (g/cm ³)	U(%)	ρ (média da amostra)	U ¹ (média da amostra)
1.1a	6,42	10,29	18,27	0,56	14,72	0,55	14,46
1.1b		10,45	19,79	0,53	14,21		
1.2a	5,89	10,50	18,95	0,55	14,25	0,63	14,30
1.2b		12,75	18,24	0,70	14,35		
1.3a	4,60	13,63	18,70	0,73	14,15	0,73	14,33
1.3b		13,66	18,72	0,73	14,50		
1.4a	4,87	14,37	18,64	0,77	14,68	0,65	14,03
1.4b		10,26	19,12	0,54	13,37		
2.1a	2,78	11,04	20,06	0,55	4,84	0,60	14,73
2.1b		12,00	18,42	0,65	24,61		
2.2a	4,92	13,95	19,51	0,72	14,63	0,65	14,59
2.2b		11,10	18,66	0,59	14,55		
2.3a	5,06	11,45	19,86	0,58	11,38	0,58	13,85
2.3b		11,69	19,70	0,59	16,32		
2.4a	3,65	12,28	18,22	0,67	13,60	0,60	13,87
2.4b		10,33	19,78	0,52	14,14		
3.1a	6,23	13,28	19,58	0,68	14,38	0,62	14,53
3.1b		9,92	17,65	0,56	14,68		
3.2a	4,53	11,63	19,06	0,61	14,13	0,60	19,80
3.2b		11,28	19,23	0,59	25,47		
3.3a	3,70	11,20	19,24	0,58	14,05	0,66	14,19
3.3b		14,20	19,22	0,74	14,33		
3.4a	4,35	13,23	19,43	0,68	14,35	0,63	14,29
3.4b		11,48	19,63	0,58	14,23		
4.1a	4,98	11,91	18,24	0,65	11,83	0,61	11,91
4.1b		11,21	20,06	0,56	11,99		
4.2a	4,83	10,49	17,85	0,59	2,34	0,66	7,31
4.2b		15,36	21,04	0,73	12,28		
4.3a	4,18	10,04	20,85	0,48	12,18	0,61	12,20
4.3b		13,03	17,65	0,74	12,23		
4.4a	4,18	11,38	18,14	0,63	12,67	0,63	12,10
4.4b		12,57	20,13	0,62	11,54		
5.1a	3,64	12,27	18,73	0,66	12,05	0,61	12,22
5.1b		11,88	20,79	0,57	12,39		
5.2a	5,14	11,10	17,99	0,62	12,58	0,61	12,45
5.2b		12,49	20,73	0,60	12,32		
5.3a	5,25	11,97	20,83	0,57	12,18	0,60	12,26
5.3b		11,65	18,37	0,63	12,34		
5.4a	4,76	11,54	16,88	0,68	12,15	0,67	12,12
5.4b		13,90	21,09	0,66	12,10		
6.1a	4,73	10,92	17,42	0,63	12,00	0,66	11,94
6.1b		13,47	19,45	0,69	11,88		
6.2a	6,22	11,10	20,73	0,54	12,23	0,64	12,25
6.2b		14,00	18,56	0,75	12,27		
6.3a	4,59	11,21	18,15	0,62	12,10	0,60	12,20
6.3b		11,51	20,07	0,57	12,29		
6.4a	3,80	12,44	20,38	0,61	12,48	0,59	12,30
6.4b		10,63	18,51	0,57	12,13		

Tabela 70 - Valores de tensão de cisalhamento (τ), massa específica (ρ) e umidade (U) das sub-amostras obtidas dos corpos-de-prova ensaiados com massa (M) e volume (V) a 27°C (continuação)

Sub-amostras	τ (MPa)	M (g)	V (cm ³)	ρ (g/cm ³)	U(%)	ρ (média da amostra)	U ¹ (média da amostra)
7.1a	8,32	9,47	17,05	0,56	11,81	0,63	12,12
7.1b		14,56	20,40	0,71	12,43		
7.2a	7,97	14,88	21,00	0,71	12,05	0,64	12,16
7.2b		10,15	17,86	0,57	12,28		
7.3a	9,69	11,14	17,13	0,65	12,30	0,62	12,36
7.3b		11,85	19,81	0,60	12,43		
7.4a	9,02	15,26	17,08	0,89	11,88	0,67	12,09
7.4b		9,59	21,15	0,45	12,30		
8.1a	5,98	9,30	20,63	0,45	12,45	0,66	12,43
8.1b		14,85	17,06	0,87	12,41		
8.2a	5,46	12,03	21,22	0,57	12,22	0,59	12,23
8.2b		10,54	17,08	0,62	12,25		
8.3a	7,32	14,77	20,07	0,74	11,98	0,66	12,09
8.3b		10,48	17,74	0,59	12,21		
8.4a	8,80	10,47	17,15	0,61	12,10	0,67	12,31
8.4b		14,37	19,80	0,73	12,53		
9.1a	6,07	12,18	16,79	0,73	12,15	0,65	12,20
9.1b		11,82	20,85	0,57	12,25		
9.2a	8,27	13,50	17,89	0,75	12,41	0,67	12,34
9.2b		11,90	20,67	0,58	12,26		
9.3a	7,67	14,91	20,54	0,73	12,44	0,71	12,28
9.3b		11,66	16,79	0,69	12,12		
9.4a	10,31	12,10	18,57	0,65	12,35	0,61	12,25
9.4b		11,73	20,32	0,58	12,14		
10.1a	5,04	11,84	20,06	0,59	15,18	0,58	14,94
10.1b		10,92	19,29	0,57	14,71		
10.2a	3,73	14,29	18,70	0,76	15,80	0,66	15,21
10.2b		10,66	18,94	0,56	14,62		
10.3a	4,59	11,49	19,19	0,60	14,67	0,60	15,09
10.3b		11,69	19,41	0,60	15,51		
10.4a	5,60	10,84	19,57	0,55	14,71	0,61	15,30
10.4b		12,98	19,49	0,67	15,89		
11.1a	6,08	11,61	18,84	0,62	15,29	0,58	15,40
11.1b		11,17	20,54	0,54	15,51		
11.2a	5,18	11,15	18,91	0,59	15,54	0,58	15,33
11.2b		11,50	20,42	0,56	15,12		
11.3a	6,09	15,06	20,90	0,72	15,67	0,74	15,37
11.3b		14,28	18,90	0,76	15,07		
11.4a	6,74	10,84	19,02	0,57	14,95	0,56	15,05
11.4b		12,09	21,85	0,55	15,14		
12.1a	4,98	10,81	19,46	0,56	15,00	0,59	15,24
12.1b		11,34	18,27	0,62	15,48		
12.2a	6,12	11,03	19,71	0,56	15,02	0,56	15,08
12.2b		10,64	19,27	0,55	15,15		
12.3a	3,66	10,85	19,89	0,55	14,94	0,58	15,10
12.3b		11,48	18,70	0,61	15,26		
12.4a	5,25	12,10	20,40	0,59	15,24	0,60	14,94
12.4b		11,43	19,06	0,60	14,64		

Tabela 70 - Valores de tensão de cisalhamento (τ), massa específica (ρ) e umidade (U) das sub-amostras obtidas dos corpos-de-prova ensaiados com massa (M) e volume (V) a 27°C **(conclusão)**

Sub-amostras	τ (MPa)	M (g)	V (cm ³)	ρ (g/cm ³)	U(%)	ρ (média da amostra)	U ¹ (média da amostra)
13.1a	5,13	10,67	20,35	0,52	12,55	0,64	12,51
13.1b		13,89	18,44	0,75	12,47		
13.2a	5,40	10,44	15,58	0,67	12,50	0,61	12,45
13.2b		10,34	18,99	0,54	12,39		
13.3a	5,10	11,46	17,76	0,65	12,35	0,59	12,52
13.3b		9,95	18,81	0,53	12,68		
13.4a	5,46	10,73	18,86	0,57	12,36	0,58	12,17
13.4b		10,65	18,26	0,58	11,99		
14.1a	4,95	14,49	18,89	0,77	12,15	0,73	12,30
14.1b		13,74	19,78	0,69	12,44		
14.2a	5,16	10,83	19,37	0,56	12,00	0,58	12,20
14.2b		11,15	18,64	0,60	12,40		
14.3a	5,06	12,25	18,58	0,66	21,17	0,69	26,03
14.3b		14,28	20,09	0,71	30,89		
14.4a	5,94	13,63	18,29	0,75	12,37	0,63	12,39
14.4b		9,87	18,82	0,52	12,41		
15.1a	5,29	9,69	20,23	0,48	12,41	0,57	12,42
15.1b		11,58	17,41	0,66	12,43		
15.2a	6,61	9,80	17,34	0,57	12,77	0,62	12,59
15.2b		13,40	19,89	0,67	12,42		
15.3a	4,53	14,08	19,81	0,71	11,66	0,70	11,87
15.3b		13,26	19,20	0,69	12,09		
15.4a	4,14	12,02	20,14	0,60	12,23	0,62	12,29
15.4b		11,28	17,41	0,65	12,35		
16.1a	7,53	14,50	20,75	0,70	12,06	0,69	12,03
16.1b		13,06	19,21	0,68	12,01		
16.2a	5,34	10,53	18,33	0,57	11,90	0,65	12,15
16.2b		14,51	20,09	0,72	12,39		
16.3a	6,85	12,66	20,38	0,62	12,23	0,73	12,22
16.3b		14,98	18,02	0,83	12,21		
16.4a	7,98	15,69	17,61	0,89	12,15	0,74	12,23
16.4b		12,68	21,81	0,58	12,31		
17.1a	7,12	12,90	20,87	0,62	12,37	0,69	12,22
17.1b		14,40	18,98	0,76	12,06		
17.2a	7,96	14,89	19,30	0,77	12,29	0,72	11,98
17.2b		13,98	20,71	0,68	11,66		
17.3a	6,69	14,37	20,90	0,69	12,27	0,70	12,20
17.3b		13,12	18,22	0,72	12,14		
17.4a	7,15	11,06	19,32	0,57	11,94	0,65	12,14
17.4b		15,56	21,48	0,72	12,35		
18.1a	6,86	14,77	20,75	0,71	11,81	0,71	11,98
18.1b		13,10	18,52	0,71	12,16		
18.2a	6,07	14,31	20,64	0,69	12,24	0,64	11,94
18.2b		10,55	18,27	0,58	11,64		
18.3a	7,44	13,23	17,16	0,77	12,12	0,86	12,18
18.3b		15,13	15,99	0,95	12,24		
18.4a	8,19	11,01	18,14	0,61	11,66	0,68	11,75
18.4b		12,76	16,81	0,76	11,83		

¹ Baseada na massa a 90°C da Tabela 70 tomada como referência

Tabela 71 – Valores de tensão de cisalhamento (τ), massa específica (ρ) e umidade (U) das sub-amostras obtidas dos corpos-de-prova ensaiados com massa (M) e volume (V) a 60° **(continua)**

Sub-amostras	τ (MPa)	M(g)	V(cm ³)	ρ (g/cm ³)	U (%)	ρ (média da amostra)	U ² (média da amostra)
1.1a	6,42	9,18	16,88	0,54	2,34	0,53	2,26
1.1b		9,35	17,95	0,52	2,19		
1.2a	5,89	9,46	17,52	0,54	2,94	0,61	2,50
1.2b		11,38	16,90	0,67	2,06		
1.3a	4,60	12,12	17,23	0,70	1,51	0,70	1,68
1.3b		12,15	17,43	0,70	1,84		
1.4a	4,87	12,86	17,25	0,75	2,63	0,63	2,20
1.4b		9,21	17,97	0,51	1,77		
2.1a	2,78	10,72	18,76	0,57	1,80	0,57	1,89
2.1b		9,82	17,25	0,57	1,97		
2.2a	4,92	12,41	17,16	0,72	1,97	0,63	2,07
2.2b		9,90	18,24	0,54	2,17		
2.3a	5,06	10,84	18,28	0,59	5,45	0,57	3,67
2.3b		10,24	18,49	0,55	1,89		
2.4a	3,65	10,98	16,84	0,65	1,57	0,58	1,78
2.4b		9,23	18,18	0,51	1,99		
3.1a	6,23	11,84	18,08	0,65	1,98	0,59	2,15
3.1b		8,85	16,80	0,53	2,31		
3.2a	4,53	10,44	17,60	0,59	2,45	0,55	2,12
3.2b		9,15	18,04	0,51	1,78		
3.3a	3,70	10,02	17,82	0,56	2,04	0,60	2,02
3.3b		12,67	19,71	0,64	2,01		
3.4a	4,35	11,84	18,01	0,66	2,33	0,62	2,56
3.4b		10,33	17,94	0,58	2,79		
4.1a	4,98	10,83	18,80	0,58	1,69	0,59	1,74
4.1b		10,19	16,64	0,61	1,80		
4.2a	4,83	10,44	16,34	0,64	1,85	0,68	1,80
4.2b		13,92	19,56	0,71	1,75		
4.3a	4,18	9,11	16,53	0,55	1,79	0,58	1,76
4.3b		11,81	19,43	0,61	1,72		
4.4a	4,18	10,34	16,94	0,61	2,38	0,61	2,25
4.4b		11,51	18,81	0,61	2,13		
5.1a	3,64	11,20	19,30	0,58	2,28	0,61	2,13
5.1b		10,78	16,71	0,65	1,99		
5.2a	5,14	10,04	16,84	0,60	1,83	0,59	1,95
5.2b		11,35	19,43	0,58	2,07		
5.3a	5,25	10,88	19,39	0,56	1,97	0,60	2,29
5.3b		10,64	16,65	0,64	2,60		
5.4a	4,76	10,50	15,43	0,68	2,04	0,66	2,15
5.4b		12,68	19,53	0,65	2,26		
6.1a	4,73	9,98	15,93	0,63	2,36	0,64	2,13
6.1b		12,27	18,94	0,65	1,91		
6.2a	6,22	10,10	17,42	0,58	2,12	0,62	2,06
6.2b		12,72	19,23	0,66	2,00		
6.3a	4,59	10,17	17,12	0,59	1,70	0,57	1,78
6.3b		10,44	18,91	0,55	1,85		
6.4a	3,80	11,28	18,81	0,60	1,99	0,58	2,15
6.4b		9,70	17,11	0,57	2,32		

Tabela 71 – Valores de tensão de cisalhamento (τ), massa específica (ρ) e umidade (U) das sub-amostras obtidas dos corpos-de-prova ensaiados com massa (M) e volume (V) a 60° **(continuação)**

Sub-amostras	τ (MPa)	M(g)	V(cm ³)	ρ (g/cm ³)	U (%)	ρ (média da amostra)	U ² (média da amostra)
7.1a	8,32	8,67	15,90	0,55	2,36	0,62	2,34
7.1b		13,25	18,93	0,70	2,32		
7.2a	7,97	13,53	19,35	0,70	1,88	0,63	1,83
7.2b		9,20	16,66	0,55	1,77		
7.3a	9,69	10,09	15,24	0,66	1,71	0,66	2,09
7.3b		10,80	16,40	0,66	2,47		
7.4a	9,02	13,93	19,20	0,73	2,13	0,63	2,06
7.4b		8,71	16,10	0,54	1,99		
8.1a	5,98	8,44	15,80	0,53	2,06	0,62	2,05
8.1b		13,48	18,84	0,72	2,04		
8.2a	5,46	10,91	19,72	0,55	1,77	0,58	1,90
8.2b		9,58	15,87	0,60	2,02		
8.3a	7,32	13,47	18,71	0,72	2,12	0,64	1,97
8.3b		9,51	16,94	0,56	1,82		
8.4a	8,80	9,51	16,26	0,58	1,82	0,65	2,08
8.4b		13,07	18,36	0,71	2,35		
9.1a	6,07	11,11	19,32	0,57	2,30	0,63	1,96
9.1b		10,70	15,65	0,68	1,61		
9.2a	8,27	12,28	16,77	0,73	2,25	0,65	2,26
9.2b		10,84	19,21	0,56	2,26		
9.3a	7,67	13,53	19,07	0,71	2,04	0,70	1,98
9.3b		10,60	15,55	0,68	1,92		
9.4a	10,31	11,01	16,49	0,67	2,23	0,62	1,97
9.4b		10,64	18,77	0,57	1,72		
10.1a	5,04	10,52	18,79	0,56	2,33	0,55	2,06
10.1b		9,69	18,11	0,53	1,79		
10.2a	3,73	12,61	21,17	0,60	2,19	0,58	2,28
10.2b		9,52	17,01	0,56	2,37		
10.3a	4,59	10,24	18,60	0,55	2,20	0,57	2,28
10.3b		10,36	17,74	0,58	2,37		
10.4a	5,60	9,61	18,05	0,53	1,69	0,58	1,34
10.4b		11,31	17,78	0,64	0,98		
11.1a	6,08	10,25	17,50	0,59	1,79	0,55	2,13
11.1b		9,91	19,34	0,51	2,48		
11.2a	5,18	9,85	18,90	0,52	2,07	0,54	2,09
11.2b		10,20	18,05	0,57	2,10		
11.3a	6,09	13,31	17,65	0,75	2,23	0,71	2,08
11.3b		12,65	19,26	0,66	1,93		
11.4a	6,74	9,61	18,19	0,53	1,91	0,53	2,05
11.4b		10,73	20,20	0,53	2,19		
12.1a	4,98	9,58	17,06	0,56	1,91	0,56	2,03
12.1b		10,03	18,14	0,55	2,14		
12.2a	6,12	9,82	17,94	0,55	2,40	0,53	2,28
12.2b		9,44	18,48	0,51	2,16		
12.3a	3,66	9,60	18,52	0,52	1,69	0,55	2,00
12.3b		10,19	17,55	0,58	2,31		
12.4a	5,25	10,71	19,18	0,56	2,00	0,57	1,90
12.4b		10,15	17,74	0,57	1,81		

Tabela 71 – Valores de tensão de cisalhamento (τ), massa específica (ρ) e umidade (U) das sub-amostras obtidas dos corpos-de-prova ensaiados com massa (M) e volume (V) a 60° **(conclusão)**

Sub-amostras	τ		V(cm ³)	ρ (g/cm ³)	U (%)	ρ (média da amostra)	U ² (média da amostra)
	(MPa)	M(g)					
13.1a	5,13	9,69	17,26	0,56	2,22	0,61	2,16
13.1b		12,61	19,30	0,65	2,11		
13.2a	5,40	9,50	17,89	0,53	2,37	0,53	2,49
13.2b		9,44	17,63	0,54	2,61		
13.3a	5,10	10,42	17,67	0,59	2,16	0,56	2,27
13.3b		9,04	16,80	0,54	2,38		
13.4a	5,46	9,72	17,88	0,54	1,78	0,55	1,73
13.4b		9,67	17,14	0,56	1,68		
14.1a	4,95	13,25	18,65	0,71	2,55	0,70	2,30
14.1b		12,47	17,92	0,70	2,05		
14.2a	5,16	9,90	17,47	0,57	2,38	0,56	2,05
14.2b		10,09	18,34	0,55	1,71		
14.3a	5,06	10,40	25,63	0,41	2,87	0,52	2,53
14.3b		11,15	17,42	0,64	2,20		
14.4a	5,94	12,39	17,06	0,73	2,14	0,61	2,10
14.4b		8,96	17,98	0,50	2,05		
15.1a	5,29	8,80	16,31	0,54	2,09	0,55	2,31
15.1b		10,56	18,68	0,57	2,52		
15.2a	6,61	8,86	16,06	0,55	1,96	0,61	2,07
15.2b		12,18	17,99	0,68	2,18		
15.3a	4,53	12,87	17,55	0,73	2,06	0,70	2,38
15.3b		12,15	18,44	0,66	2,70		
15.4a	4,14	10,90	18,78	0,58	1,77	0,60	1,98
15.4b		10,26	16,37	0,63	2,19		
16.1a	7,53	13,19	19,48	0,68	1,93	0,69	2,21
16.1b		11,95	17,04	0,70	2,49		
16.2a	5,34	9,56	17,33	0,55	1,59	0,63	1,92
16.2b		13,20	18,90	0,70	2,25		
16.3a	6,85	11,51	16,66	0,69	2,04	0,71	2,11
16.3b		13,64	18,95	0,72	2,17		
16.4a	7,98	14,27	20,11	0,71	2,00	0,70	2,02
16.4b		11,52	16,82	0,68	2,04		
17.1a	7,12	11,69	17,47	0,67	1,83	0,67	2,24
17.1b		13,19	19,47	0,68	2,65		
17.2a	7,96	13,55	18,86	0,72	2,19	0,71	2,21
17.2b		12,80	18,27	0,70	2,24		
17.3a	6,69	13,07	19,65	0,67	2,11	0,68	1,91
17.3b		11,90	17,03	0,70	1,71		
17.4a	7,15	10,05	18,06	0,56	1,72	0,62	1,91
17.4b		14,14	20,57	0,69	2,09		
18.1a	6,86	13,49	19,41	0,70	2,12	0,70	2,13
18.1b		11,93	17,05	0,70	2,14		
18.2a	6,07	13,01	19,36	0,67	2,04	0,61	1,92
18.2b		9,62	17,56	0,55	1,80		
18.3a	7,44	12,07	15,92	0,76	2,29	0,74	2,07
18.3b		13,73	19,24	0,71	1,85		
18.4a	8,19	10,02	15,78	0,64	1,62	0,66	1,73
18.4b		11,62	17,11	0,68	1,84		

² Baseada na massa a 90°C da Tabela 70 tomada como referência

Tabela 72 – Valores de tensão de cisalhamento (τ), massa específica (ρ) das sub-amostras obtidas dos corpos-de-prova ensaiados com massa (M) e volume (V) a 90°

Sub-amostras	τ (MPa)	M (g)	V (cm ³)	ρ (g/cm ³)	ρ (média da amostra)
1.1a	6,42	8,97	16,78	0,53	0,51
1.1b		9,15	18,61	0,49	
1.2a	5,89	9,19	17,57	0,52	0,59
1.2b		11,15	16,75	0,67	
1.3a	4,60	11,94	17,01	0,70	0,70
1.3b		11,93	17,24	0,69	
1.4a	4,87	12,53	17,09	0,73	0,62
1.4b		9,05	18,06	0,50	
2.1a	2,78	10,53	18,81	0,56	0,56
2.1b		9,63	17,43	0,55	
2.2a	4,92	12,17	17,40	0,70	0,62
2.2b		9,69	18,12	0,53	
2.3a	5,06	10,28	18,23	0,56	0,55
2.3b		10,05	18,48	0,54	
2.4a	3,65	10,81	16,72	0,65	0,57
2.4b		9,05	18,13	0,50	
3.1a	6,23	11,61	18,00	0,64	0,58
3.1b		8,65	16,63	0,52	
3.2a	4,53	10,19	17,64	0,58	0,54
3.2b		8,99	17,74	0,51	
3.3a	3,70	9,82	17,91	0,55	0,59
3.3b		12,42	19,57	0,63	
3.4a	4,35	11,57	17,87	0,65	0,60
3.4b		10,05	17,92	0,56	
4.1a	4,98	10,65	19,09	0,56	0,58
4.1b		10,01	16,78	0,60	
4.2a	4,83	10,25	16,47	0,62	0,67
4.2b		13,68	19,30	0,71	
4.3a	4,18	8,95	16,39	0,55	0,58
4.3b		11,61	19,20	0,60	
4.4a	4,18	10,10	16,60	0,61	0,61
4.4b		11,27	18,60	0,61	
5.1a	3,64	10,95	19,45	0,56	0,59
5.1b		10,57	17,10	0,62	
5.2a	5,14	9,86	16,70	0,59	0,58
5.2b		11,12	19,28	0,58	
5.3a	5,25	10,67	19,75	0,54	0,57
5.3b		10,37	17,08	0,61	
5.4a	4,76	10,29	15,65	0,66	0,65
5.4b		12,40	19,50	0,64	
6.1a	4,73	9,75	16,06	0,61	0,62
6.1b		12,04	18,89	0,64	
6.2a	6,22	9,89	17,22	0,57	0,61
6.2b		12,47	19,22	0,65	
6.3a	4,59	10,00	16,79	0,60	0,57
6.3b		10,25	18,72	0,55	
6.4a	3,80	11,06	18,77	0,59	0,57
6.4b		9,48	17,20	0,55	

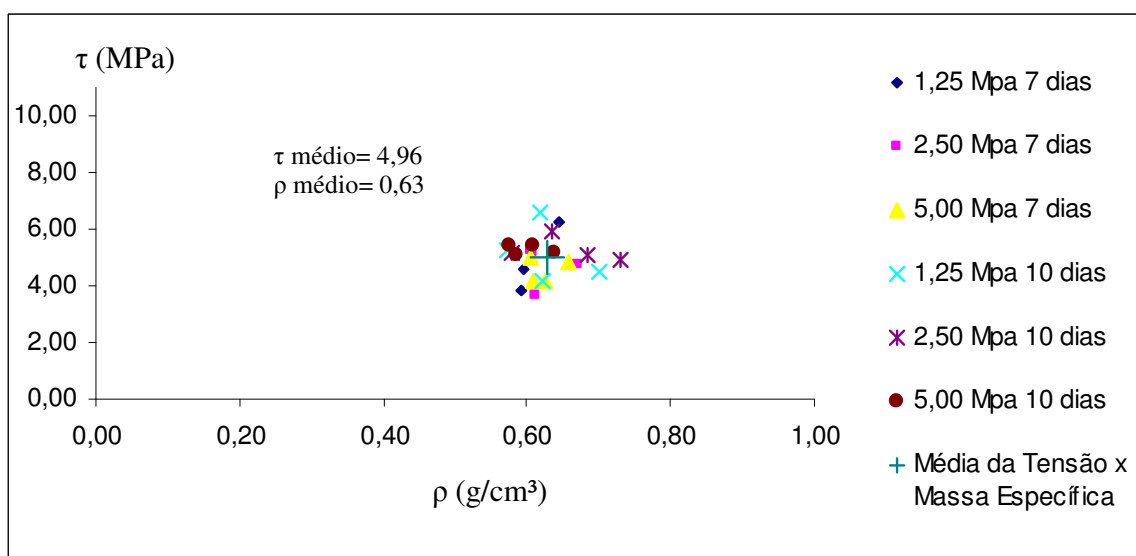
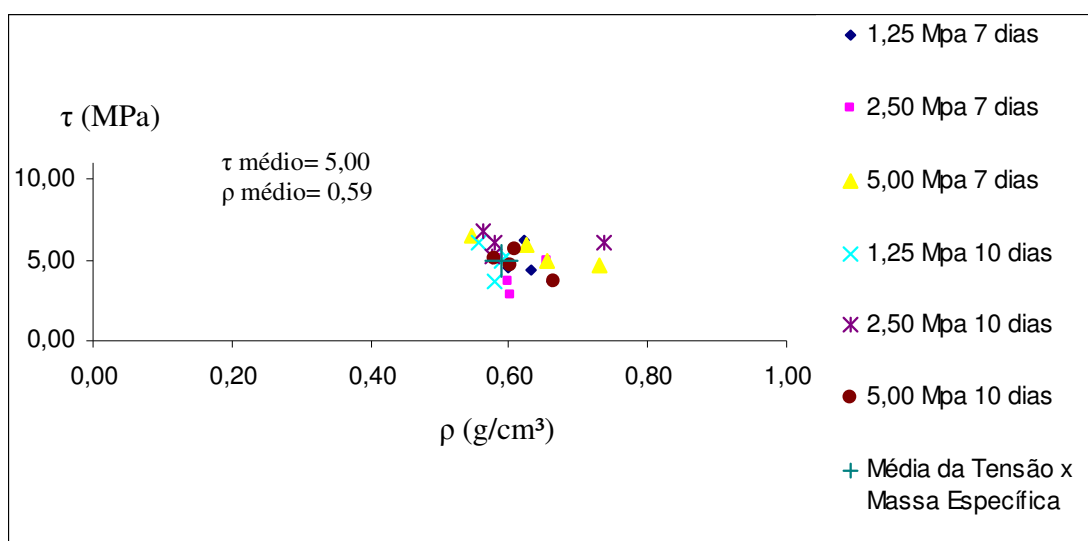
Tabela 72 – Valores de tensão de cisalhamento (τ), massa específica (ρ) e umidade (U) das sub-amostras obtidas dos corpos-de-prova ensaiados com massa (M) e volume (V) a 90°

Sub-amostras	τ (MPa)	M (g)	V (cm ³)	ρ (g/cm ³)	ρ (média da amostra)
7.1a	8,32	8,47	15,92	0,53	0,63
7.1b		12,95	18,03	0,72	
7.2a	7,97	13,28	19,52	0,68	0,61
7.2b		9,04	16,73	0,54	
7.3a	9,69	9,92	18,45	0,54	0,61
7.3b		10,54	15,61	0,68	
7.4a	9,02	13,64	19,16	0,71	0,62
7.4b		8,54	16,04	0,53	
8.1a	5,98	8,27	16,33	0,51	0,59
8.1b		13,21	19,72	0,67	
8.2a	5,46	10,72	19,70	0,54	0,57
8.2b		9,39	15,83	0,59	
8.3a	7,32	13,19	18,64	0,71	0,64
8.3b		9,34	16,44	0,57	
8.4a	8,80	9,34	16,04	0,58	0,64
8.4b		12,77	18,26	0,70	
9.1a	6,07	10,86	19,19	0,57	0,62
9.1b		10,53	15,57	0,68	
9.2a	8,27	12,01	16,60	0,72	0,64
9.2b		10,60	19,26	0,55	
9.3a	7,67	13,26	18,89	0,70	0,69
9.3b		10,40	15,41	0,67	
9.4a	10,31	10,77	16,41	0,66	0,61
9.4b		10,46	18,74	0,56	
10.1a	5,04	10,28	18,66	0,55	0,54
10.1b		9,52	17,86	0,53	
10.2a	3,73	12,34	17,43	0,71	0,63
10.2b		9,30	17,01	0,55	
10.3a	4,59	10,02	18,10	0,55	0,56
10.3b		10,12	17,70	0,57	
10.4a	5,60	9,45	18,00	0,53	0,58
10.4b		11,20	17,55	0,64	
11.1a	6,08	10,07	17,42	0,58	0,54
11.1b		9,67	19,02	0,51	
11.2a	5,18	9,65	18,79	0,51	0,54
11.2b		9,99	17,80	0,56	
11.3a	6,09	13,02	17,52	0,74	0,70
11.3b		12,41	19,04	0,65	
11.4a	6,74	9,43	18,16	0,52	0,52
11.4b		10,50	20,08	0,52	
12.1a	4,98	9,40	16,74	0,56	0,55
12.1b		9,82	18,10	0,54	
12.2a	6,12	9,59	17,74	0,54	0,53
12.2b		9,24	18,06	0,51	
12.3a	3,66	9,44	18,32	0,52	0,55
12.3b		9,96	17,23	0,58	
12.4a	5,25	10,50	18,98	0,55	0,56
12.4b		9,97	17,62	0,57	

Tabela 72 – Valores de tensão de cisalhamento (τ), massa específica (ρ) e umidade (U) das sub-amostras obtidas dos corpos-de-prova ensaiados com massa (M) e volume (V) a 90°

Sub-amostras	τ (MPa)	M (g)	V (cm ³)	ρ (g/cm ³)	ρ (média da amostra)
13.1a	5,13	9,48	17,32	0,55	0,60
13.1b		12,35	19,14	0,65	
13.2a	5,40	9,28	17,88	0,52	0,52
13.2b		9,20	17,46	0,53	
13.3a	5,10	10,20	17,55	0,58	0,56
13.3b		8,83	16,60	0,53	
13.4a	5,46	9,55	17,63	0,54	0,55
13.4b		9,51	17,00	0,56	
14.1a	4,95	12,92	18,59	0,69	0,69
14.1b		12,22	17,75	0,69	
14.2a	5,16	9,67	17,45	0,55	0,55
14.2b		9,92	18,23	0,54	
14.3a	5,06	10,11	18,83	0,54	0,59
14.3b		10,91	17,18	0,64	
14.4a	5,94	12,13	16,87	0,72	0,61
14.4b		8,78	17,71	0,50	
15.1a	5,29	8,62	16,25	0,53	0,54
15.1b		10,30	18,80	0,55	
15.2a	6,61	8,69	16,31	0,53	0,59
15.2b		11,92	18,63	0,64	
15.3a	4,53	12,61	17,73	0,71	0,68
15.3b		11,83	18,45	0,64	
15.4a	4,14	10,71	18,98	0,56	0,59
15.4b		10,04	16,27	0,62	
16.1a	7,53	12,94	19,46	0,66	0,67
16.1b		11,66	17,20	0,68	
16.2a	5,34	9,41	17,21	0,55	0,62
16.2b		12,91	18,65	0,69	
16.3a	6,85	11,28	16,67	0,68	0,69
16.3b		13,35	18,77	0,71	
16.4a	7,98	13,99	19,94	0,70	0,69
16.4b		11,29	16,81	0,67	
17.1a	7,12	11,48	17,28	0,66	0,66
17.1b		12,85	19,36	0,66	
17.2a	7,96	13,26	18,69	0,71	0,70
17.2b		12,52	17,88	0,70	
17.3a	6,69	12,80	19,31	0,66	0,68
17.3b		11,70	16,86	0,69	
17.4a	7,15	9,88	18,00	0,55	0,62
17.4b		13,85	19,83	0,70	
18.1a	6,86	13,21	19,31	0,68	0,69
18.1b		11,68	17,01	0,69	
18.2a	6,07	12,75	19,09	0,67	0,60
18.2b		9,45	17,46	0,54	
18.3a	7,44	11,80	15,63	0,76	0,73
18.3b		13,48	19,23	0,70	
18.4a	8,19	9,86	15,74	0,63	0,65
18.4b		11,41	16,98	0,67	

As Figuras 39, 40 e 41 mostram as relações encontradas entre a massa específica (ρ) obtidas na temperaturas de 27°C. A τ média na temperatura de 27°C foi de 5,00 MPa e a ρ média ficou em 0,59 g/cm³ (Figura 39). A τ média na temperatura de 60°C foi de 4,96 MPa e a ρ média ficou em 0,63 g/cm³ (Figura 40). A τ média da temperatura de 90°C foi de 7,50 MPa e a ρ média ficou em 0,68 g/cm³ (Figura 41). A média das três temperaturas (Figura 42) para τ foi em 5,82 MPa e para a ρ foi de 0,63 g/cm³. A ρ não afetou os valores da τ .



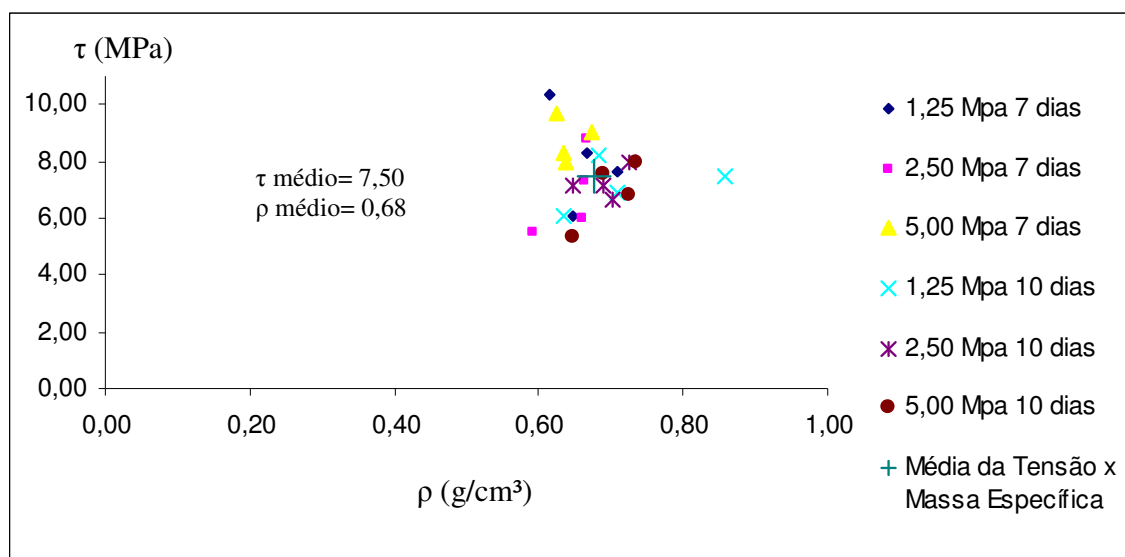


Figura 41 – Relação entre a tensão de cisalhamento (τ) com a massa específica (ρ) com os corpos-de-prova na temperatura de 27°C e τ obtido no ensaio de cisalhamento na temperatura de 90°C de CP's de *Eucalyptus grandis*

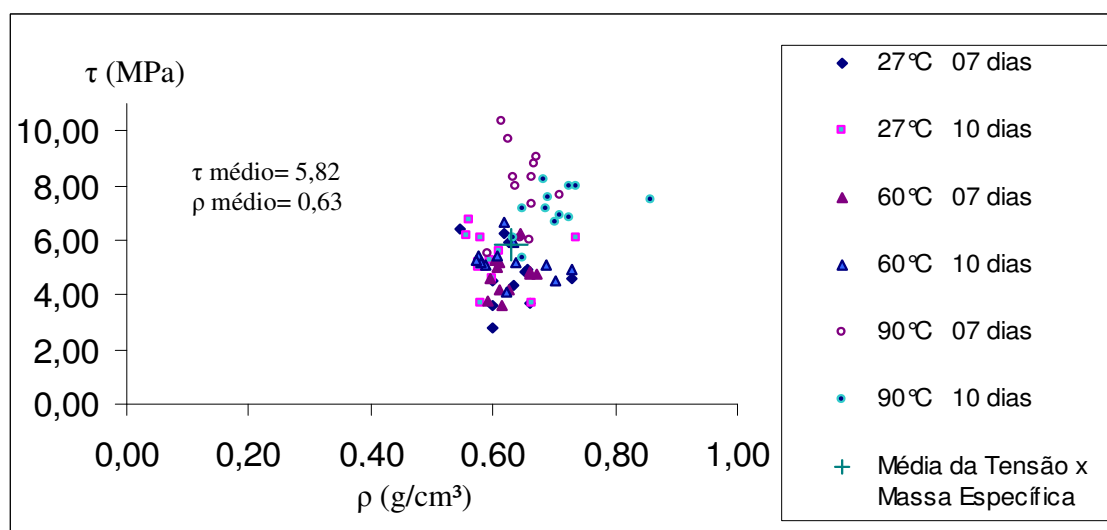


Figura 42 – Relação entre a tensão de cisalhamento (τ) com a massa específica (ρ) com os corpos-de-prova na temperatura de 27°C e τ obtido no ensaio de cisalhamento na temperatura de 27°C, 60°C e 90°C de CP's de *Eucalyptus grandis*

As Figuras 43, 44 e 45 mostram as relações encontradas entre a massa específica (ρ) obtidas na temperaturas de 60°C. A τ média na temperatura de 27°C foi de 5,00 MPa e a ρ média ficou em 0,58 g/cm³ (Figura 43). A τ média na temperatura de 60°C foi de 4,96 MPa e a ρ média ficou em 0,60 g/cm³ (Figura 44). A τ média da temperatura de 90°C foi de 7,50 MPa e a ρ média

ficou em $0,66 \text{ g/cm}^3$ (Figura 45). A média das três temperaturas (Figura 46) para τ foi em $5,82 \text{ MPa}$ e para a ρ foi de $0,61 \text{ g/cm}^3$. A ρ não afetou os valores da τ .

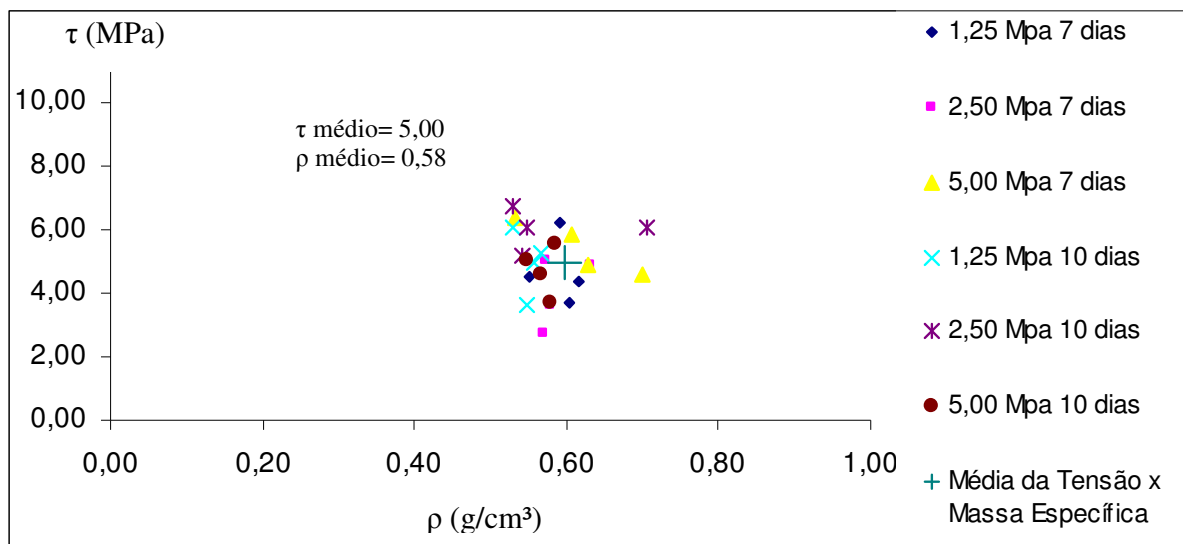


Figura 43– Relação entre a tensão de cisalhamento (τ) com a massa específica (ρ) com os corpos-de-prova na temperatura de 60°C e τ obtido no ensaio de cisalhamento na temperatura de 27°C de CP's de *Eucalyptus grandis*.

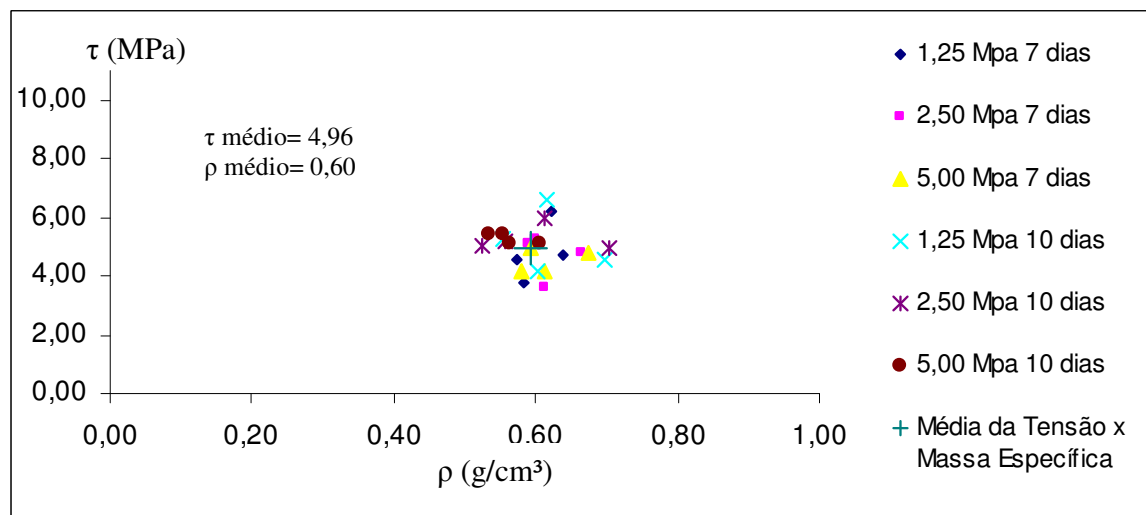


Figura 44 – Relação entre a tensão de cisalhamento (τ) com a massa específica (ρ) com os corpos-de-prova na temperatura de 60°C e τ obtido no ensaio de cisalhamento na temperatura de 60°C de CP's de *Eucalyptus grandis*

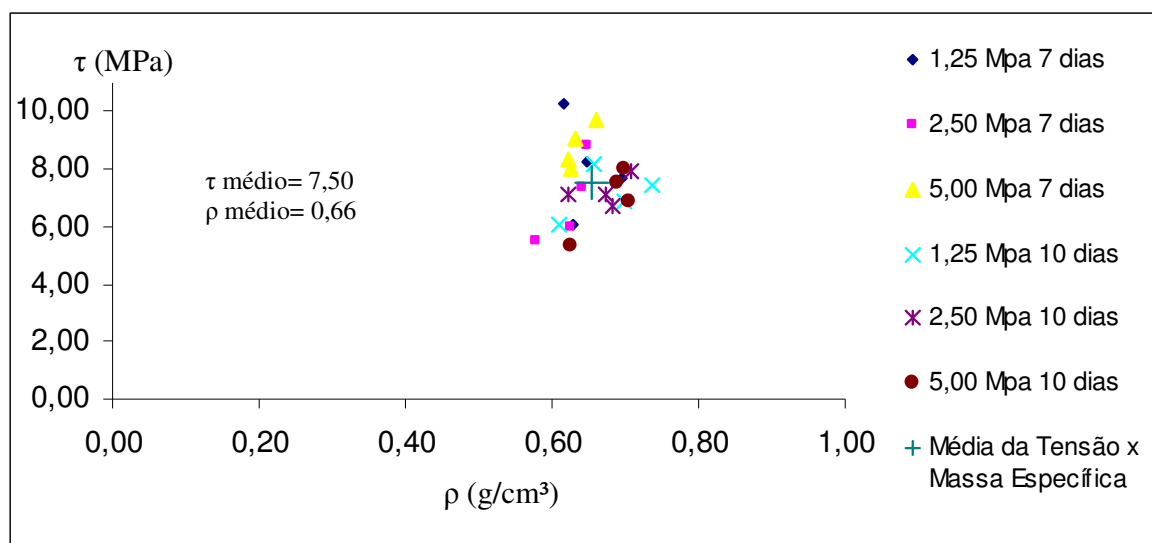


Figura 45 – Relação entre a tensão de cisalhamento (τ) com a massa específica (ρ) com os corpos-de-prova na temperatura de 60°C e τ obtido no ensaio de cisalhamento na temperatura de 90°C de CP's de *Eucalyptus grandis*

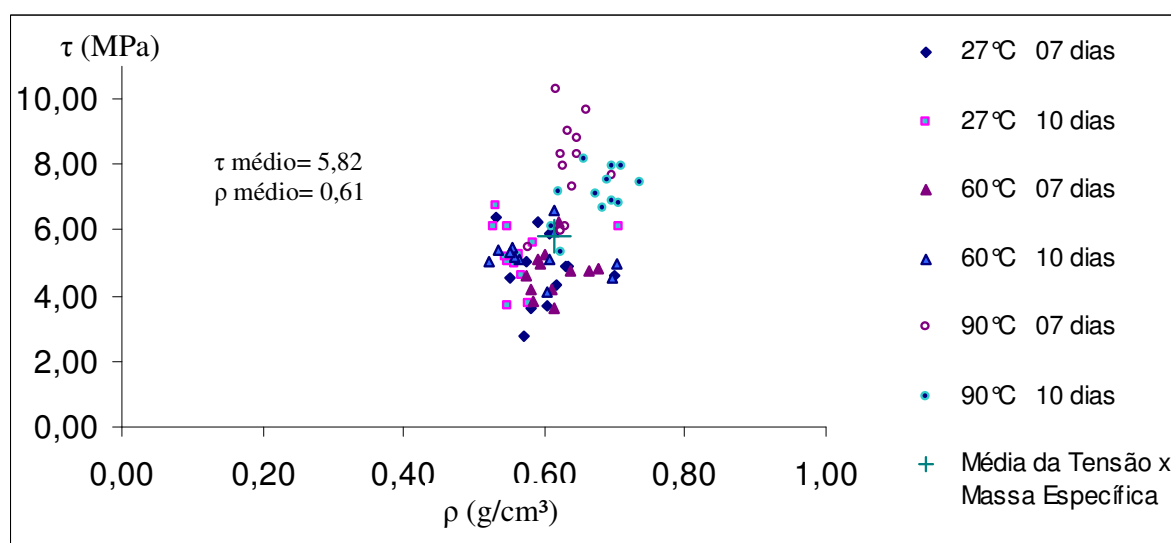


Figura 46 – Relação entre a tensão de cisalhamento (τ) com a massa específica (ρ) com os corpos-de-prova na temperatura de 60°C e τ obtido no ensaio de cisalhamento na temperatura de 27°C, 60°C e 90°C de CP's de *Eucalyptus grandis*

As Figuras 47, 48 e 49 mostram as relações encontradas entre a massa específica (ρ) obtidas na temperaturas de 90°C. A τ média na temperatura de 27°C foi de 5,00 MPa e a ρ média ficou em 0,58 g/cm³ (Figura 47). A τ média na temperatura de 60°C foi de 4,96 MPa e a ρ média ficou em 0,59 g/cm³ (Figura 48). A τ média da temperatura de 90°C foi de 7,50 MPa e a ρ média

ficou em 0,64 g/cm³ (Figura 49). A média das três temperaturas (Figura 50) para τ foi em 5,82 MPa e para a ρ foi de 0,60 g/cm³. A ρ não afetou os valores da τ .

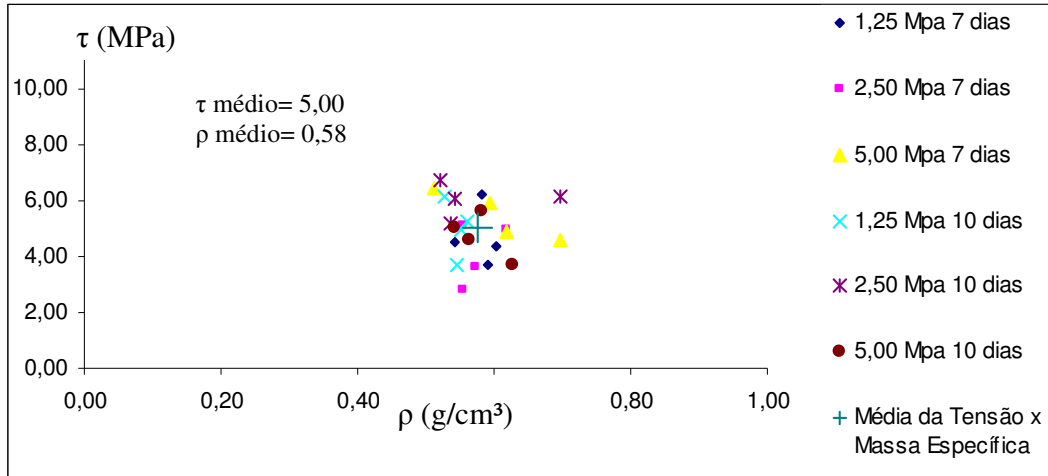


Figura 47 – Relação entre a tensão de cisalhamento (τ) com a massa específica (ρ) com os corpos-de-prova na temperatura de 90°C e τ obtido no ensaio de cisalhamento na temperatura de 27°C de CP's de *Eucalyptus grandis*

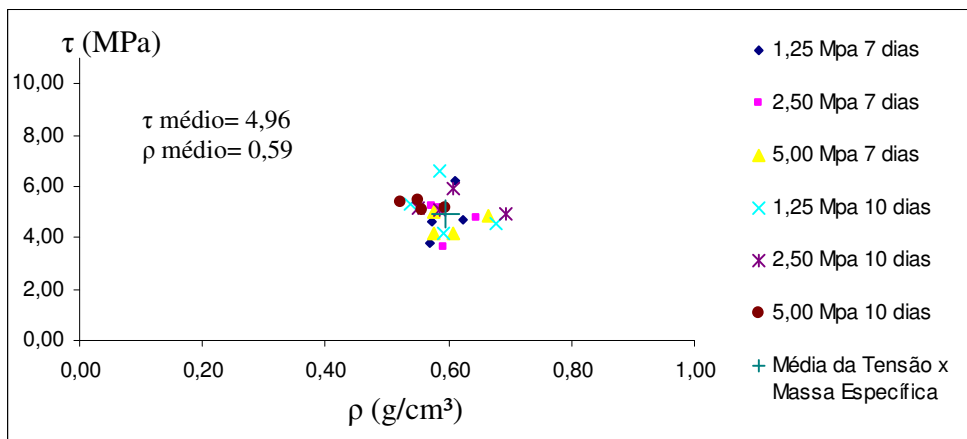


Figura 48 – Relação entre a tensão de cisalhamento (τ) com a massa específica (ρ) com os corpos-de-prova na temperatura de 90°C e τ obtido no ensaio de cisalhamento na temperatura de 60°C de CP's de *Eucalyptus grandis*

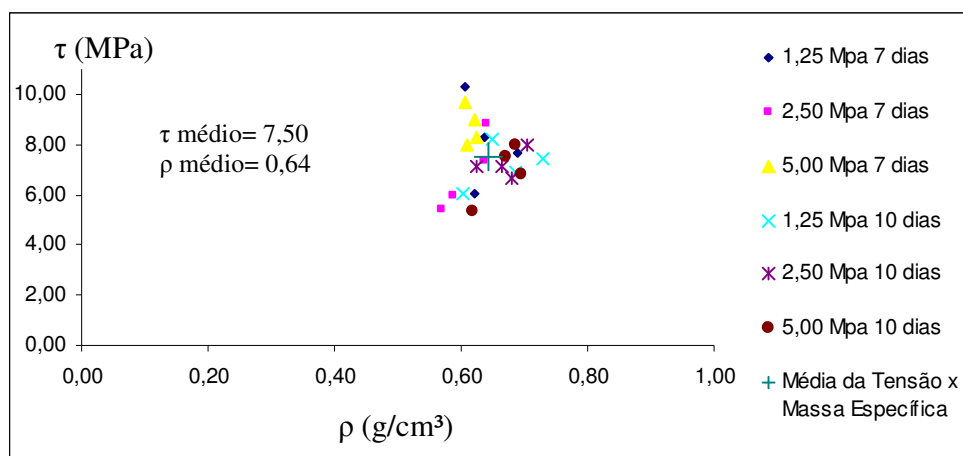


Figura 49 – Relação entre a tensão de cisalhamento (τ) com a massa específica (ρ) com os corpos-de-prova na temperatura de 90°C e τ obtido no ensaio de cisalhamento na temperatura de 90°C de CP's de *Eucalyptus grandis*

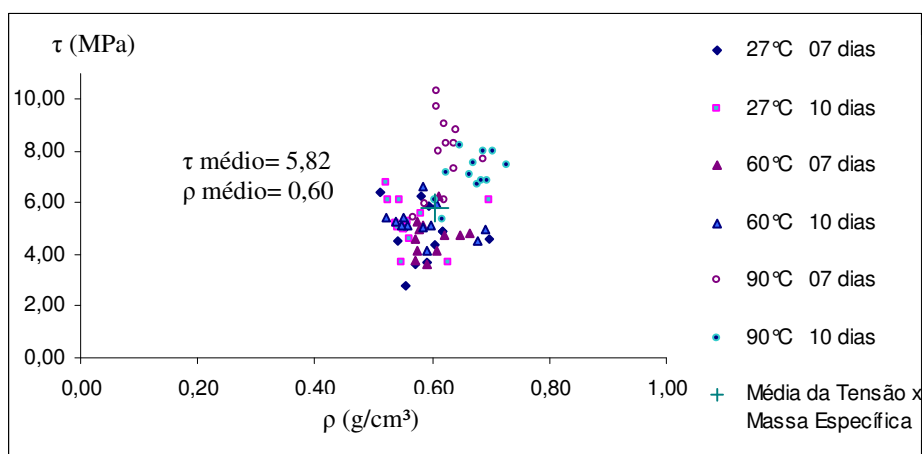


Figura 50 – Relação entre a tensão de cisalhamento (τ) com a massa específica (ρ) com os corpos-de-prova na temperatura de 90°C e τ obtido no ensaio de cisalhamento na temperatura de 27°C, 60°C e 90°C de CP's de *Eucalyptus grandis*

Os gráficos demonstram que não há influência da massa específica (ρ) nos valores obtidos na tensão de cisalhamento (τ).

A análise do gráfico (Figura 51) mostra que não há influência da umidade (U) nos valores obtidos na tensão de cisalhamento (τ).

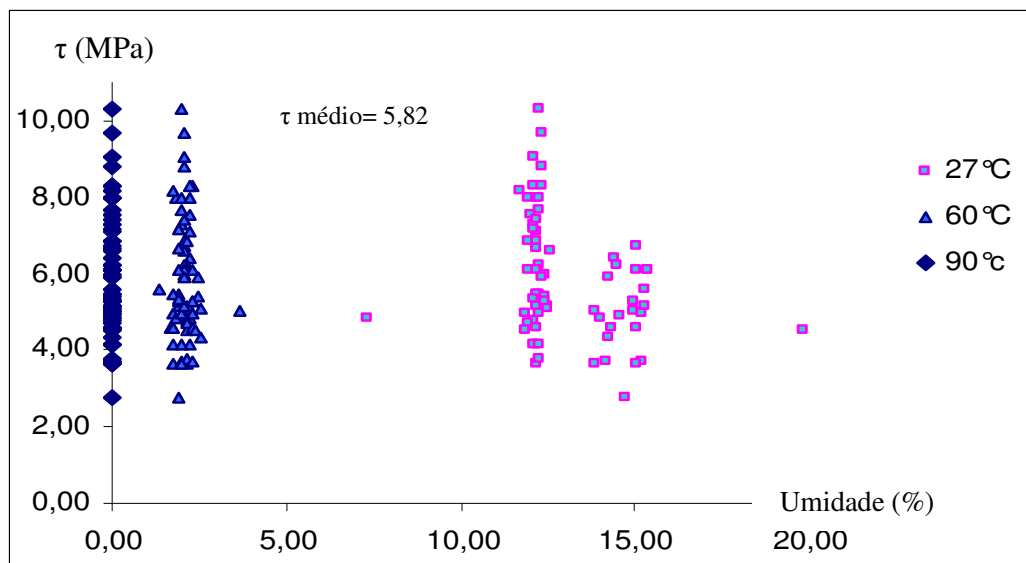


Figura 51 – Relação entre a tensão de cisalhamento (τ) com a umidade (U) para os CP's de *Eucalyptus grandis*

5 Conclusões

Após as análises dos resultados obtidos para a determinação do τ na união de peças de madeira de *Eucalyptus grandis* com adesivo sem solvente, conclui-se que:

- Os valores de τ não sofrem influência das pressões de 1,25, 2,50 e 5,00 MPa nem do tempo em que os corpos-de-prova ficaram sob a ação das pressões (7 e 10 dias);
- Dentre todas temperaturas utilizadas, a que recebeu maior destaque foi a de 90°C. As demais são, estatisticamente, iguais;
- A massa específica (ρ) média da madeira utilizada variou de 0,58 a 0,68. A variação deu-se em razão dos valores da tensão de cisalhamento (τ);
- A umidade (U) não influenciou nos valores obtidos da tensão de cisalhamento (τ);
- A tensão de cisalhamento (τ) foi influenciada mais pelo adesivo do que pelas propriedades da madeira;
- Não há influência da massa específica (ρ) e da umidade (U) nos valores obtidos da tensão de cisalhamento (τ);
- As pressões de 1,25 MPa e 5,00MPa influenciam os valores da tensão de cisalhamento (τ) nos tempo de 7 e 10 dias. A pressão de 2,50 MPa influencia a τ somente no tempo de 10 dias;
- Apesar da variabilidade a ρ e a U não influenciam no τ .

REFERÊNCIAS

ABRAHÃO, C. P. **Efeito da redução da área colada no comportamento de vigas e colunas de madeira laminada de *Eucalyptus grandis***. 2001. 61p. Dissertação (Mestrado em Ciência florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001.

ABRAHÃO, C.P.; VARELLA, C.A.A.; PINTO, F.A.C.; JÚNIOR, J.K.K. Quantificação da falha na madeira em juntas coladas utilizando técnicas de visão artificial. **Revista Árvore**, Viçosa, v.27, n.1, p.71-78, 2003.

ADESPEC. Disponível em: <<http://www.adespec.com.br>>. Acesso em: 01 out. 2004.

ALBA ADESIVOS (Manual ForMar). **Treinamento e formação de marceneiros**. São Paulo: 2000. p.4.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190**: Projeto de Estruturas de Madeira. Rio de Janeiro, 1996, p.132-187.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Annual book of ASTM standards**: adhesives. Washington, 1994. 608 p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Annual Book of ASTM Standards**: adhesives. West Coshohocken, 2000. 600 p.

BENEVENTE, V.A. **Durabilidade em Construções de Madeira**: uma questão de projeto.1995. 231p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1995.

BITTENCOURT, R. M.; DOMICIANO, L. C. Eucalipto aplicado na construção civil: processo de beneficiamento. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRA E EM ESTRUTURA DE MADEIRA, 6.,1998, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: UFSCLEE, 1998.p. 361-372.

BOHN, A. R. **Influência da espessura das lâminas de cola na madeira laminada colada**. 1995. 68 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1995.

BRASIL INOVADOR: O DESAFIO EMPREENDEDOR. 40 histórias de sucesso de empresas que investem em inovação. Brasília : IEL – NC, 2006. p. 41.

BREMER, C. F. **Glulam**. Disponível em:<<http://messages.to/glulam>>. Acesso em: 17 mar. 2003.

CARRASCO, E. V. M. **Ligações estruturais de madeira por adesivos**. 1984. 216p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1984.

CARRASCO, E. V. M. **Resistência, elasticidade e distribuição de tensões nas vigas retas de madeira laminada colada.** 1989. 348p. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1989.

CARRASCO, E. V. M. Estudo de caso no desenvolvimento de produtos e processos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE INDUSTRIALIZAÇÃO DA MADEIRA E PRODUTOS DE BASE FLORESTAL, 2004. Pinhais. **Trabalhos...** Pinhais, 2004. 1 CD-ROM

CARUANA, R. Mercado da construção civil. In: SEMINÁRIO SOBRE PROCESSAMENTO E UTILIZAÇÃO DE MADEIRAS DE REFLORESTAMENTO, 3., 1994. Curitiba. **Anais...** Curitiba, 1994. p. 13-14. 1 CD-ROM

COSTA, D.L. Avaliação de ligações adesivas à base de resorcinol em madeiras de pinus. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 9., 2004. Cuiabá. **Anais...** Cuiabá, 2004. p.191.

DAWSON, L. Industrial Revolution. **The Architectural Review**, New York, v. 207, n. 1235, p. 52-55, 2000.

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

DELLA LUCIA, R.M.; VITAL, B. R. Ensaio de adesão das madeiras de *Eucalyptus gummifera*, *E. paniculata* e *E. resinifera*. **Revista Árvore**, Viçosa, v.13, n. 1, p. 98-106, 1989.

EBY, R. E. Structural finger-jointing criteria and performance. **Journal of the Structural Division**, Asce, v.94, n. 3, p. 657-669, 1968.

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

FREAS, A. D.; SELBO, M. L. **Fabrication and design of glued laminated wood structural members.** United States Department of Agriculture, 1954. p. 88.

FREITAS, L. C. **A baixa produtividade e o desperdício no processo de beneficiamento da madeira:** um estudo de caso. 2000. 147 p. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC. Florianópolis, 2000.

GESUALDO, F.A.R. **Estruturas de madeira.** Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 2003. Apostila de uso interno do curso de Engenharia Civil.

JESUS, J.M.H.; CALIL, C. C.; CHIERICE, G.O. Resistência ao cisalhamento do adesivo poliuretano à base de mamona: parâmetros de colagem. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 7., 2000, São Carlos.. **Madeira Laminada Colada:** trabalhos... São Carlos: EESC/USP, 2000. 1 CD-ROM

KIPERSTOK, A.; MARINHO, M. Ecologia industrial e prevenção da poluição: uma contribuição ao debate regional. **Bahia Análise & Dados**, Salvador, v. 10, n.4, p. 271-279, 2001.

KIPERSTOK, A. Tecnologias limpas: porque não fazer já o que certamente virá amanhã. **Revista TECBAHIA**, Salvador, v.14, n.2, p.21-28, 1999.

LIMA, L. S. Adesivos para madeira. **Revista Madeira & Móveis**, São Paulo, v. 1, n. 2, p. 80-3, 1983.

LIMA, M.F. Para vencer grandes vãos. **Revista de Tecnologia da Construção - Técnica**, São Paulo, v.2, n.11, p.15-17, 1994.

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

MACÊDO, A. N. **Estudo de emendas dentadas em madeira laminada colada**: calibração de método de ensaio. 1996. 113 p. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1996.

MACEDO, A. N.; CALIL, C. C. **Estudo de emendas dentadas em madeira laminada colada (MLC)**: avaliação de método de ensaio – NBR 7190/1997, 1999 n. 7. p. 1-23. Apostila de uso interno do curso de Engenharia de Estruturas. São Carlos: Universidade de São Paulo.

MARRA, G.G. The role of adhesion and adhesives in the wood products industry. In: SYMPOSIUM ON WOOD ADHESIVES RESEARCH, APPLICATION AND NEEDS, 1980, Madison. **Proceedings**. Madison: Forest Products Laboratory, 1980. p.1-8.

MARRA, A.A. **Technology of wood bonding**: principles and practice. New York: Van Nostrand Reinhold, 1992. 454 p.

MASCARÓ, J. L.; MASCARÓ, L. **Incidências das variáveis projetivas e de construção no consumo energético dos edifícios**. 2 ed. Porto Alegre: Sagra – DC Luzzatto Editores, 1992. 210 p.

MELO, J.E. **Curso de estruturas de madeira**. Brasília: Laboratório de Produtos Florestais. IBDF, 1988. Não paginado.

MELO, A. V.; CARRASCO, E. V. M. Análise de adesivos em madeira laminada colada. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 10., 2004. Cuiabá. **Madeira Laminada Colada: trabalhos...** Cuiabá: EdUFMTU, 2004. 1 CD-ROM.

MOODY, R. C.; HERNANDEZ, R. A guide for specifiers, designers and users. In: ENGINEERED WOOD PRODUCTS. Madison, 1997, Wisconsin. **Chapter 1 Glued-Laminated Timber...** Wisconsin: PFS Research Foundation, 1997 p. 1-39, 1997.

MORAES, D. P.; BOCQUET, J. F.; ROGAUME, Y.; TRIBOULOT, P. Influência da temperatura sobre as ligações em estruturas de madeira. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 9., 2004, Cuiabá. **Ligações: trabalhos...** Cuiabá: EdUFMTU, 2004. 1 CD-ROM

MORI, F.A.; MENDES, L. M.; MORI, C.L.S.O.; SIQUEIRA, D. Colagem com adesivo termofixo fenol-formaldeído em três diferentes substratos de madeira. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 10., 2006, São Pedro. **Ligações: trabalhos...** São Carlos: IBRAMEM, 2006. 1 CD-ROM.

NASCIMENTO, A. M.; LELIS, R.C.C.; COSTA, D. L.; OLIVEIRA, C. S. Comportamento de ligações adesivas em madeiras de reflorestamento. **Revistas Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 9, n. 1, p. 54-62, 2002.

NASCIMENTO, A. M.; LELIS, R.C.C.; COSTA, D. L.; OLIVEIRA, C. S. Comportamento de vigas retas em MLC e com emendas de topo e bisel. **Revistas Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 10, n. 2, p. 19-29, 2003.

NASCIMENTO, A. M.; LUCIA, R. M. D.; BAETA, F. C. Comportamento de vigas retas em MLC com emendas de topo e bisel. **Revista Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v.9, n.1, p.63 – 71, 2002.

NASCIMENTO, A. M.; LUCIA, R. M. D.; VITAL, B. R. Colagem de emendas biseladas em madeiras de *Pinus* spp. e *Eucalyptus citriodora*. **Revista Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v.8, n.1, p.44 – 51, 2001.

NASCIMENTO, M.F.; MORALES, E.A.M.; LAHR, F.A.R.; CHRISTOFORO, A.; CARVALHO, A. Fabricação de chapas de OSB (Oriented Strand Board) com madeiras nativas oriundas do NE do Brasil. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 10., 2006, São Pedro. **Produtos derivados e Aproveitamento de resíduos: trabalhos...** São Carlos: IBRAMEM, 2006. 1 CD-ROM

NOCK, H.P.; RICHTER, H.G. **Adesão e adesivos**. Curitiba: UFPR, 1978, 84p.

NOGUEIRA, M. C. S. **Estatística experimental aplicada à experimentação agrônômica**. Piracicaba: Universidade de São Paulo / ESALQ, 1997. 250 p.

NOGUEIRA, M. C. J. A.; LAHR, F. A. R. Indicações para o emprego de dezesseis espécies de *Eucalyptus* na construção civil. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 4., 1992, São Carlos. **Anais...** São Carlos: LaMEM-EESC-USP, 1992.

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

PETRAUSKI, A.; DELLA LUCIA, R.M. Desempenho de juntas coladas de *Eucalyptus grandis* em função de diferentes níveis de pressão, consumo de cola e número de faces de aplicação do adesivo. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRA E EM ESTRUTURA DE MADEIRA, 6., 1998, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: UFSC; LEE, 1998. p. 304-311.

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: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 9., 2004, Cuiabá. **Madeira Laminada Colada: trabalhos...** Cuiabá, 2004. p.219.

PIGOZZO, J.C.; PLETZ, E.; LAHR, F.A.R. Aspectos da classificação mecânica de peças estruturais de madeira. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 7., 2000, São Carlos. **Características: trabalhos...** São Carlos: EESC/USP, 2000. 1 CD-ROM.

PIMENTA, A. S., GANE, F. R., ARAÚJO, S. O., VITAL, B. R. Adesivos à base de creosoto vegetal desmetilado: efeito dos compostos não fenólicos na eficiência da colagem de madeira. **Revista Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v.9, n.1, p.01 – 08, 2002.

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

PRAVIA, Z.M.C.; VECCHIA, A.F.D.; PANDOLFO, L.M.; GHELEN, J.; PANDOLFO, A.. Estudo experimental de produção de vigas laminadas e coladas na região do planalto do rio grande do sul. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 10., 2004, Cuiabá. **Madeira Laminada Colada: trabalhos...** Cuiabá: EdUFMTU, 2004. p.211.

RADAIK, C.E.; ZANGIÁCOMO, A.L.; LAHR, F.A.R.; DIAS, A.A. Caracterização de espécies alternativas de madeira para emprego em estruturas. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 7., 2000. **Características: trabalhos...** São Carlos: EESC/USP, 2000. 1 CD-ROM.

RAMPAZZO, S.E.; SPONCHIADO, M. O uso da madeira de reflorestamento na construção civil com enfoque na habitação. **Revista de Pesquisa e Pós-Graduação**, Erechim, v.1, n.1, p. 131-148, 2000.

RIBEIRO, A.C.; CALDEIRA V. Casas do Brasil – Residência Percival Deimann. **Revista Arquitetura e Urbanismo**, São Paulo, v. 10, n. 84, p. 56-58, 1999.

RITTER, M. A. **Timber Bridges – Design, construction, inspection and maintenance**. Washington: United States Department of Agriculture, 1992. 944p.

RODRIGUES, R.A.D.; FRANCO N. Avaliação das propriedades físicas e mecânicas de lotes de madeira serrada de eucalipto, utilizadas na construção civil. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 7., 2000. São Carlos. **Características: trabalhos...** São Carlos: EESC/USP, 2000. 1 CD-ROM.

SALES, A. **Proposição de classes de resistência para madeira**. 1996. 223p. Tese (Doutorado em Engenharia) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

SALES, A.; LAHR, F. A. R. Características de resistência mecânica da madeira de eucalipto cultivada no estado de São Paulo. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 4., 1992, São Carlos. **Anais...** São Carlos: LaMEM-EESC-USP, 1992. 1 CR

SELBO, M.L. Adhesive bonding of wood. **Technical bulletin**. New York, n. 1512,p.1-122, 1975.

SILVA, V. Metal e Madeira. **Revista Arquitetura e Urbanismo**. São Paulo, v. 16, n. 90, p. 32-36, 2000.

SILVA, D. A.; IWAKIRI, I. T. S; TOMASELLI, I. Influência da umidade na resistência da linha de cola e estabilidade dimensional do compensado utilizando resina de alta reatividade. **Revista Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 54, 1998. p. 69-80.

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

STUMPP, E. **Madeira**: estudos tecnológicos. São Paulo: Gráfica Unisinos, 1997. Não paginado.

SUNLEY, J.; BEDDIN B. **Timber in Construction**. London: B. T. Batsford/Timber Research and Development Association,1985. 75 p.

SZÜCS, C. A. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE MADEIRAS E ESTRUTURAS DE MADEIRAS, 4., 1998, Florianópolis. Florianópolis: UFSC, 1998. Palestra.

TEIXEIRA, M.G.; CÉSAR, S.F. Produção de compósito com resíduo de madeira no contexto da ecologia industrial. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 10., 2006, São Pedro. **Produtos derivados e Aproveitamento de resíduos: trabalhos...** São Carlos: IBRAMEM, 2006. 1 CD-ROM.

TOMASELLI, I. **Secagem de madeira**. Curitiba: FUPEF, 1980. 69p.

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

ZANGIÁCOMO, A.L. **Emprego de espécies tropicais alternativas na produção de elementos estruturais de madeira laminada colada**. 2003. 78 p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Carlos. São Carlos, 2003. 1 CD-ROM.

ZANGIÁCOMO, A.L; LAHR, F.A.R. Emprego de espécies tropicais alternativas na produção de elementos estruturais de madeira laminada colada. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 10., 2004, Cuiabá. **Madeira Laminada Colada**: trabalhos... Cuiabá: EdUFMTU, 2004. 1 CD-ROM.