

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
CAMPUS EXPERIMENTAL DE ITAPEVA

MARCELLUS SILVEIRA DA SILVA

**ANÁLISE DO DESEMPENHO FÍSICO-MECÂNICO DE
PAINÉIS COMPENSADOS DE *Pinus sp.* PRODUZIDOS COM
ADESIVOS AQUOSOS A BASE DE POLIACETATO DE
VINILA E DE HOMOPOLÍMERO VINÍLICO**

Itapeva - SP
2011

MARCELLUS SILVEIRA DA SILVA

**ANÁLISE DO DESEMPENHO FÍSICO-MECÂNICO DE
PAINÉIS COMPENSADOS DE *Pinus sp.* PRODUZIDOS COM
ADESIVOS AQUOSOS A BASE DE POLIACETATO DE
VINILA E DE HOMOPOLÍMERO VINÍLICO**

Trabalho de Graduação apresentado no Campus Experimental de Itapeva - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", como requisito para a conclusão do curso de Engenharia Industrial Madeireira.

Orientador: Prof^a. Dr^a. Cristiane Inácio de Campos.

Itapeva - SP
2011

FICHA CATALOGRÁFICA

Silva, Marcellus Silveira da Silva

S586a Análise do desempenho físico-mecânico de painéis compensados de *Pinus sp.* produzidos com adesivos aquosos a base de poliacetato de vinila e de homopolímero vinílico / Marcellus Silveira da Silva – – Itapeva, 2011
84 f.: il. 30 cm

Trabalho de Graduação do Curso Engenharia Industrial
Madeira apresentado ao Campus Experimental de Itapeva –
UNESP, 2011

Orientador: Prof^a. Dr^a. Cristiane Inácio de Campos
Banca examinadora: Prof. Dr. José Cláudio Caraschi; Prof. Dr.
Natal Nerímio Regone
Inclui bibliografia

1. Painéis de madeira. 2. Compensados de madeira. 3. Adesivos. I.
Título. II. Itapeva - Curso de Engenharia Industrial Madeira.

CDD 674.83

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
CAMPUS EXPERIMENTAL DE ITAPEVA

**ANÁLISE DO DESEMPENHO FÍSICO-MECÂNICO DE
PAINÉIS COMPENSADOS DE *Pinus sp.* PRODUZIDOS COM
ADESIVOS AQUOSOS A BASE DE POLIACETATO DE
VINILA E DE HOMOPOLÍMERO VINÍLICO**

MARCELLUS SILVEIRA DA SILVA

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO
COMO PARTE REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE
GRADUADO EM ENGENHARIA INDUSTRIAL MADEIREIRA

APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO
DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA INDUSTRIAL MADEIREIRA

Prof. Dr. José Cláudio Caraschi
Coordenador de Curso

BANCA EXAMINADORA:

Prof^ª. Dr^ª. Cristiane Inácio de Campos
Orientador – Campus Experimental de Itapeva/UNESP

Prof. Dr. José Cláudio Caraschi
Campus Experimental de Itapeva/UNESP

Prof. Dr. Natal Nerímio Regone
Campus Experimental de Itapeva/UNESP

Dedico esse trabalho aos meus pais, Acir Machado da Silva e Marleni Silveira da Silva e meu irmão, Márcio Silveira da Silva.

AGRADECIMENTOS

A Deus por me dar saúde, ter abençoado e iluminados meus passos em mais uma conquista na minha vida.

Ao meu pai, minha mãe e meu irmão pela a dedicação, força, carinho e amor por todos esses anos de minha vida.

À prof^a. Cristiane por toda a dedicação e paciência em minha formação e no desenvolver deste trabalho.

Ao Brito pela ajuda na obtenção dos corpos de provas e realização dos ensaios físicos e mecânicos.

Aos técnicos Alex, Valdecir e Thiago pela ajuda no processamento das lâminas e dos painéis.

Ao Bruno Santos Ferreira pela ajuda na produção dos painéis, na obtenção, preparação dos corpos de prova e na realização dos ensaios.

À empresa Miraluz Ltda. e ao sr. Rafael Bobato pela colaboração com a doação das lâminas, e também aos seus funcionários Anderson e Marcelo.

À empresa Artecola Ltda. e ao sr. Roberto Moutinho pela colaboração com a doação dos adesivos.

Ao Prof.IVALDO e Richard pela disponibilidade de utilização do laboratório e auxílio na produção dos painéis.

Aos meus familiares por todo incentivo e carinho.

A todos os meus amigos, em especial sr. Antônio Bueno (*in memorian*), Marcos Antônio Bueno e Márcio Moralis Bueno, por todos esses anos de convívio e incentivo.

Aos professores e funcionários da faculdade pelos ensinamentos, dedicação e paciência.

Aos colegas pelo companheirismo e convívio durante a graduação.

“O sucesso é uma consequência e não um objetivo”

Gustave Flaubert

RESUMO

Este trabalho teve por finalidade avaliar o desempenho físico-mecânico de três formulações de adesivo PVA através das normas brasileiras para ensaios em compensados e avaliar os valores obtidos com os presentes em literaturas relacionadas e especificados em documentos normativos. O trabalho apresenta o processo produtivo dos painéis, obtenção de corpos de prova e, finalmente, a realização de ensaios de caracterização física e mecânica com base em normas brasileiras de compensado. Para a produção dos painéis utilizou-se gramatura de 120 g/m² e na prensagem aplicou-se pressão de 15 bars e duas combinações de temperatura e tempo de prensagem para cada adesivo. Foram utilizados os adesivos comerciais PVA 1810, PVA 1060 e Vinyltec 239. Os ensaios físicos realizados foram de inchamento em espessura, massa específica aparente, teor de umidade e absorção de água. E os ensaios mecânicos foram à flexão estática, para a determinação de módulo de elasticidade (MOE) e módulo de ruptura (MOR) e o cisalhamento na linha de cola. Dentre as três formulações estudadas nenhuma apresentou bom desempenho em presença de água. Porém, nos demais ensaios realizados o adesivo que apresentou melhor resultado e mais próximo do equivalente comercialmente utilizado, no caso a uréia-formaldeído, foi o PVA 1810, podendo ser utilizado em usos não estruturais e ambientes sem presença de umidade.

Palavras-chave: Adesivo. Compensado. *Pinus sp.* Caracterização físico-mecânica.

ABSTRACT

This study aimed to evaluate the physico-mechanical performance of three PVA adhesive formulations according to the Brazilian standards for plywood testing and to evaluate the results with those presented in the technical literature and specified in normative documents. The study presents the production process of the panels, the obtaining of samples and, finally, the implementation of physico-mechanical characterization tests based on plywood Brazilian standards. For the panels production it was used a gramature of 120 g / m² and applied a pressure of 15 bars and two temperature combinations and pressing time for each adhesive. The commercial adhesives used were PVA 1810, PVA 1060 and Vinyltec 239. The physical tests conducted were thickness swelling, density, moisture content and water absorption. The mechanical tests were static flexion, for the determination of elasticity modulus (MOE) and rupture modulus (MOR), and shear in the glue line. Among the three formulations studied none showed good performance in the presence of water. However, other trials in the adhesive showed better results and closer to the commercially equivalent used, in the case the urea-formaldehyde, was the PVA 1810, that can be applied in non-structural uses and in environments without the presence of moisture.

Keywords: Adhesive. Plywood. *Pinus sp.* Characterization physico-mechanical.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Classificação dos painéis de madeira reconstituída	17
FIGURA 2 – Classificação dos painéis de madeira por tamanho de partícula, densidade e processo de fabricação	18
FIGURA 3 – Posicionamento das lâminas no compensado	19
FIGURA 4 – Movimentação sequencial do adesivo na formação da linha de cola	21
FIGURA 5 – Processo de fabricação do compensado	28
FIGURA 6 – Diferentes qualidades superficiais das lâminas	30
FIGURA 7.A – Esquadrejamento da lâmina	36
FIGURA 7.B – Lâmina nas dimensões desejadas	36
FIGURA 8.A – Lâmina classificada como isenta de defeitos	37
FIGURA 8.B – Lâmina com nós e pequenas rachaduras.....	37
FIGURA 9.A – Balança analítica utilizada para a pesagem dos adesivos	37
FIGURA 9.B – Copo plástico descartável utilizado para separação da quantidade de cola necessária para cada camada	37
FIGURA 10 – Grupos de lâminas separadas, ordenadas e nomeados após a pesagem antes da aplicação do adesivo	39
FIGURA 11 – (A) Aplicação do adesivo. (B) Lâmina com o mesmo aplicado	39
FIGURA 12 – Painel montado antes da etapa da prensagem.....	40
FIGURA 13 – (A) Prensa. (B) Painel do equipamento. (C) Painel dentro da prensa	40
FIGURA 14 – (A) Vista superior do painel montado após processo da prensagem. (B) Vista lateral do painel após prensagem.....	41
FIGURA 15 – Corpos de prova para ensaio de inchamento	43
FIGURA 16 – (A) Corpos de prova após secagem em estufa. (B) Estufa utilizada para realização dos ensaios.....	44
FIGURA 17 – Corpos de prova para análise de teor de umidade	45
FIGURA 18 – Pesagem do corpo de prova.....	47
FIGURA 19 – Corpos de prova para determinação da absorção de água	48
FIGURA 20 – Corpos de prova para análise de teor de umidade	48

FIGURA 21 – Corpos de prova paralelo e perpendicular às fibras, para a determinação da resistência a flexão estática.....	49
FIGURA 22 – Arranjo esquemático do posicionamento do corpo de prova na máquina de ensaio	50
FIGURA 23 – Momento da realização do ensaio de flexão estática	51
FIGURA 24 – Exemplo do relatório gerado no ensaio de flexão estática perpendicular para os corpos de prova da situação 1. Em destaque os valores finais do MOE.....	53
FIGURA 25 – Ilustração dos sulcos para realização do ensaio.....	54
FIGURA 26 – Ilustração do ensaio de cisalhamento na linha de cola.....	54
FIGURA 27 – Exemplo do relatório gerado no ensaio de cisalhamento na linha de cola para os corpos de prova da situação 1	55
FIGURA 28 – Corpo de prova parcialmente (esquerda) e completamente (direita) delaminado.....	56
FIGURA 29 – Corpos de prova após ensaio de flexão estática	62

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Produção Nacional Anual – Produtos Madeireiros – Compensado...	13
TABELA 2 – Descrição dos painéis produzidos a partir do tipo de adesivo utilizado, tempo de prensagem e temperatura	34
TABELA 3 – Dados técnicos dos adesivos	35
TABELA 4 – Quantidade real de adesivo por painel	42
TABELA 5 – Resultados do ensaio de teor de umidade	57
TABELA 6 – Valores médios de teor de umidade dos compensados – comparação entre compensados prensados com diferentes adesivos	57
TABELA 7 – Resultados do ensaio de massa específica aparente.....	58
TABELA 9 – Resultados do ensaio de absorção de água.....	59
TABELA 10 – Valores médios de absorção de água dos compensados – comparação entre compensados prensados com diferentes adesivos	60
TABELA 11 – Resultados do módulo de ruptura para ensaio de flexão estática .	60
TABELA 12 – Resultados do módulo de elasticidade para ensaio de flexão estática.....	61
TABELA 13 – Valores médios de MOR e MOE na flexão estática - comparação entre compensados prensados com diferentes adesivos.....	62
TABELA 14 – Resultados do ensaio de cisalhamento na linha de cola	63
TABELA 15 – Valores médios de tensão de ruptura e falha na madeira - comparação entre compensados prensados com diferentes adesivos	64

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
2. OBJETIVOS	15
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
3.1. Painéis de Madeira Reconstituída	16
3.2. Classificação de painéis de madeira	17
3.3. Definição de compensado	18
3.4. Definição de adesivos e adesão	19
3.4.1. Características e propriedades dos adesivos	19
3.4.2. Fatores que influenciam na colagem de madeiras	22
3.4.2.1. Características físico-químicas dos adesivos	22
3.4.2.2. Características e composição da madeira	23
3.4.2.3. Características do processo de colagem	25
3.4.2.4. Aplicações e utilizações do produto colado	26
3.4.3. Tipos de adesivos	26
3.5. Processo de produção do painel compensado	28
3.5.1. Propriedades físico-mecânicas dos painéis compensado	32
4. MATERIAIS E MÉTODOS	34
4.1. Materiais	34
4.2. Produção dos painéis	36
4.3. Caracterização físico-mecânica	42
4.3.1. Ensaio físicos	42
4.3.2. Ensaio mecânicos	47
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	54
5.1. Resultados do ensaio de inchamento	54
5.2. Resultados do ensaio de teor de umidade	54
5.3. Resultados do ensaio de massa específica aparente	55
5.4. Resultados do ensaio de absorção de água	57
5.5. Resultados do ensaio de flexão estática	58
5.7. Resultados do ensaio de cisalhamento na linha de cola	60
6. CONCLUSÃO	63
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65
APÊNDICE	69
APÊNDICE A – TABELAS DOS RESULTADOS OBTIDOS NO ENSAIO DE FLEXÃO ESTÁTICA	69
APÊNDICE B – TABELAS DOS RESULTADOS OBTIDOS NO ENSAIO DE TEOR DE UMIDADE	73
APÊNDICE C – TABELAS DOS RESULTADOS OBTIDOS NO ENSAIO DE MASSA ESPECÍFICA APARENTE	75
APÊNDICE D – TABELAS DOS RESULTADOS OBTIDOS NO ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA	78
APÊNDICE E – TABELAS DOS RESULTADOS OBTIDOS NO ENSAIO DE CISALHAMENTO NA LINHA DE COLA	80

1. INTRODUÇÃO

O setor florestal brasileiro possui expressiva participação econômica e social no país. Dentro deste setor, em um passado próximo, é perceptível um crescimento na produção de painéis constituídos de madeira, com destaque para a produção de compensado conforme demonstrado na Tabela 1.

Tabela 1 – Produção Nacional Anual – Produtos Madeireiros – Compensado.

Período	x 1000 m³
1997	1650
1998	1600
1999	2200
2000	2420
2001	2500
2002	2700
2003	3230
2004	3810
2005	3700
2006	3700
2007	2809

Fonte: Food and Agriculture Organization.

O aumento na produção dos produtos derivados da madeira vem em decorrência de alguns fatores como a falta de matéria-prima, políticas de preservação ambiental, limitações no uso de madeira maciça etc. Com isso, esses produtos apresentam vantagens como propriedades mais homogêneas, maior rendimento na produção dos mesmos, são considerados renováveis quando produzidos com matéria prima oriundas de reflorestamento, entre outras vantagens que tornam a produção viável nas condições atuais.

A produção de compensado no Brasil iniciou-se por volta dos anos 40, na região sul do país, tendo como matéria prima a *Araucaria angustifolia*, comumente conhecida como pinheiro do paraná, apresentando produção significativa na década de 70. Em consequência da falta de matéria prima, políticas de presevero o uso de madeiras nobres e/ou em extinção, o uso tornou-se restrito, sendo necessária a utilização de madeira proveniente de reflorestamento, no caso pinus e eucalipto.

Hoje em dia os compensados produzidos no país são destinados em grande parte à indústria moveleira e a construção civil, sendo também destinado em menor proporção à indústria de embalagens.

Tendo em vista a produção para exportação, esta teve um crescimento expressivo no final da década de 90 onde as exportações alcançaram 279 mil m³. O crescimento, nesta proporção, continuou ano a ano até atingir em 2 milhões de m³ em 2005, concedendo ao país o título de maior exportador mundial de compensado de *Pinus sp.* Na época, os principais compradores desses produtos foram os Estados Unidos, em maior parte, seguido pelo Reino Unido, Bélgica e Alemanha.

Considerando a produção do painel compensado, um fator de grande representatividade nos custos de produção, que será estudado neste trabalho, seria o tipo de adesivo utilizado na composição do mesmo. Atualmente a indústria de painéis utilizam uréia-formaldeído e/ou fenol-formaldeído, que são empregados de acordo com a utilização final do produto. De forma geral os adesivos representam grande porcentagem no custo total da produção dos painéis de madeira reconstituída. Além dos gastos com o próprio adesivo, os mesmos que são utilizados atualmente são potenciais poluidores necessitando de investimentos para tratamento dos efluentes gerados no processo.

É de grande importância ressaltar que os painéis fabricados com novos adesivos devem não só ser menos poluidores, mas também apresentar bons resultados em ensaios de acordo com os padrões e normas, demonstrando a mesma qualidade que os comercialmente utilizados no país e exterior.

2. OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo fundamental avaliar a viabilidade técnica de utilização de três diferentes formulações de adesivos aquosos na produção de painel compensado, comparando com seus pares empregados na fabricação atualmente. Conforme procedimentos presentes nas normas ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) para painel compensado, será feita a caracterização do material através de ensaios físicos como absorção de água, inchamento, massa específica aparente e teor de umidade, além dos mecânicos que são os ensaios de flexão estática e qualidade de colagem. A partir disso, poderão ser comparados os desempenhos físico-mecânicos dos painéis estudados com os comumente utilizados, havendo possibilidades de novas alternativas para produção do painel em questão.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Os painéis de madeira compostos por matéria-prima procedente de recursos renováveis estão sendo utilizados em larga escala devido à falta de madeira e da restrição da utilização de madeiras nativas.

Consequente, em itens separados, serão apresentados os tipos de painéis de madeira, as particularidades do painel compensado, as etapas da sua produção e as características dos adesivos assim como suas propriedades.

3.1. Painéis de madeira reconstituída

A definição de painéis de madeira segundo Iwakiri (2005) é dada como todo material composto por madeira sólida em forma de lâminas, sarrafos, partículas e fibras, reestabelecidos por ligação adesiva.

Segundo Stark *et al.* (2010), o formato e dimensão das matérias-primas na produção, variam de acordo com cada tipo de painel. Além das características da matéria-prima, a utilização final também influencia na escolha do painel e dos elementos que o compõem além da madeira, por exemplo, o adesivo a ser empregado na consolidação do mesmo.

Tendo em vista as vantagens dos painéis de madeira diante da madeira serrada, de acordo com Gonçalves (2000), os painéis de madeira em sua produção tem rendimento elevado, conseqüentemente, ocorrem menos perdas no processo. Os resíduos gerados no beneficiamento da madeira para a transformação em tábuas podem ser mecanicamente reduzidos em cavacos ou sarrafos e utilizados na produção de painéis que são formados por esse tipo de matéria-prima (GONÇALVES, 2000).

Através da consolidação da madeira em forma de painel, pode-se em determinados casos conseguir um material com melhores propriedades físico-mecânicas, que apresente dimensões mais estáveis e também com maior resistência à biodeterioração.

Conforme Iwakiri (2005), os painéis de madeira podem apresentar formas e dimensões variadas, maior homogeneidade e melhor isotropia.

3.2. Classificação de painéis de madeira

Para Iwakiri (2005) os painéis de madeira podem ser divididos em duas categorias que são os painéis laminados e particulados. Os laminados são compostos pelos painéis compensados laminados e compensados sarrafeados. Já os particulados são compreendidos pelos painéis de fibras, minerais e aglomerados. A Figura 1 apresenta a separação dos painéis a partir dos diferentes tipos de matérias-primas.

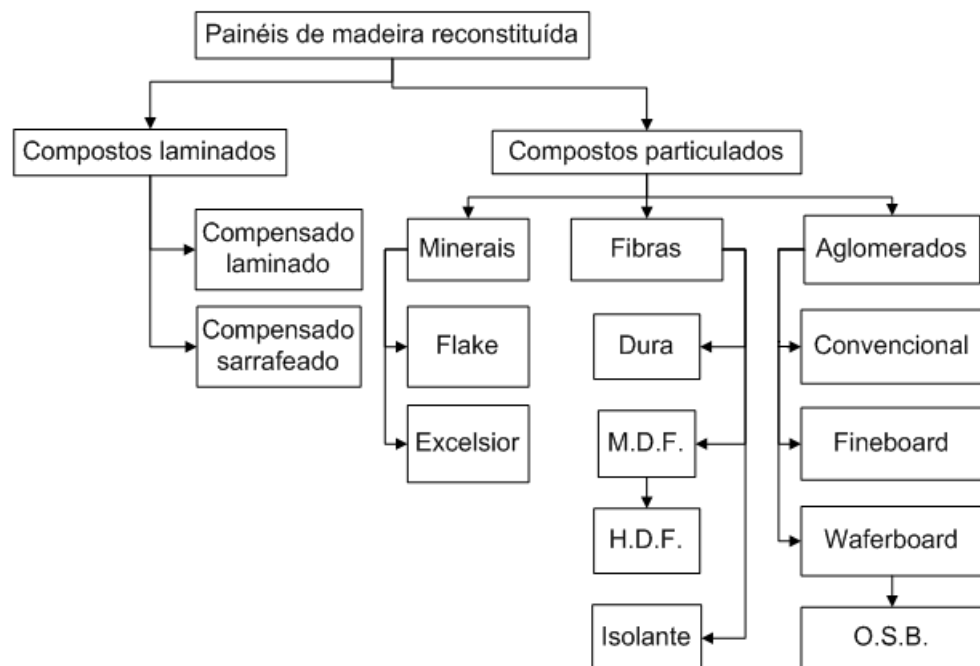


Figura 1 – Classificação dos painéis de madeira reconstituída. Fonte: IWAKIRI, 2005.

Entretanto, para Stark *et al.* (2010), a divisão dos tipos de painéis é feita em três categorias que são os particulados, os painéis de fibras e os laminados. Para os painéis particulados tem-se o OSB (oriented strandboard), os aglomerados (particleboard) e o WB (waferboard). A chapa isolante (insulation board), chapa dura (hardboard) e o painel MDF (medium density fiberboard) constituem o grupo dos painéis de fibras. E por último, os laminados são compostos pelos compensados (plywood), o LVL (laminated veneer lumber) e os sarrafeados. A Figura 2 ilustra a classificação de acordo com Stark *et al.* (2010).

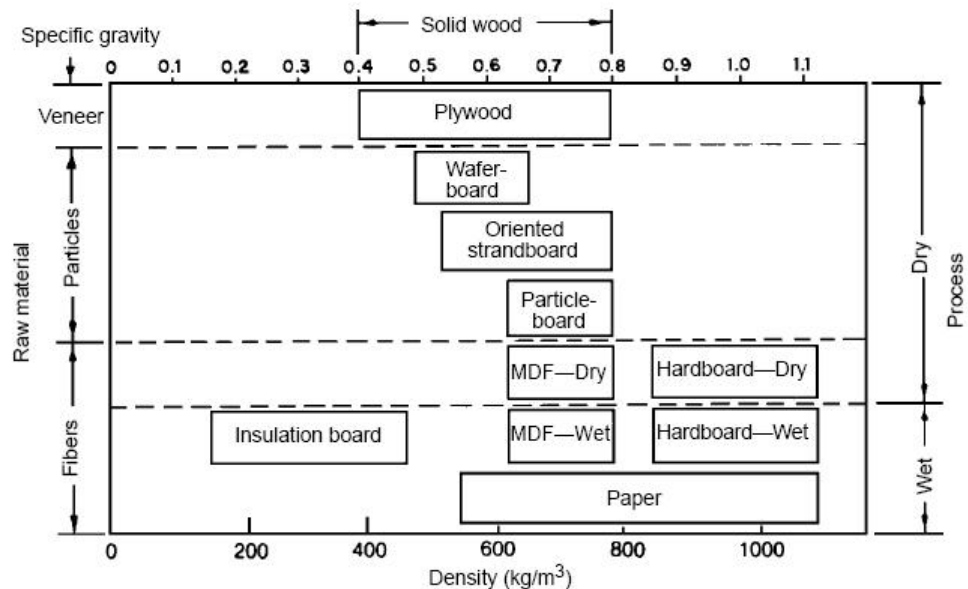


Figura 2 – Classificação dos painéis de madeira por tamanho de partícula, densidade e processo de fabricação. Fonte: STARK *et al.*, 2010.

3.3. Definição de compensado

Kollmann *et al.* (1975) define painel compensado como lâminas unidas através de adesivo, onde o sentido da grã de cada lâmina possui defasagem de noventa graus em relação às lâminas adjacentes.

Iwakiri (2005) define compensado como painel de madeira compostos por lâminas sobrepostas formando um ângulo de noventa graus entre as camadas vizinhas, possuindo esses números ímpares de camadas, colados através de adesivo, pressão e temperatura.

Para Stark *et al.* (2010) o compensado é um painel construído com lâminas cujas fibras das camadas adjacentes estão dispostas de formar perpendicular umas das outras, contendo número ímpar de camadas.

É importante ressaltar que a matéria-prima usada para a fabricação do compensado influenciará na densidade do painel, ou seja, havendo uma proporcionalidade entre as densidades da matéria-prima e o produto final.

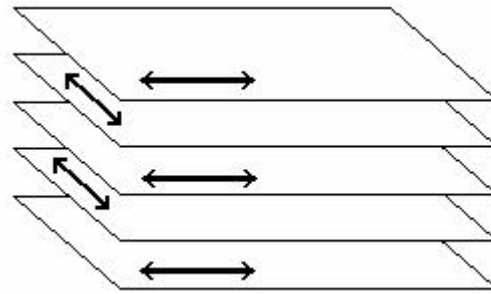


Figura 3 – Posicionamento das lâminas no compensado. Fonte: STAMATO e CALIL JR, 2003.

Considerando as aplicações desse tipo de painel, segundo Stark *et al.* (2010), podem ser utilizados na construção civil e indústria moveleira. Além das aplicações citadas anteriormente, pode ser empregados como matéria-prima para a indústria de embalagens e construção naval (IWAKIRI; SALDANHA, 2002).

3.4. Definição de adesivos e adesão

Iwakiri (2005) define adesivo como material com propriedades aderentes, ou seja, suficientemente capaz de manter outros materiais unidos em sua superfície, formando de acordo com suas característica e aplicação adequada, uma ligação superficial forte e duradoura.

O fenômeno da adesão é considerado físico-químico, consistindo em um mecanismo de interação entre duas superfícies sólidas e uma segunda fase podendo ser líquida, sólida, película contínua, entre outras (IWAKIRI, 2005).

Para Frihart & Hunt (2010), a capacidade de um adesivo unir duas superfícies de madeira, definido como adesão, é controlado pelos fatores químicos e mecânicos.

Quanto maior for o contato entre as moléculas do adesivo e dos componentes da madeira, melhor será a ligação mecânica e atração intermolecular entre ambos (FRIHART; HUNT, 2010).

3.4.1. Características e propriedades dos adesivos

Os adesivos empregados na colagem de madeira ou na produção de painéis pertencem ao grupo químico dos polímeros, podendo ser de procedência

sintética ou natural (VICK, 1999). Os adesivos sintéticos são classificados em termoendurecedores ou termofixos e termoplásticos. Os termofixos são caracterizados pela estabilidade química após o processo de cura, assegurando a resistência na aplicação de cargas e exposição à umidade, apresentando este, geralmente, excelente desempenho em utilizações estruturais. Já os termoplásticos, que liquefazem no aquecimento e solidificam quando resfriados, tem como característica baixa resistência à presença de umidade e temperaturas elevadas.

Conforme suas características apresentadas anteriormente, os adesivos, podem ser classificados em estruturais e não estruturais.

Na formação da ligação madeira–adesivo, Marra (1992 apud IWAKIRI, 2005) expõe cinco ações de movimento ou funções de mobilidades do adesivo, que estão apresentadas abaixo:

- **Fluidez:** espalhamento do adesivo sobre a superfície do material madeira;
- **Transferência:** quando ocorre movimentação do adesivo para a superfície oposta;
- **Penetração:** movimento do adesivo para adentrar na estrutura anatômica da madeira;
- **Umedecimento:** quando ocorre movimentação do adesivo para recobrir a estrutura submicroscópica do material madeira;
- **Solidificação:** movimentos relacionados à transferência do estado líquido para o sólido, por meio de processos químicos.

A Figura 4 ilustra como ocorre a sequência dos movimentos do adesivo na madeira.

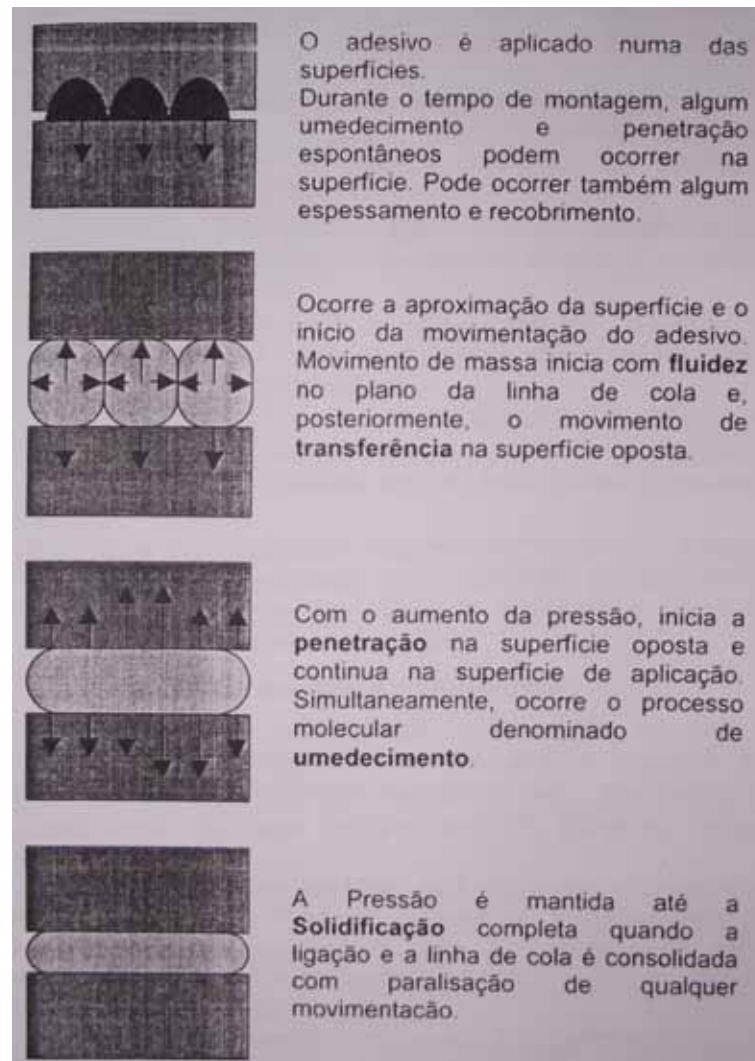


Figura 4 – Movimentação sequencial do adesivo na formação da linha de cola. Fonte: IWAKIRI, 2005.

A linha de cola na maioria das vezes não se forma de maneira uniforme, podendo ser classificada de acordo com Iwakiri (2005) como:

- **Faminta:** Sua formação acontece com adesivos de baixa viscosidade e/ou madeiras muito porosas, ocorrendo penetração excessiva do adesivo, resultando em uma quantidade insuficiente do mesmo na linha de cola.
- **Pré-endurecida:** Ocorre normalmente quando, durante a aplicação da pressão, o adesivo apresenta-se seco ou parcialmente curado, sendo incapaz de fluir, transferir e penetrar na madeira de forma adequada.
- **Não-ancorada:** quando o adesivo não atinge o ângulo de contato ideal com a madeira, considerada uma condição situada entre a “pré-endurecida” e a “normal”.

- **Normal:** quando o processo de formação de linha de cola ocorre de maneira adequada.

3.4.2 Fatores que influenciam na colagem de madeiras

Segundo Iwakiri (2005), a colagem ideal de madeiras é influenciada por diversos fatores dispostos em quatro grupos:

3.4.2.1. Características físico-químicas dos adesivos

a) Viscosidade

Propriedade definida como a resistência ao fluxo entre camadas de uma matéria. Quando os adesivos apresentam alta viscosidade, resultam nas seguintes situações:

- Maior dificuldade na distribuição;
- Formação de linha de cola mais espessa devido à menor penetração do adesivo na estrutura capilar da madeira e diminuição da adesão (IWAKIRI, 2005).

Já na utilização de um adesivo de baixa viscosidade, pode ocorrer formação de linha de cola “faminta”, devido a maior penetração do adesivo na madeira.

Frihart e Hunt (2010) destacam que a viscosidade do adesivo afeta consideravelmente o fluxo, a penetração e, particularmente, à transferência do adesivo para superfícies opostas de madeira quando a pressão é aplicada para consolidação do painel.

b) Tempo de gelatinização (*gel time*)

Espaço de tempo entre a preparação do adesivo até seu endurecimento ou cura, correspondente ao ponto de máxima elasticidade. Propriedade importante para processos de aplicação de adesivo, sendo a mesma influenciada pela temperatura, sendo quanto maior a mesma, menor o tempo de gelatinização (IWAKIRI, 2005). Carneiro (2006 apud ALMEIDA, 2009) cita que o tempo curto de trabalho do adesivo pode gerar problema na aplicação e rápida polimerização do adesivo, fazendo com que a resistência da linha de cola diminua.

c) Teor de sólidos

Definido como a quantidade de sólidos presentes no adesivo. Os adesivos comumente são compostos por sólidos e líquidos voláteis que evaporam na presença de calor, ocorrendo à cura e formação da linha de cola (IWAKIRI, 2005). Formulações com elevado teor de sólidos são propensas a menor penetração segundo Williams (2010).

d) pH

No processo de colagem é importante levar em consideração tanto o pH da madeira quanto o do adesivo (IWAKIRI, 2005). O pH do adesivo não deve ultrapassar a faixa de 2,5 a 11, para evitar deterioração da madeira.

3.4.2.2. Características e composição da madeira

a) Propriedades anatômicas

A variedade das dimensões nos diferentes elementos celulares, disposições e frequência das cavidades celulares que compõe a estrutura da madeira, influenciam, segundo Iwakiri (2005), a movimentação dos adesivos no interior da mesma. Dentre as mais relevantes características pertinentes a anatomia da madeira que interferem no processo de colagem pode-se destacar a diferença na proporção e distribuição dos lenhos tardio e juvenil, assim como, a porcentagem de cerne e alburno, que influenciam na penetração do adesivo, uma vez que há uma divergência em termos de densidade e porosidade dessas estruturas, além afetar também a resistência mecânica e a estabilidade dimensional. Considerando o cerne da madeira, esse devido a maior concentração de extrativos, pode interferir no processo de cura dos adesivos. Outra propriedade de grande importância é a porosidade que também interfere diretamente no fluxo de líquidos no interior da estrutura lenhosa. Para evitar problema na formação da linha de cola, é de grande importância realizar o controle da viscosidade do adesivo em função da porosidade da madeira a ser colada. Frihart & Hunt (2010) comentam que a porosidade da madeira varia também de acordo com a direção da grã.

b) Propriedades físicas

Fatores como a densidade e o teor de umidade da madeira apresentam importância significativa na qualidade final do painel.

- Densidade da madeira: de acordo com Iwakiri (2005), esta propriedade apresenta relação inversa com a porosidade da madeira e, conseqüentemente, com a permeabilidade dos adesivos na madeira. Outra interferência seria em relação à instabilidade dimensional em presença de umidade, sendo a mesma proporcional e podendo interferir na qualidade de colagem. Nas madeiras de alta densidade, compostas por paredes celulares mais espessas e lúmen com menor diâmetro, a penetração do adesivo é prejudicada, limitando a interação mecânica adesivo-madeira, além de necessitar de maior pressão para consolidação do painel (FRIHART; HUNT, 2010);

- Teor de umidade: intervém diretamente na formação e desempenho da linha de cola. Quanto menor o teor de umidade da madeira, menor será o tempo do processo de colagem. É de grande importância ressaltar que a umidade, uma vez estando nos valores desejados, é importante para a formação de um gradiente de temperatura no processo de prensagem, encontrando o interior do painel menos úmido que a capa e contracapa (Iwakiri, 2005). Frihart & Hunt (2010) citam que a umidade da madeira combinada a do adesivo influencia no processo de aplicação, penetração e cura. Em geral, as propriedades adesivas ideais ocorrem quando a umidade da madeira encontra-se entre 6 e 14%. O controle da umidade é, particularmente, crítico quando ocorre a cura do adesivo em prensagem a quente, pois o excesso da mesma se transforma em vapor de alta pressão no interior do painel causando defeito no mesmo, como por exemplo, bolhas.

c) Propriedades químicas

- Extrativos: áreas que contêm extrativos são comumente chamadas de áreas inativas ou contaminadas, uma vez que bloqueiam o contato com o adesivo além da saída de umidade, aumentando o tempo necessário de prensagem. (FRIHART; HUNT, 2010);

- pH: normalmente o pH da madeira situa-se entre 3 e 6, sendo importante que o pH do adesivo encontra-se nessa faixa ou próximo da mesma para que ocorra uma boa adesão, evitando problemas nas reações químicas de endurecimento do adesivo e, também, em sua aplicação (Iwakiri, 2005).

Considerando a influência após a colagem, o desempenho da linha de cola pode ser afetado se esta propriedade não for controlada.

3.4.2.3. Características do processo de colagem

Lopez e Garcia (2005) apontam que não só as características do adesivo e madeira influenciam na qualidade da colagem do painel, mas também as variáveis do processo de aplicação. A qualidade desse processo pode ser controlada através de três variáveis importante, sendo o tempo, a temperatura e a pressão de prensagem. A seguir estas variáveis serão detalhadas.

- Tempo: variável normalmente fornecida pelo fabricante e deve ser controlada desde a aplicação do adesivo até o processo de prensagem do painel;
- Temperatura: existem alguns adesivos que necessitam de temperatura para que ocorra o processo de cura;
- Pressão: parâmetro que tem por finalidade gerar contato ideal entre as peças a serem coladas. Caso a pressão esteja inadequada, pode ocorrer esmagamento entre as peças de madeira ou uma união ruim das mesmas. A densidade e dimensão das peças de madeira também influenciarão no valor da pressão utilizada no processo.
- Quantidade de adesivo: no processo de aplicação do adesivo é importante que se utilize a quantidade de adesivo adequada e, também que a distribuição do mesmo seja feita de maneira mais uniforme possível para que o processo de colagem seja eficiente. A quantidade necessária dependerá da qualidade superficial das lâminas, teor de umidade, tempo de montagem, espécie de madeira e se o adesivo vai ser aplicado em uma ou nas duas superfícies a serem coladas (FRIHART; HUNT, 2010).

Baldwin & Sellers (1995 apud IWAKIRI *et al.* 2002) afirmam que as interações do processo produtivo do compensado compreendem muitas variáveis. Dentre essas, além das características específicas da madeira, do tipo, quantidade e composição do adesivo, assim como os procedimentos empregados no processo de colagem das lâminas, são de suma importância para qualidade das chapas.

3.4.2.4. Aplicações e utilizações do produto colado

Para que o adesivo apresente bom desempenho em sua utilização, Iwakiri (2005) menciona que é de grande importância que o ambiente em que o mesmo será utilizado esteja de acordo com sua condição de uso, ou seja, interno, intermediário ou externo.

3.4.3. Tipos de adesivos

Normalmente na fabricação de painéis de madeira são utilizados os adesivos sintéticos. A seguir serão demonstrados os principais adesivos que compõe esse grupo, assim como suas principais características.

- Fenol-formaldeído

De acordo com Conner (2001), esse tipo de adesivo é indicado para aplicações externas, sendo frequentemente utilizado na composição dos painéis de compensado, OSB e *waferboard*.

Em relação às suas características físico-químicas, Kollmann *et al.* (1975) define sua coloração como marrom avermelhada, pH entre 12 a 13, temperatura de cura na faixa de 115 a 150°C. Além disso, Iwakiri (2005) diz que a resina normalmente possui teor de sólidos de 48 a 51% e viscosidade de 300 a 600 cp.

- Uréia-formaldeído

Possui considerável aplicação na indústria madeireira devido ao baixo custo em relação aos seus similares, sendo destinados ao uso interno, em resposta à sua susceptibilidade à degradação hidrolítica, e agravada na presença de temperatura elevada (IWAKIRI, 2005).

Como vantagens, Conner (2001) destaca boa resistência contra microrganismos considerando as suas características físico-químicas. Iwakiri (2005) cita que o mesmo apresenta teor de sólidos na faixa de 60 a 70%, coloração branca leitosa, pH de 7,4 a 7,8, temperatura de cura a quente de 90 a 120°C e viscosidade de 400 a 1000 cp.

- Melamina-formaldeído

Apresenta maior resistência a umidade que a uréia formaldeído e menor resistência que o fenol formaldeído. Iwakiri (2005) comenta que este é considerado um adesivo para uso intermediário. Como características físico-químicas, segundo Iwakiri (2005), a resina apresenta coloração branca leitosa, temperatura de cura na faixa de 65 a 130 °C e pH em torno de 9.

Kollmann *et al.* (1975) cita que este adesivo possui estabilidade em presença de temperatura além de curar em baixa temperatura. Como desvantagem o mesmo é mais caro que os adesivos comumente utilizados para produção de painéis.

- Resorcinol-formaldeído

Diferente dos outros adesivos citados anteriormente, este tem como característica principal cura a frio. Tendo em vistas suas características físico-químicas, apresenta coloração marrom e viscosidade na faixa de 500 a 800 (IWAKIRI, 2005).

- Hot-melt

Produzido, principalmente, por copolímero de etileno associado com acetato de vinila, polietileno e poliamida, tem como característica a necessidade de alta temperatura para aplicação sobre a superfície da madeira e consolidação do painel (IWAKIRI, 2005). Abimci (2003) cita como vantagens desse adesivo a diversidade de composições disponíveis, ampla faixa de fusão e uma considerável resistência a água.

- Poliacetato de Vinila (PVAc)

Comumente conhecido como “cola branca”, utilizados em diversas áreas da indústria madeireira e/ou moveleira apresenta baixo custo de em relação aos pares disponíveis no mercado (OLIVEIRA; DANTAS, 2003).

Segundo Conner (2001), esse tipo de resina pode ser utilizada em processos de prensagem a frio, porém possui menor resistência à umidade que os adesivos termofixos, conseqüentemente, voltado para uso interno.

Iwakiri (2005) apresenta dados em relação às características físico-químicas como teor de sólidos entre 51 a 55%, pH de 4 a 5 e viscosidade Brookfield

de 6000 a 8000 cp. Esse tipo de adesivo apresenta como vantagem facilidade no manuseio, tempo de armazenagem praticamente ilimitado, não influencia na coloração da madeira, boa resistência a microrganismos etc. Em contrapartida, apresenta alta sensibilidade a presença de água e não pode ser utilizado em ambientes externos (KOLLMANN *et al.*, 1975).

3.5. Processo de produção do painel compensado

Nesta parte do trabalho serão descritas as etapas de fabricação do painel compensado a partir da sequência de produção das chapas. Normalmente as etapas de produção do painel de compensado seguem as etapas ilustradas na Figura 5. As variações das etapas abaixo ocorrem em função da matéria-prima ou da disponibilidade de maquinário.

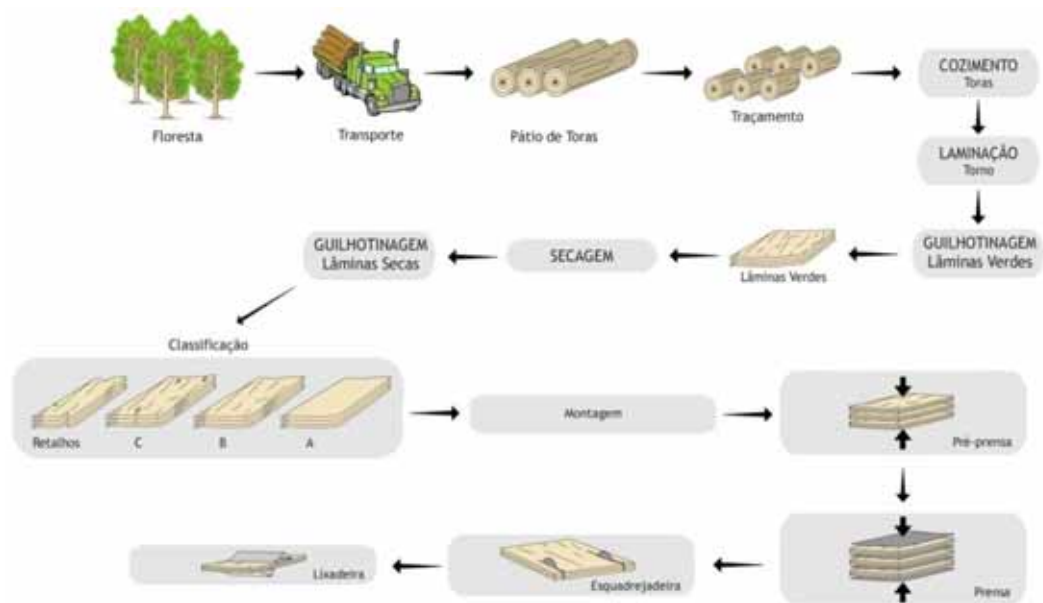


Figura 5 – Processo de fabricação do compensado. Fonte: ABIMCI, 2004.

- **Preparação das toras para laminação**

Este procedimento consiste em três partes, sendo a primeira, a remoção da casca, com finalidade de facilitar e diminuir tempo do aquecimento das toras. Iwakiri (2005) ressalta que na laminação de folhosas, é de suma importância que antes da conversão das toras no tamanho desejado, as mesmas já estejam

aquecidas para evitar o fendilhamento de topo, influenciando, posteriormente, na qualidade das lâminas e/ou diminuindo o rendimento do processo. A preparação de coníferas pode ser feita na seguinte ordem: remoção da casca, conversão e aquecimentos das toras.

Considerando ainda a parte do aquecimento das toras, Umaña e Brito (2004) afirma que este aumenta a qualidade superficial das lâminas reduzindo a aspereza das mesmas. Os principais fatores que interferem no tempo de aquecimento das toras segundo Umaña e Brito (2004) são: espécie, diâmetro e densidade da madeira; temperatura; eficiência do tanque onde é realizado o procedimento.

- Laminação

Lâmina de madeira é definida como um material obtido pela ação do corte através de uma faca, apresentando espessura de 0,13 a 6,35 mm (IWAKIRI, 2005). Esse material pode ser obtido através dos processos de torneamento ou faqueamento da tora. O primeiro consiste, segundo Iwakiri (2005), no desenrolamento da tora, onde a mesma é fixada em duas garras que exercem movimento de rotação contra uma faca, produzindo uma lâmina contínua, seccionada posteriormente nas dimensões desejadas. O segundo método parte de um bloco de madeira, onde as lâminas são retiradas em processo descontínuo. Os produtos gerados pelo segundo processo normalmente são utilizados em painéis decorativos.

Na produção das lâminas, além dos fatores da etapa do cozimento, densidade da madeira, o desgaste das facas e a regulagem do torno influenciam diretamente na qualidade superficial e na espessura uniforme das lâminas (UMAÑA; BRITO, 2004). Wangaard & Saraos (1959 apud JANKOWSKY, 1978) dizem a uniformidade na espessura, rugosidade e presença de fendas nas lâminas são parâmetros de avaliação de qualidade no processo. De acordo com Feihl & Godin (1970 apud JANKOWSKY, 1978), a variação na espessura da lâmina afeta a qualidade da linha de cola e, a rugosidade excessiva reflete em um aumento na quantidade de resina. A Figura 6 ilustra linhas de cola com diferentes qualidades devido a problemas ocorridos na laminação, sendo a parte "A" um exemplo de lâmina ideal, e a parte "B" uma lâmina com defeitos superficiais.

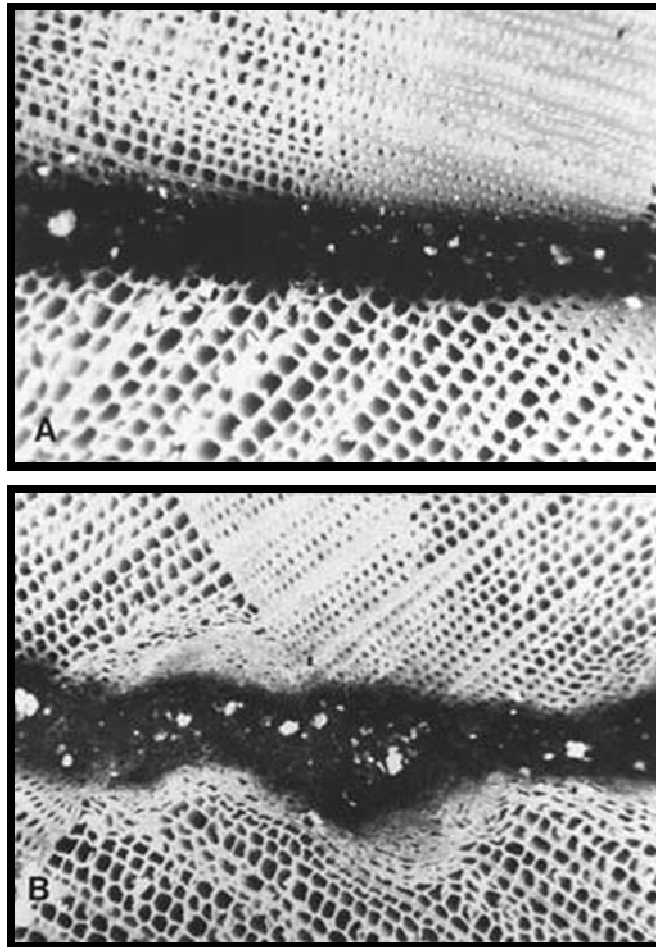


Figura 6 – Diferentes qualidades superficiais das lâminas. Fonte: FRIHART & HUNT, 2010.

- Secagem

Para que a colagem e, conseqüentemente, a qualidade dos painéis compensados não deixe de atender as expectativas desejadas, é necessária a secagem das lâminas até um teor de umidade ideal para aplicação do adesivo. Comumente as lâminas apresentam-se, antes dessa etapa, teores de umidade acima do ideal. A umidade atrapalha a qualidade da colagem dos painéis, além de que as lâminas com elevada umidade tornam-se mais suscetíveis a ataques fungos manchadores, prejudicando a estética do produto final.

No entanto, deve-se tomar cuidado para não secar em excesso as mesmas. Segundo Umaña e Brito (2004), a secagem excessiva das lâminas pode fazer com que a água contida no adesivo seja absorvida pela madeira, favorecendo a ocorrência de linha de cola faminta. Iwakiri (2005) afirma que a secagem excessiva

da madeira pode gerar defeitos nas lâminas tais como torções, ondulações, rachaduras etc.

No processo de secagem, os parâmetros estabelecidos são em função do adesivo utilizado, espessura das lâminas, da espécie e massa específica da matéria-prima. A espessura e densidade das lâminas madeira influenciam proporcionalmente no tempo de secagem (ABIMCI, 2004).

- Aplicação de adesivo e montagem do painel

Para garantir a qualidade e o desempenho físico-mecânico do painel, é de suma importância que o adesivo seja aplicado de forma mais uniforme possível e em quantidade (gramatura) adequada.

Em relação à gramatura dos adesivos, existem normas que especificam valores mínimos necessários para aplicação dos mesmos. De acordo com o tipo do adesivo, a quantidade necessária, é normalmente fornecida pelo fabricante. A aplicação pode ser feita em uma ou nas duas partes da lâmina, sendo esta variável de operação influenciada pelo tipo de aplicador de adesivos e pelo processo.

Na montagem dos painéis, as lâminas já com o adesivo são sobrepostas respeitando a orientação conforme as definições citadas anteriormente.

- Pré-prensagem

Etapa do processo cuja finalidade é ajudar na transferência e distribuição dos adesivos entre as lâminas, também facilita as operações seguintes do processo (IWAKIRI, 2005). Em resposta a esse processo, é perceptível um aumento na qualidade de colagem, da produtividade do processo e redução dos defeitos de fabricação (ABIMCI, 2004).

- Prensagem

Através da aplicação da temperatura e pressão, o processo tem por finalidade terminar a interação entre o adesivo e a madeira mediante as reações físicas e químicas.

Na produção dos painéis de compensado as variáveis de controle da etapa de prensagem são temperatura, pressão e tempo de prensagem (IWAKIRI, 2005). Essas variáveis são determinadas em função do produto, da matéria-prima e

do adesivo utilizado na fabricação. Segundo a Abimci (2004) as variáveis do processo de prensagem dependem do tipo de adesivo e da espessura do painel.

- Acabamento dos painéis

Primeiramente, o painel é acondicionado para atingir a temperatura ambiente, pois após a prensagem a quente eles estão em uma condição instável (KOLLMANN *et al.*, 1975). Posteriormente, os painéis são esquadrejados para que os mesmos fiquem nas dimensões desejadas. Finalmente, os painéis passam pela etapa de calibração e lixamento onde alcançada a espessura desejada e são eliminadas pequenas imperfeições, melhorando o acabamento superficial.

Kollmann *et al.* (1975) ressalta que a operação de esquadrejamento dos painéis deve ser feito após o mesmo atingir a temperatura e umidade desejada, conseqüentemente, adquirindo o tamanho exato desejado.

3.5.1. Propriedades físico-mecânicas dos painéis compensado

Em relação à densidade do compensado, Kollmann *et al.* (1975) cita que a mesma depende da espécie da madeira utilizada na fabricação. Além disso, Maloney (1993), diz que os painéis produzidos com madeira de baixa densidade proporcionam melhores propriedades mecânicas em relação às madeiras de alta densidade.

Esse tipo de painel em relação à madeira maciça apresenta como vantagem um balanço das propriedades de força em ambos os sentidos do painel, aumentando a estabilidade dimensional quando ocorre variação de umidade (U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE, 1964).

Stamato e Calil Jr. (2003), afirmam que as disposições das lâminas do painel de compensado resultam em altas resistências no sentido paralelo e perpendicular às fibras, proporcionando também maiores resistências ao impacto, fendilhamento e cisalhamento. Tsoumis (1991, apud BORTOLETTO JR; GARCIA, 2004) cita que existe uma proporcionalidade em relação ao número de lâminas e a uniformidade das propriedades mecânicas do painel.

Considerando as propriedades elásticas do painel, estas não são influenciadas pela linha de cola que compõe o painel e sim pelas propriedades da lâmina de madeira (BODIG; JAYNE, 1993). Segundo March (1944 apud PALMA,

1997), a partir do conhecimento das constantes elásticas de cada lâmina podem-se analisar as propriedades elásticas do compensado.

Tendo em vista a absorção de água Suchsland *et al.* (1986 apud ELEOTÉRIO, 2000) cita que esta propriedade pode ser controlada pela densidade ou porosidade do painel.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste trabalho foram feitas seis composições de painéis variando as formulações a partir de três adesivos, duas temperaturas e dois tempos de prensagem como mostra a Tabela 2. Todos os painéis foram produzidos com cinco lâminas tendo conseqüentemente quatro linhas de cola por painel.

Tabela 2 – Descrição dos painéis produzidos a partir do tipo de adesivo utilizado, tempo de prensagem e temperatura.

Classificação do painel	Formulação do adesivo	Tempo de prensagem [min]	Temperatura de prensagem [°C]	Situação
1A	PVA 1810	15	60	1
2A				
3A				
4A		10	90	2
5A				
6A				
1B	PVA 1060	15	60	3
2B				
3B				
4B		10	90	4
5B				
6B				
1C	VINYLTEC 239	15	60	5
2C				
3C				
4C		10	90	6
5C				
6C				

4.1. Materiais

As lâminas utilizadas na produção dos painéis foram obtidas na empresa Miraluz Indústria e Comércio de Madeiras Ltda em dimensões de 60 por 120 centímetros, encontrando-se secas e com espessura média de 1,8 milímetros. Em relação a procedência das lâminas, o fornecedor informou somente que as mesmas

eram de *Pinus*, não sabendo dizer a idade da árvore, espécie dentre outros fatores característicos da matéria prima.

Considerando os adesivos, foram utilizados na produção dos painéis de três formulações de adesivos diferentes onde suas principais características técnicas estão demonstradas na Tabela 3 abaixo.

Tabela 3 – Dados técnicos dos adesivos.

Adesivo:	Vinyltec 239	PVA 1810	PVA 1060
Viscosidade Brookfield (25°C-6/20rpm):	8.000 a 12.000 mPa.s	2000 - 3000 mPa.s	9.500 a 14.000 mPa.s
Teor de sólidos:	48 a 52 %	55 a 65 %	55 a 60 %
pH (25 °C):	4,0 a 6,0	2,9 a 3,5	3,5 a 5,5
Aparência:	Líquido branco	Líquido de coloração branca	Líquido branco

Fonte: Artecola Indústrias Químicas Ltda.

O adesivo comercialmente chamado de Vinyltec 239 apresenta a dispersão aquosa de homopolímero vinílico e é destinado, segundo o fabricante, para colagem de madeiras em peças até montagem de painéis, sendo também indicado para prensagem à quente. Em relação às propriedades do mesmo, este após cura apresenta coloração transparente e boa elasticidade, tendendo a apresentar deficiência em colagem a baixas temperaturas.

Já o adesivo comercializado por PVA 1810, uma dispersão aquosa a base de poliacetato de vinila, é indicado para montagem de painéis em prensagem a frio, quente e radiofreqüência e também para ligações do tipo *finger joint* segundo o fabricante. É importante ressaltar que conforme a norma DIN EN-204 este adesivo apresenta classificação D3 quanto à resistência a umidade, sendo destinado a aplicações em ambientes internos que entrarão em contanto com água, podendo ser citado como exemplo a aplicação em armários de áreas de serviço e gabinetes de banheiros.

O outro adesivo utilizado é uma dispersão aquosa à base de acetato de polivinila modificado, chamado comercialmente de PVA 1060, também destinado

para o uso em madeiras, desde trabalho em bancadas, montagem de painéis, colagem de fórmicas, prensagem a quente, colagem de madeira com concreto até nivelamento de pisos. Em relação às propriedades, apresenta secagem rápida, boa elasticidade após seco e quando utilizado em temperatura ambiente muito baixa pode apresentar deficiência na colagem.

4.2. Produção dos painéis

Primeiramente, as lâminas foram esquadrejadas em dimensões aproximadas de 60 x 60 cm conforme demonstrado nas Figuras 7.A e 7.B, totalizando 96 unidades.



Figura 7.A – Esquadrejamento da lâmina. B – Lâmina nas dimensões desejadas.

Consequente, as lâminas foram classificadas em dois grupos, sendo um isento de defeitos e outro com presença de defeitos (ver Figuras 8.A e 8.B). Os defeitos encontrados seriam a presença de pequenos nós, pequenas rachadura e lâminas rachadas em duas partes. As lâminas isentas de defeitos foram destinadas para serem alocadas na capa e contracapa dos painéis, destinando as com defeito para o interior do mesmo. Vale ainda ressaltar que como a quantidade de lâminas fornecidas foi grande, poucas lâminas com defeito foram utilizadas na fabricação dos painéis.



Figura 8.A – Lâmina classificada como isenta de defeitos. B – Lâmina com nós e pequenas rachaduras.

A etapa posterior foi realizada no Laboratório de Processamento de Madeira da Unesp - Campus de Bauru, onde foi feita fabricação dos painéis que consistiu na aplicação do adesivo, montagem e prensagem a quente dos painéis.

Considerando a gramatura por linha dupla de cola a ser utilizada na produção dos painéis, somente formulação PVA 1810 apresentava uma sugestão de valor para gramatura na laminação sendo igual a 120 g/m^2 por camada de cola. Para manter os mesmos parâmetros com o objetivo de analisar o desempenho dos adesivos adotou-se o mesmo valor para as outras duas formulações. Na pesagem dos adesivos foi utilizada uma balança com precisão de $0,01 \text{ g}$ e copos plásticos descartáveis (ver Figuras 9.A e 9.B).



Figura 9.A – Balança analítica utilizada para a pesagem dos adesivos. B – Copo plástico descartável utilizado para separação da quantidade de cola necessária para cada camada.

O cálculo da quantidade de adesivo a ser utilizado para produção foi feito conforme demonstrado abaixo.

- Área do painel - de acordo com o que foi citado anteriormente, as lâminas apresentavam dimensões próximas a 60 cm de lado. Portanto:

$$0,6 \text{ m} \cdot 0,6 \text{ m} = 0,36 \text{ m}^2$$

- Quantidade de adesivo - a quantidade de adesivo por linha dupla de cola foi calculado da seguinte forma:

$$120 \text{ g} \text{ ----- } 1 \text{ m}^2$$

$$x \text{ ----- } 0,36 \text{ m}^2$$

$$x = 43,2 \text{ g}$$

Para controlar a quantidade de adesivo no painel, as lâminas que haviam sido separadas, ordenadas e nomeadas em vários grupos, foram pesadas antes da aplicação do adesivo e posterior a prensagem do painel. A Figura 10 mostra as lâminas separadas em grupos. A balança utilizada para a pesagem das lâminas tinha precisão de 0,5 g.



Figura 10 – Grupos de lâminas separadas, ordenadas e nomeados após a pesagem antes da aplicação do adesivo.

A aplicação das três formulações de adesivos foi feita de forma manual com o auxílio de uma espátula (ver Figuras 11.A e 11.B).



Figura 11.A – Aplicação do adesivo. B – Lâmina com o mesmo aplicado.

Após a aplicação do adesivo foi feita a montagem de cada um dos painéis de acordo com os princípios básicos, ou seja, sobrepondo as lâminas com defasagem de noventa graus uma das outras em relação ao sentido das fibras (ver Figura 12).



Figura 12 – Painel montado antes da etapa da prensagem.

Posteriormente, os painéis foram levados à prensa (ver Figuras 13.A, 13.B e 13.C), onde as variáveis desse processo alteraram de acordo com cada classe de painel em relação à temperatura e tempo de prensagem como foi apresentado anteriormente na Tabela 2. A pressão aplicada para a fabricação dos painéis foi de 15,3 kgf/cm² ou 15 bar para todas as situações estudadas.

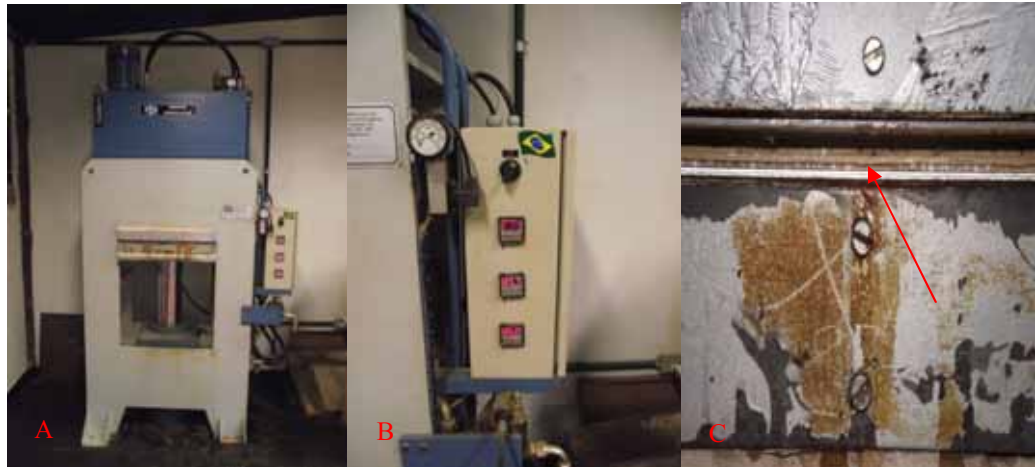


Figura 13.A – Prensa. B – Painel do equipamento. C – Painel dentro da prensa.

As Figuras 14.A e 14.B ilustra um painel já prensado sem acabamento.



Figura 14.A – Vista superior do painel montado após processo da prensagem. B – Vista lateral do painel após prensagem.

Após o processo de prensagem a quente e o resfriamento, pesou-se novamente os painéis individualmente obtendo o valor real total de adesivo por painel de acordo com a Tabela 4.

Tabela 4 – Quantidade real de adesivo por painel.

ADESIVO: ARTECOL PVA 1810				
Temperatura = 60°C; Tempo = 15 min.				
Painel	Peso lâminas (g)	Gramatura teórica (g)	Peso lâmina + adesivo (g)	Gramatura efetiva (g)
1A	1675	172,8	1825	150
2A	1615	172,8	1755	140
3A	1500	172,8	1650	150
Temperatura = 90°C; Tempo = 10 min.				
Painel	Peso lâminas (g)	Gramatura teórica (g)	Peso lâmina + adesivo (g)	Gramatura efetiva (g)
4A	1605	172,8	1780	175
5A	1650	172,8	1835	185
6A	1635	172,8	1820	185
ADESIVO: ARTECOL PVA 1060				
Temperatura = 60°C; Tempo = 15 min.				
Painel	Peso lâminas (g)	Gramatura teórica (g)	Peso lâmina + adesivo (g)	Gramatura efetiva (g)
1B	1520	172,8	1745	185
2B	1515	172,8	1700	185
3B	1505	172,8	1680	175
Temperatura = 90°C; Tempo = 10 min.				
Painel	Peso lâminas (g)	Gramatura teórica (g)	Peso lâmina + adesivo (g)	Gramatura efetiva (g)
4B	1540	172,8	1710	170
5B	1525	172,8	1690	165
6B	1595	172,8	1765	170
ADESIVO: VINYLTEC 239				
Temperatura = 60°C; Tempo = 15 min.				
Painel	Peso lâminas (g)	Gramatura teórica (g)	Peso lâmina + adesivo (g)	Gramatura efetiva (g)
1C	1590	172,8	1750	160
2C	1655	172,8	1820	165
3C	1665	172,8	1820	155
Temperatura = 90°C; Tempo = 10 min.				
Painel	Peso lâminas (g)	Gramatura teórica (g)	Peso lâmina + adesivo (g)	Gramatura efetiva (g)
4C	1635	172,8	1780	145
5C	1425	172,8	1580	155
6C	1515	172,8	1670	155

Em seguida, ao processo de prensagem das chapas, as mesmas foram esquadrejadas nas dimensões de 50 x 50 cm estando prontas para retirada dos corpos de prova, feito também em serra esquadrejadeira. As etapas de

esquadrejamento dos painéis e produção dos corpos de prova foram realizadas no Laboratório de Processamento da Madeira – Campus de Itapeva/UNESP.

4.3. Caracterização físico-mecânica

No desenvolver do trabalho utilizaram-se as seguintes normas da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), explanadas nos itens a seguir.

4.3.1. Ensaios físicos

- **Determinação do inchamento (NBR 9535)**

Em relação às dimensões do corpo de prova para realização do ensaio, a norma especifica que o mesmo tenha dimensões de 60 por 10 milímetros, sendo a maior dimensão perpendicular às fibras. A quantidade produzida foi igual a seis amostras para cada situação (ver Figura 15).

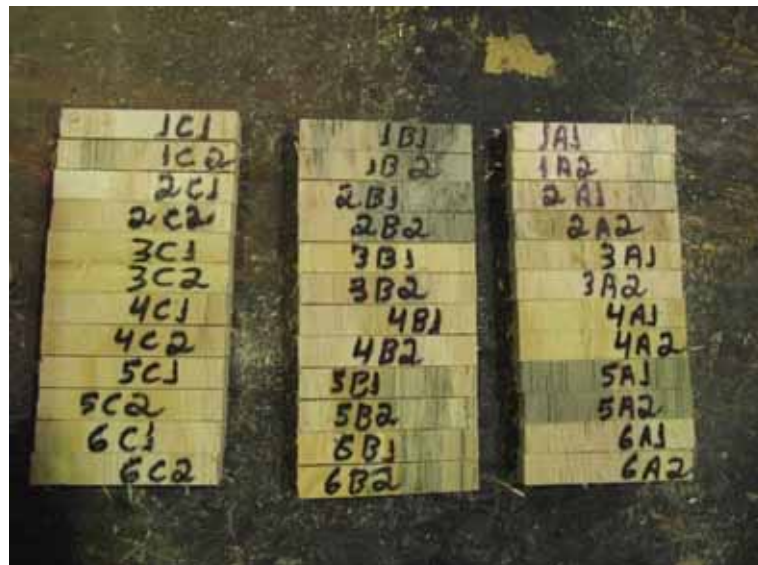


Figura 15 – Corpos de prova para ensaio de inchamento.

As seis amostras foram divididas em dois grupos de três, sendo um chamado de série de controle. No procedimento da série de controle, primeiramente foram medidas as espessuras no centro de cada corpo de prova e, em seguida, os

mesmos foram levados à estufa com temperatura de 103 ± 2 °C por um período de 24 horas. Após este período, os corpos de prova foram retirados da estufa, colocados em um dessecador para estabilização e medidos novamente da mesma forma como foi feito anteriormente (ver Figuras 16.A e 16.B).



Figura 16.A – Corpos de prova após secagem em estufa; B – Estufa utilizada para realização dos ensaios.

A segunda série dos corpos de prova, inicialmente foram feitas medições na parte central das amostras e, posteriormente, foram imersos em água destilada a 25 ± 2 °C também por um período de 24 horas. Ao término desse período, os corpos de prova foram retirados da água um a um, secados superficialmente, medidos e colocados em estufa a 103 ± 2 °C por mais 24 horas. Finalmente, os corpos de prova foram retirados da estufa e mensurados novamente, terminado os procedimentos do ensaio. Através das Equações 1 e 2, obtiveram-se os valores de em porcentagem de recuperação em espessura e inchamento mais recuperação em espessura respectivamente.

$$R = \left(\frac{\theta_1 \cdot \theta_5}{\theta_2 \cdot \theta_3} \right) \cdot 100 \quad (1)$$

Onde:

R – recuperação da espessura (%);

e_1 – soma das espessuras dos corpos de prova, utilizados como controle (mm);

e_2 – soma das espessuras dos corpos de prova, utilizados como controle, secos em estufa (mm);

e_3 – soma das espessuras dos corpos de prova, antes da imersão em água (mm);

e_4 – soma das espessuras dos corpos de prova, após da imersão em água (mm);

$$IR = \left(\frac{e_1 \cdot e_4}{e_2 \cdot e_3} - 1 \right) \cdot 100 \quad (2)$$

Onde:

IR – inchamento mais recuperação da espessura (mm);

e_4 – soma das espessuras dos corpos de prova, após imersão em água e submetidos à secagem em estufa (mm).

- **Determinação do teor de umidade (NBR 9484)**

Para o ensaio do teor de umidade, foram retirados seis corpos de prova para cada situação, sendo que o peso desses após secagem em estufa não deveria superar 10 gramas. No entanto, foram produzidos corpos de prova com dimensão de 50 por 100 milímetros, medidas que garantiram o peso mínimo especificado em norma (ver Figura 17).



Figura 17 – Corpos de prova para análise de teor de umidade.

Na realização desse ensaio pesaram-se todos os corpos de prova em balança analítica com precisão de 0,01 gramas, e posteriormente os mesmos foram levados em estufa com temperatura de 103 ± 2 °C por permanência mínima de 4 horas. Após este período as amostras foram pesadas novamente e os resultados foram obtidos através da Equação 3 apresentada abaixo.

$$TU = \left(\frac{m_u - m_s}{m_s} \right) \cdot 100 \quad (3)$$

Onde:

TU – teor de umidade (%);

m_u – massa úmida (inicial) do corpo de prova (g);

m_s – massa seca (final) do corpo de prova (g).

- **Determinação da massa específica aparente (NBR 9485)**

Na realização do ensaio, foram produzidos seis corpos de prova para cada situação, tendo os mesmos dimensões de 100 por 50 milímetros. Os corpos de prova foram pesados em balança com precisão de 0,1 grama e, também foram realizadas duas medições no comprimento e largura, e quatro medições na espessura (ver Figura 17). A Figura 18 ilustra a pesagem do corpo de prova.



Figura 18 – Pesagem do corpo de prova.

A Equação 4 foi utilizada para obtenção dos resultados para esse ensaio.

$$Mea = \frac{m}{c.l.e} \quad (4)$$

Onde:

Mea – massa específica aparente (g/cm³);

M – massa do corpo de prova (g);

c – comprimento do corpo de prova (cm);

l – largura do corpo de prova (cm);

e – espessura do corpo de prova (cm).

- **Determinação da absorção de água (NBR 9486)**

Para o procedimento deste ensaio foram retirados seis corpos de prova para cada situação, com dimensão de 75 por 25 milímetros, sendo a maior dimensão perpendicular às fibras (ver Figura 19).



Figura 19 – Corpos de prova para determinação da absorção de água.

Levaram-se os mesmos em estufa com temperatura de 103 ± 2 °C por um período de 24 horas. Após essa etapa, os corpos de prova foram retirados da estufa, estabilizados em dessecador e pesados em balança com precisão de 0,01 gramas (ver Figura 20).



Figura 20 – Corpos de prova para análise de teor de umidade.

Posteriormente, os corpos de prova foram completamente imersos em água destilada em temperatura de 25 ± 2 °C também por um período de 24 horas, e após este período, os mesmos foram retirados da água, secos superficialmente e pesados novamente. Os resultados foram obtidos através da Equação 5.

$$A = \left(\frac{m_f - m_i}{m_i} \right) \cdot 100 \quad (5)$$

Onde:

A – quantidade de água absorvida (%);

m_f – massa final do corpo de prova (g);

m_i – massa inicial do corpo de prova (g).

4.3.2. Ensaio mecânicos

- **Determinação da resistência flexão estática (NBR 9533)**

Segundo especificações normativas são necessários 5 corpos de prova para cada situação e para cada sentido em relação às fibras, estando os mesmos distantes pelo menos 5 centímetros das bordas do painel. Foram retirados 12 corpos de prova sendo uma metade no sentido paralelo e a outra no sentido perpendicular as fibras, totalizando 72 corpos de prova para todas as situações (ver Figura 21).

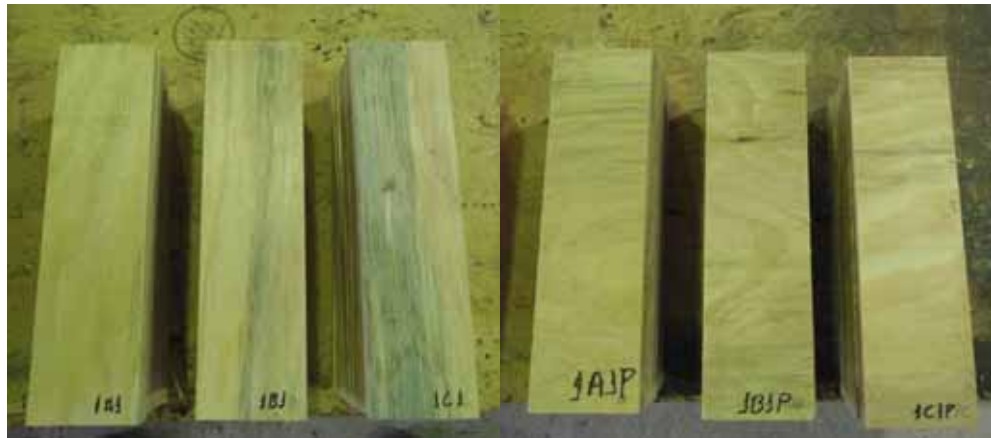


Figura 21 – Corpos de prova paralelo e perpendicular às fibras, para a determinação da resistência a flexão estática.

Posteriormente, foram feitas medições na largura e espessura na parte central do corpo de prova, a fim de se obterem as medidas precisas. As dimensões dos corpos de prova foram calculadas em função da espessura do painel, sendo esta igual a 9 milímetros, adotada de acordo com valores presentes na literatura para painéis com a mesma quantidade de lâminas que os produzidos para realização deste trabalho. O comprimento teórico foi calculado através da Equação 6 presente na norma, resultando no valor de 275 milímetros. A largura especificada pela norma é igual a 75 milímetros.

$$C = 25 \cdot e + 50 \geq 50 \text{ mm} \quad (6)$$

Onde:

C - comprimento do corpo de prova (mm);

e - espessura do corpo de prova (mm).

Considerando a distância entre os apoios (L), a norma especifica que a mesma deve ter 25 vezes a espessura do corpo de prova conforme ilustra a figura 22, sendo esse valor igual a 225 milímetros para este trabalho.

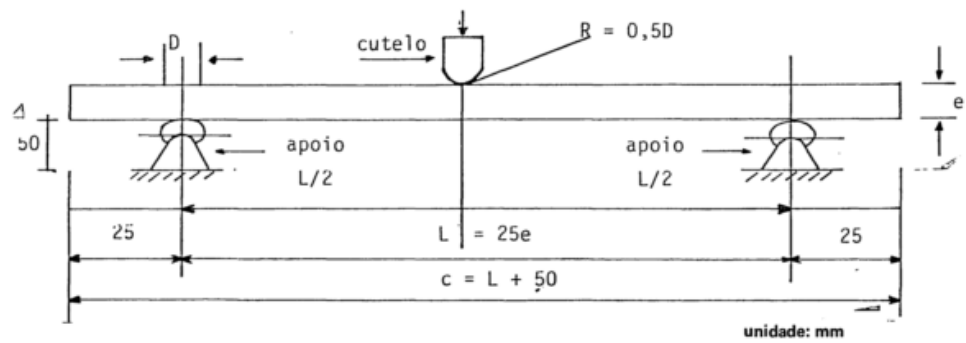


Figura 22 – Arranjo esquemático do posicionamento do corpo de prova na máquina de ensaio. Fonte: ABNT NBR 9533 (1986).

Posteriormente houve a necessidade de calcular a velocidade de aplicação de carga (ver Equação 7) no centro do corpo de prova, sendo igual a 0,047 mm/s.

$$V = \frac{k \cdot L^2}{6 \cdot e} \quad (7)$$

Onde:

V – velocidade de carregamento (mm/s);

$k = 0,00005$ - taxa de deformação das fibras (adimensional);

L – distância entre apoios (mm);

e – espessura do corpo de prova (mm).

Os ensaios de flexão foram realizados em uma máquina universal de ensaios da marca Emic, modelo DL30000, acompanhada de um software onde existe a possibilidade fazer programas de acordo com o tipo de ensaio a ser realizado, disponibilizando os resultados finais, como foi feito nesta ocasião para os valores de MOE. A Figura 23 ilustra o ensaio de flexão estática e máquina utilizada.

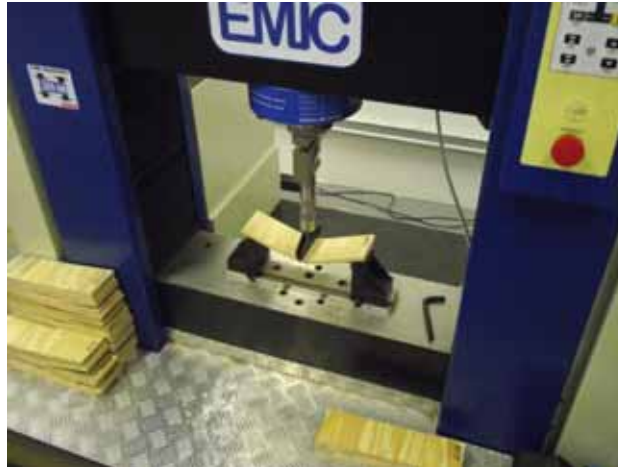


Figura 23 – Momento da realização do ensaio de flexão estática.

Para obtenção dos resultados foram utilizadas as Equações 8 e 9 para a determinação dos módulos de ruptura (MOR) e módulo de elasticidade (MOE) respectivamente, sendo que a última foi inserida no programa da máquina apresentando o resulta final conforme explicado anteriormente. A Figura 24 mostra um dos relatórios finais gerado com os valores de força máxima, equivalente à carga de ruptura na Equação 8, e o valor de MOE em destaque.

$$T_r = \frac{3 \cdot F_{m\acute{a}x} \cdot L}{2 \cdot l \cdot e^2} \quad (8)$$

Onde:

T_r – tensão de ruptura à flexão estática (N/mm²) ou (MPa);

$F_{m\acute{a}x}$ – carga de ruptura (N);

L – distância entre os centros dos apoios (mm);

l – largura do corpo de prova (mm);

e – espessura do corpo de prova (mm).

$$E_b = \frac{L^2 \cdot (F_2 - F_1)}{4 \cdot l \cdot e^2 \cdot (S_2 - S_1)} \quad (9)$$

Onde:

E_b – módulo de elasticidade (N/mm²) ou (MPa);

L – distância entre os centros dos apoios (mm);

l – largura do corpo de prova (mm);

e – espessura do corpo de prova (mm);

$F_2 - F_1$ – incremento de carga, no trecho reto da curva carga-deformação (N);

$S_2 - S_1$ – incremento de deflexão, no ponto central do vão, correspondente ao incremento de carga (mm).

UNESP
Ensaio de flexão em madeira 3 pontos conforme NBR7190

Relatório de Ensaio

Máquina: Emic DL3000N Célula: Trd 26 Extensômetro: - Data: 15/04/2011 Hora: 14:35:57 Trabalho n° **0418**
 Programa: Tesc versão 3.04 Método de Ensaio: flexão compensado NBR-ISO
 Ident. Amostra: >>>>> Cliente: TCC Marcellus Material: Compensado de pinus situação 1 perpendicular Norma: NBR-ISO

Corpo de Prova	Área (mm ²)	Tensão Máxima (MPa)	Deformação a F10% na fase final do ensaio (mm)	Deformação a F40% na fase final do ensaio (mm)	Força Máxima (N)	Mod2 (MPa)
CP 1	19,92	37,27	0,53	1,79	742,29	3213
CP 2	20,45	35,36	0,84	2,90	723,24	3149
CP 3	17,93	38,13	0,75	3,13	683,78	3307
CP 4	18,27	42,15	0,65	2,84	770,18	3499
CP 5	19,67	27,16	0,81	3,61	534,09	2450
CP 6	19,86	34,15	0,94	3,37	678,33	2790
Número CPs	6	6	6	6	6	6
Média	19,35	35,70	0,7518	2,940	688,7	3068
Desv. Padrão	1,007	5,009	0,1454	0,6328	83,35	382,0
Coef. Var. (%)	5,206	14,03	19,35	21,52	12,10	12,45
Mínimo	17,93	27,16	0,5320	1,792	534,1	2450
Máximo	20,45	42,15	0,9411	3,611	770,2	3499

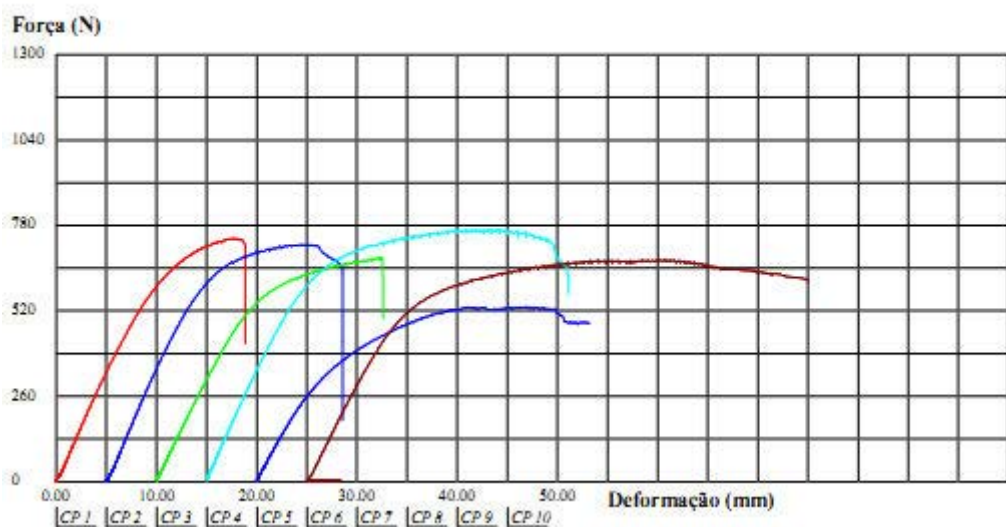


Figura 24 – Exemplo do relatório gerado no ensaio de flexão estática perpendicular para os corpos de prova da situação 1. Em destaque os valores finais do MOE.

- **Qualidade de colagem – Partes 1 e 2 (NBR ISO 12466)**

Os corpos de prova para realização deste ensaio tem uma confecção um pouco mais complexa, uma vez que é necessário fazer dois sulcos perpendiculares às fibras das lâminas externas, sendo os mesmos no centro da peça e em faces opostas, com largura de 25 milímetros como demonstrado na Figura 25. Em relação às dimensões, os corpos de prova possuem 150 por 25 milímetros, e foram produzidos seis unidades para cada situação.

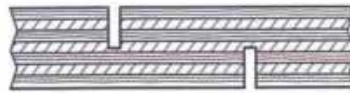


Figura 25 – Ilustração dos sulcos para realização do ensaio. Fonte: ABNT NBR 12466 – Parte 1 (2006).

Inicialmente foram feitas medições da distância entre os dois sulcos e da largura na área de cisalhamento. E, posteriormente, os mesmos foram colocados na máquina de forma que as garras permanecessem com uma distância de 50 milímetros uma da outra (ver Figura 26). Os resultados foram obtidos através da Equação 10 e o relatório com as forças máximas para cada situação gerada pelo *software* da máquina está demonstrado na Figura 27.



Figura 26 – Ilustração do ensaio de cisalhamento na linha de cola.

$$f_v = \frac{F}{L \cdot b} \quad (10)$$

Onde:

f_v – módulo de ruptura do corpo de prova (N/mm²);

F – é a força de ruptura do corpo de prova (N);

l – é comprimento da área sujeita ao cisalhamento (mm);

b – largura da área sujeita ao cisalhamento (mm).

UNESP ITAPEVA

Relatório de Ensaio

Máquina: Emic DL30000N Célula: Trd 29 Extensômetro: - Data: 29/04/2011 Hora: 14:55:10 Trabalho n° **0478**
 Programa: Tesc versão 3.04 Método de Ensaio: cisalhamento na linha de cola em compensados
 Ident. Amostra: >>>>> CLIENTE: TCC Marcellus MATERIAL: Compensado de Pinus situação 1 NORMA: NBR-ISO

Corpo de Prova	larg (mm)	comprimento (mm)	Força @Força Max. (N)
CP 1	25,01	25,83	2143,26
CP 2	25,26	25,29	2143,26
CP 3	25,40	25,59	1439,19
CP 4	25,29	25,49	3344,32
CP 5	25,40	25,76	1801,58
CP 6	25,71	25,27	4421,12
Número CPs	6	6	6
Média	25,34	25,54	2549
Mediana	25,35	25,54	2143
Desv. Padrão	0,2288	0,2336	1119
Coef. Var. (%)	0,9027	0,9148	43,89
Mínimo	25,01	25,27	1439
Máximo	25,71	25,83	4421

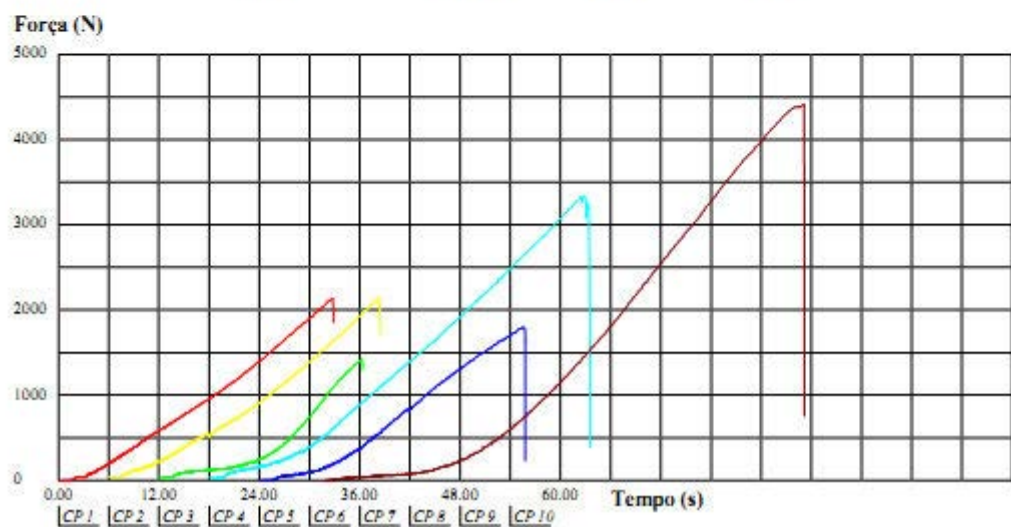


Figura 27 – Exemplo do relatório gerado no ensaio de cisalhamento na linha de cola para os corpos de prova da situação 1.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados serão explanados em itens separados conforme cada ensaio realizado, sendo primeiramente apresentados os ensaios físicos e posteriormente os mecânicos.

5.1. Resultados do ensaio de inchamento

Na realização dos ensaios os corpos de prova que foram imerso em água quando removidos, em parte, apresentaram delaminação total e/ou parcial (ver Figura 28) que as formulações de adesivo analisadas não devem ser utilizadas e aplicadas onde há contato com a umidade.



Figura 28 – Corpo de prova parcialmente (esquerda) e completamente (direita) delaminado.

5.2. Resultados do ensaio de teor de umidade

Considerando os valores médios para cada situação presentes na Tabela 5 e tendo em vista os baixos desvios padrões, não houve diferença significativa dos resultados, conseqüentemente não havendo disparidade entre os adesivos e os dois conjuntos de variáveis de tempo e temperatura.

Tabela 5 – Resultados do ensaio de teor de umidade.

Situação	Temperatura (°C)	Tempo (min)	Adesivo	Média (%)	Desvio Padrão	Máximo (%)	Mínimo (%)
1	60	15	PVA 1810	13,07	0,43	13,45	12,26
2	90	10		13,79	0,43	14,65	13,51
3	60	15	PVA 1060	13,77	0,16	14,01	13,59
4	90	10		13,47	0,23	13,78	13,24
5	60	15	VINYLTEC 239	13,74	0,18	13,94	13,46
6	90	10		13,90	0,33	14,24	13,38

Em comparação ao estudo feito por Dias (2005), os resultados apresentaram-se acima dos valores do adesivo poliuretano a base de mamona e também da uréia e do fenol formaldeído (ver Tabela 6). Iwakiri *et al.* (2006) diz que a faixa ideal do teor de umidade para testes laboratoriais é de 10 a 12%, encontrando-se os mesmo acima desse valor, comprovando que os adesivos a base de PVA não apresentam resistência à umidade, não sendo indicados para uso em contato com água.

Tabela 6 – Valores médios de teor de umidade dos compensados – comparação entre compensados prensados com diferentes adesivos.

Compensados	Teor de Umidade (%)
Poliuretano à base de mamona	10,53
Uréia-formaldeído	10,90
Fenol-formaldeído	10,50

Fonte: Dias (2005).

5.3. Resultados do ensaio de massa específica aparente

Conforme os valores médios e com base nos desvios padrões calculados contidos na Tabela 7, não existiram nenhuma diferença discrepante entre as massas específicas das três formulações dos adesivos testados, levando em conta a pequena diferença num intervalo de 0,05 g/cm³. Entre os adesivos, o que

apresentou resultados mais estáveis foi à formulação PVA 1810, em temperatura de 90°C e tempo de prensagem de 10 minutos, devido também ao pequeno desvio padrão. Uma característica pode ter influenciado o melhor desempenho do adesivo PVA 1810 foi à quantidade de sólidos ser maior que a dos seus pares.

Tabela 7 - Resultados do ensaio de massa específica aparente.

Situação	Temperatura (°C)	Tempo (min)	Adesivo	Média (g/cm ³)	Desvio Padrão	Máximo (g/cm ³)	Mínimo (g/cm ³)
1	60	15	PVA 1810	0,693	0,042	0,732	0,627
2	90	10		0,726	0,020	0,741	0,688
3	60	15	PVA 1060	0,662	0,029	0,699	0,619
4	90	10		0,678	0,029	0,721	0,638
5	60	15	VINYLTEC 239	0,667	0,031	0,702	0,618
6	90	10		0,646	0,049	0,704	0,568

Em relação aos resultados obtidos em estudos anteriores, a formulação que mais se aproxima aos valores apresentados na Tabela 8, foram os obtidos com o adesivo PVA 1810.

Tabela 8 – Valores médios de massa específica aparente dos compensados – comparação entre compensados prensados com diferentes adesivos.

Compensados	Massa específica aparente (g/cm ³)
Poliuretano à base de mamona	0,77
Uréia-formaldeído	0,78
Fenol-formaldeído	0,78

Fonte: Dias (2005).

Já em comparação aos resultados de Almeida (2006) que obteve um valor médio de 0,65 g/cm³ para os painéis de *Pinus elliottii* com adesivo uréia

formaldeído, o adesivo PVA 1810 demonstrou maior valor para essa propriedade, além de apresentar também superioridade entre os adesivos testados. Essa diferença pode-se dar pela diferença da porosidade da madeira utilizada e idade da mesma, influenciando diretamente na permeabilidade do adesivo nas lâminas da madeira.

5.4. Resultados do ensaio de absorção de água

Na Tabela 9 demonstrada abaixo estão contidas as médias das três formulações de adesivo.

Tabela 9 - Resultados do ensaio de absorção de água.

Situação	Temperatura (°C)	Tempo (min)	Adesivo	Média (%)	Desvio Padrão	Máximo (%)	Mínimo (%)
1	60	15	PVA 1810	54,72	7,52	64,18	46,05
2	90	10		54,44	5,31	62,07	46,09
3	60	15	PVA 1060	57,09	7,49	64,52	44,11
4	90	10		57,74	6,11	66,33	50,90
5	60	15	VINYLTEC 239	57,20	10,25	67,71	40,54
6	90	10		53,89	6,83	63,15	42,58

Os valores de absorção de água do PVA 1810 para ambas as temperaturas e tempos de prensagem estão equivalentes aos apresentados no estudo feito por Almeida (2006). Já comparando com os valores contidos no trabalho de Dias (2005), os resultados que mais se aproximaram foram referentes ao adesivo PVA 1810, sendo um pouco maior, indicando mais uma vez que as formulações não devem ser aplicadas em presença de água (ver Tabela 10).

Tabela 10 – Valores médios de absorção de água dos compensados – comparação entre compensados prensados com diferentes adesivos.

Compensados	Absorção de água (%)
Poliuretano à base de mamona	29,35
Uréia-formaldeído	45,90
Fenol-formaldeído	31,00

Fonte: Dias (2005).

5.5. Resultados do ensaio de flexão estática

As médias resultantes dos ensaios de flexão estática para obtenção do módulo de ruptura (MOR) e módulo de elasticidade (MOE) estão representadas a seguir nas Tabelas 11 e 12, respectivamente.

Tabela 11 – Resultados do módulo de ruptura para ensaio de flexão estática.

Situação	Sentido	Temperatura (°C)	Tempo (min)	Adesivo	Média (N/mm ²)	Desvio Padrão	Máximo (N/mm ²)	Mínimo (N/mm ²)
1	Paralelo	60	15	PVA 1810	60,25	9,64	70,19	47,23
1	Perpendicular	60	15		35,70	5,01	42,15	27,16
2	Paralelo	90	10		67,54	9,30	78,74	50,65
2	Perpendicular	90	10		36,92	2,23	39,10	34,64
3	Paralelo	60	15	PVA 1060	53,18	5,51	59,39	47,59
3	Perpendicular	60	15		28,35	4,82	35,94	21,51
4	Paralelo	90	10		58,43	5,03	65,64	53,39
4	Perpendicular	90	10		33,34	5,09	38,12	25,66
5	Paralelo	60	15	VINYLTEC 239	41,23	12,12	57,20	26,92
5	Perpendicular	60	15		33,85	10,48	51,50	25,81
6	Paralelo	90	10		25,22	13,13	46,21	10,37
6	Perpendicular	90	10		15,17	9,88	28,69	5,42

Tabela 12 – Resultados do módulo de elasticidade para ensaio de flexão estática.

Situação	Sentido	Temperatura (°C)	Tempo (min)	Adesivo	Média (N/mm ²)	Desvio Padrão	Máximo (N/mm ²)	Mínimo (N/mm ²)
1	Paralelo	60	15	PVA 1810	7685,17	2887,76	11380	4157
1	Perpendicular	60	15		3068,00	382,01	3499	2450
2	Paralelo	90	10		8535,67	1744,11	10000	5750
2	Perpendicular	90	10		3129,33	187,57	3443	2936
3	Paralelo	60	15	PVA 1060	6163,00	1751,13	9212	4538
3	Perpendicular	60	15		2203,00	293,30	2523	1756
4	Paralelo	90	10		8454,17	628,63	8969	7653
4	Perpendicular	90	10		2739,33	345,38	3029	2286
5	Paralelo	60	15	VINYLTEC 239	5522,67	2680,26	8693	2096
5	Perpendicular	60	15		3082,67	1664,26	5345	1717
6	Paralelo	90	10		2748,20	1633,49	4599	1053
6	Perpendicular	90	10		1282,00	833,97	2292	265

Como já eram esperados, os resultados dos ensaios realizados com os corpos de prova no sentido paralelo às fibras foram superiores aos no sentido perpendicular as fibras.

De acordo com a Tabela 13 apresentada anteriormente, o adesivo que apresentou melhor média de módulo de ruptura, em ambos os sentidos, foi o PVA 1810, seguido do PVA 1060 e Vinyltec 239. Isso se deve ao fato do mesmo ter maior porcentagem de teor de sólidos e menor viscosidade, refletindo em uma maior quantidade de adesivo após o processo de cura além da maior fluidez e facilidade de uma aplicação homogênea na montagem do painel (ver Figura 29). Tendo em vista ainda o processo de cura, as variáveis temperatura e tempo de prensagem presentes nesta etapa, exerceram influência no desempenho dos painéis, sendo que para os adesivos PVA 1810 e PVA 1060 a temperatura de 90 °C e tempo de prensagem igual 10 minutos interferiram positivamente no módulo de ruptura dos corpos de prova.

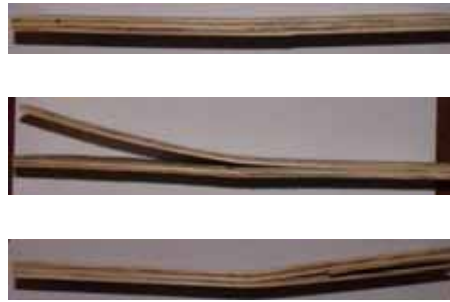


Figura 29 – Corpos de prova após ensaio de flexão estática.

Em relação aos valores obtidos para módulos de elasticidade, pode-se dizer que os adesivos apresentaram a mesma ordem no desempenho do módulo de ruptura.

De acordo com os valores apresentados por Dias (2005) na Tabela 13 abaixo, o único dos adesivos estudados nesse trabalho que mais aproxima se aos valores de módulo de ruptura e elasticidade dos comerciais utilizados na produção do compensado é o PVA 1810, sendo curado em temperatura de 90 °C e tempo de prensagem igual a 10 minutos.

Tabela 13 - Valores médios de MOR e MOE na flexão estática - comparação entre compensados prensados com diferentes adesivos.

Compensados	Flexão estática paralela às fibras		Flexão estática perpendicular às fibras	
	MOE (MPa)	MOR (MPa)	MOE (MPa)	MOR (MPa)
Poliuretano à base de mamona	11018,50	85,25	5631,25	47,00
Uréia-formaldeído	10056,00	78,00	3951,00	41,00
Fenol-formaldeído	11221,00	86,00	5127,00	44,00

Fonte: Dias (2005).

5.7. Resultados do ensaio de cisalhamento na linha de cola

De acordo aos valores apresentados na Tabela 14, as duas melhores médias são referentes ao adesivo Vinyltec 239, apresentando somente nesse tipo de

ensaio valores superiores as outras formulações. Entretanto é importante ressaltar que o menor desvio padrão, devido ao mesmo apresentar maior uniformidade nos resultados, é referente à formulação PVA 1810, que mais se destacou em todos os ensaios. Considerando as variáveis tempo e temperatura de prensagem, houve uma discordância no valor do Vinyltec 239, pois nos ensaios anteriores os melhores valores foram para 60°C de temperatura e 15 minutos.

Tabela 14 – Resultados do ensaio de cisalhamento na linha de cola.

Situação	Temperatura (°C)	Tempo (min)	Adesivo	Média (N/mm ²)	Desvio Padrão	Máximo (N/mm ²)	Mínimo (N/mm ²)
1	60	15	PVA 1810	3,94	1,73	6,80	2,21
2	90	10		3,76	0,61	4,31	2,58
3	60	15	PVA 1060	3,43	1,37	4,93	1,58
4	90	10		3,83	1,67	5,92	1,97
5	60	15	VINYLTEC 239	4,55	2,00	6,82	1,76
6	90	10		4,91	0,93	6,48	3,83

Uma vez os resultados comparados com os valores da Tabela 15, apresentaram-se superiores aos adesivos comercialmente utilizados. Os valores de porcentagem de falha não foram apresentados anteriormente (ver Tabela 14), pois a norma exige os mesmos somente quanto a tensão de ruptura é inferior a 1 MPa.

Tabela 15 - Valores médios de tensão de ruptura e falha na madeira - comparação entre compensados prensados com diferentes adesivos.

Resistência da colagem ao esforço de cisalhamento						
Compensados	TR (MPa)	Falha (%)	TR (MPa)	Falha (%)	TR (MPa)*	Falha (%)*
Poliuretano à base de mamona	3,43	57,50	2,54	27,50	0,85	7,50
Uréia-formaldeído	2,03	30,00	1,55	20,00	*	*
Fenol-formaldeído	2,70	80,00	2,00	40,00	1,80	10,00

Fonte: Dias (2005).

* Corpos de prova que delaminaram na fervura.

Devido à alta elasticidade dos adesivos testados, esses apresentaram uma maior resistência ao esforço de cisalhamento em comparação com os adesivos comumente utilizados para produção de painéis de compensado, pois os adesivos testados neste estudo apresentam como característica principal o comportamento elasto-plástico que favoreceu a maior deformação sofrida pelos painéis testados.

6. CONCLUSÃO

Através dos resultados obtidos para as três formulações dos adesivos, a que mais se destacou foi o PVA 1810 apresentando maiores valores de massa específica aparente e de resistência à flexão estática tanto do módulo de ruptura quanto do módulo de elasticidade para as direções paralela e perpendicular às fibras. Comparando os valores com as literaturas consultadas, o adesivo em destaque demonstrou comportamento igual e/ou inferior, não sendo indicada a substituição em aplicação que necessitem de um desempenho de flexão igual aos adesivos comumente utilizados na produção desse tipo de painel.

Considerando os ensaios físicos de contato com água, primeiramente na análise do inchamento não foi possível obter-se resultados uma vez que as amostras apresentaram delaminação. Em segundo lugar, para o ensaio de absorção de água, os valores demonstrados apresentaram-se próximos e/ou acima dos adesivos comumente utilizados no caso a uréia e o fenol, confirmando o quão propício é a absorção de água por esses adesivos em presença de umidade. Pode-se dizer então, que todas as formulações não devem ser empregadas em ambientes com alto teor de umidade, podendo prejudicar não só o desempenho físico como o também o desempenho mecânico dos painéis.

Para o ensaio de cisalhamento na linha de cola a formulação que apresentou melhor desempenho foi o Vinyltec 239, devido à mesma ter um melhor desempenho elasto-plástico em solicitação desse tipo de esforço. Apesar dos outros adesivos não terem mostrado valores superiores ao Vinyltec 239, em comparação com a literatura, os resultados das outras duas formulações foram superiores, conseqüentemente sendo satisfatórios. Apesar do Vinyltec 239 ter demonstrado valores superiores às outras formulações, em aplicações onde não só essa propriedade é solicitada, conforme ocorre normalmente, não seria ideal a utilização do mesmo.

Tendo em vista as variáveis de produção na realização do trabalho, como os resultados não apontaram de um modo geral, para uma melhor combinação de temperatura e tempo de prensagem, não se pode chegar a qual das duas seria a melhor combinação para o bom desempenho dos painéis após fabricação. Com a

finalidade de ter uma melhor avaliação dessas variáveis, seria necessário um estudo com painéis produzidos a partir de uma só formulação de adesivo, conseguindo chegar a uma possível influência das variáveis no desempenho dos mesmos.

De forma geral, o adesivo que apresentou melhor comportamento foi o PVA 1810, podendo ser utilizado conforme as considerações explicitadas anteriormente.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, V. C. **EFEITO DA ADIÇÃO DE CARGA E EXTENSOR NAS PROPRIEDADES DO ADESIVO URÉIA-FORMALDEÍDO E DOS COMPENSADOS DE PINUS E PARICÁ.** 2007. 75 f. Dissertação (Pós-graduação) - UFV, Viçosa, 2009.

ARTECOL PVA 1060. Campo Bom: Artecola, 11 nov. 2009. Boletim Técnico.

ARTECOL PVA 1810. Campo Bom: Artecola, 26 ago. 2009. Boletim Técnico.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE - ABIMCI. **Adesivos.** Curitiba, n.7, ago. 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE - ABIMCI. **Fluxograma de produção de compensado de madeira.** Curitiba, n.20, jun. 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9484:** Compensado - Determinação do teor de umidade. Rio de Janeiro, 1986. 2 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9485:** Compensado - Determinação da massa específica aparente. Rio de Janeiro, 1986. 3 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9486:** Compensado - Determinação da absorção de água. Rio de Janeiro, 1986. 3 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9533:** Compensado - Determinação da resistência flexão estática. Rio de Janeiro, 1986. 5 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9535:** Compensado - Determinação do inchamento. Rio de Janeiro, 1986. 3 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12466-1:** Madeira compensada - Qualidade de colagem - Parte 1. Rio de Janeiro, 2006. 6 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12466-2:** Madeira compensada - Qualidade de colagem - Parte 2. Rio de Janeiro, 2006. 4 p.

BODIG, J.; JAYNE, B. A. **Mechanics of wood and wood composites.** 2ª Edição Florida - Usa: Krieger Publishing, 1993. 712 p.

BORTOLETTO JR, G.; GARCIA, J. N. Propriedades de Resistência e Rigidez à Flexão Estática de Painéis OSB e Compensados. **Revista Árvore**, Viçosa, v.28, n.4, p. 563-570, 2004.

CONNER, A. H.. **Wood adhesives:** Encyclopedia of materials : science and technology. Amsterdam: New York : Elsevier Science, 2001. 9583-9599 p.

DIAS, F. M. **Aplicação de Resina Poliuretana à Base de Mamona na Fabricação de Painéis de Madeira Compensada e Aglomerada**. 2005. 116 f. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

ELEOTÉRIO, J. R. **Propriedades físicas e mecânicas de painéis MDF de diferentes densidades e teores de resina**. 2000. 122f. Dissertação (Mestrado em Ciências – Ciência e Tecnologia de Madeiras) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, ESALQ, Piracicaba, 2000.

FRIHART, C. R.; HUNT, C. G. Adhesives with wood materials - Bond formation and performance. Forest Products Laboratory. **Wood Handbook – Wood as an engineering material**. Gen. Tech. Rep. FPL–GTR–190. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 2010. cap.10, p. 228-249.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (Org.). **Produção Nacional - Produtos Madeiros - Compensado**. Disponível em: <<http://www.madeiratotal.com.br/materia.php?id=94>>. Acesso em: 06 fev. 2011.

GONÇALVES, M. T. T. **Processamento da madeira**. Bauru, SP, 2000. p. 213-214.

HAUBRICH, J. L.; GONÇALVES, C.; TONET, A. Adesivos vinílicos apresentam soluções para madeira. **Revista da Madeira**, n. 103, ano 17, mar. 2007. Disponível em: <http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=1059&subject=A adesivos&title=Adesivos%20vin%EDlicos%20apresentam%20solu%E7%F5es%20par a%20madeira>. Acesso em: 29 dez. 2010.

IWAKIRI, S. **Painéis de madeira reconstituída**. Curitiba: FUPEF, 2005. p. 3-109.

IWAKIRI, S. et al. Avaliação da Qualidade do Compensado Fenólico de Eucalyptus Grandis. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 16, n. 4, p.437-443, 2006.

IWAKIRI, S. et al. PRODUÇÃO DE COMPENSADOS DE *Pinus taeda* L. E *Pinus oocarpa* Schiede COM DIFERENTES FORMULAÇÕES DE URÉIA FORMALDEÍDO. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 3, n. 26, p. 371-375, 2002.

IWAKIRI, S.; SALDANHA, L. K. Painéis. **Revista da Madeira**, n.68, ano 12, dez. 2002. Disponível em: <http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=268&subject=Painéis&title=Painéis>. Acesso em: 5 mai. 2011.

JANKOWSKY, I. P. et al. QUALIDADE DAS LÂMINAS DE *Pinus strobus* (MARTINEZ) var. *chiapensis*. **Ipef**, Agudos, n. 16, p.50-59, 1978.
KOLLMANN, F. F. P.; KUENZI, E. W.; STAMM, A. J. **Principles of wood science and technology II – Wood based materials**. New York: Springer-Verlag, 1975. 702 p.

LOPES, M.; GARCIA, A. Controle da qualidade na colagem de painéis de madeira. **Revista da Madeira**, n.89, ano 15, abr. 2005. Disponível em: <[http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=728&subject=Adesivo&title=Controle da qualidade na colagem de painéis de madeira](http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=728&subject=Adesivo&title=Controle%20da%20qualidade%20na%20colagem%20de%20pain%C3%A9is%20de%20madeira)>. Data de acesso: 5 mai. 2011.

MALONEY, T. M. **Modern Particleboard & Manufacturing**. Updated Edition
United States Of America: Forest Products Society, 1993. 681 p.

OLIVEIRA, M. P.; DANTAS, W. C. V. Evolução dos adesivos ecologicamente corretos para o setor madeireiro. In: II SEMINÁRIO DE PRODUTOS SÓLIDOS DE MADEIRA DE EUCALIPTO – SIF. **Revista da Madeira**, set. 2003.

REVISTA DA MADEIRA. **A indústria brasileira de painéis de madeira**. Disponível em:

<http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=331&subject=Mercado&title=A%20ind%C3%BAstria%20brasileira%20de%20pain%C3%A9is%20de%20madeira>. Acesso em: 06 fev. 2011.

REVISTA DA MADEIRA. **Compensado prioriza qualidade para competir**. Disponível em:

<http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=871&subject=Compensado&title=Compensado%20prioriza%20qualidade%20para%20competir>. Acesso em: 06 fev. 2011.

REVISTA DA MADEIRA. **Crescimento das exportações de compensado de pinus e perspectivas**. Disponível em:

<http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=966&subject=Mercado>. Acesso em: 06 fev. 2011.

REVISTA DA MADEIRA. **Evolução na produção do compensado**. Disponível em: <[http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=326&subject=Compensado 2&title=Evolução na produção do compensado](http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=326&subject=Compensado%202&title=Evolu%C3%A7%C3%A3o%20na%20produ%C3%A7%C3%A3o%20do%20compensado)>. Acesso em: 06 fev. 2011.

STAMATO, G. C.; CALIL JUNIOR, C. Madeira compensada: estrutura interna, composição e comportamento estrutural. **Madeira: Arquitetura e Engenharia**, v. 4, n. 10, jan./jun. 2003. 1 CD-ROM.

STARK, N. M.; ZHIYONG, C.; CARLL, C. Wood-based composite materials. Forest Products Laboratory. **Wood Handbook – Wood as an engineering material**. Gen. Tech. Rep. FPL–GTR–190. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 2010. cap. 11, p. 252-258.

UMAÑA, C. L. A.; BRITO, E. O. Cozimento da madeira altera qualidade das lâminas. **Revista da madeira**, n.78, ano 14, fev. 2004. Disponível em: <[http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=485&subject=Lâminas&title=Cozimento da madeira altera qualidade das lâminas](http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=485&subject=L%C3%A2minas&title=Cozimento%20da%20madeira%20altera%20qualidade%20das%20l%C3%A2minas)>. Acesso em: 29 dez. 2010.

VICK, C. B. Adhesive bonding of wood materials. Forest Products Laboratory. **Wood Handbook – Wood as an engineering material**. Gen. Tech. Rep. FPL–GTR–113. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 1999. cap.9, p.199-222.

VINYLTEC 239. Campo Bom: Arteccla, 27 jan. 2010. Boletim Técnico.

WILLIAMS, R. S. Finishing of wood. Forest Products Laboratory. **Wood Handbook – Wood as an engineering material**. Gen. Tech. Rep. FPL–GTR–190. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 2010. cap. 16, p. 371.

APÊNDICE

APÊNDICE A – TABELAS DOS RESULTADOS OBTIDOS NO ENSAIO DE FLEXÃO ESTÁTICA.

Tabela 1 A – Resultados do ensaio de flexão estática para o adesivo PVA 1810 em temperatura de 60 °C e tempo de prensagem de 15 minutos (Situação 1).

Código corpo de prova	Espessura (mm)	Largura (mm)	F máx (N)	MOE (N/mm ²)	MOR (N/mm ²)
1A1	9,66	75,73	1396,81	8418	66,71
1A2	9,69	75,69	1314,48	7849	62,42
1A1P	9,42	75,75	742,29	3213	37,27
1A2P	9,55	75,69	723,24	3149	35,36
2A1	9,27	75,72	1353,26	11380	70,19
2A2	9,34	75,65	1283,87	9843	65,66
2A1P	8,94	75,72	683,78	3307	38,13
2A2P	9,03	75,63	770,18	3499	42,15
3A1	9,13	75,65	882,45	4157	47,23
3A2	9,21	75,62	936,20	4464	49,26
3A1P	9,36	75,76	534,09	2450	27,16
3A2P	9,41	75,70	678,33	2790	34,15

Tabela 2 A – Resultados do ensaio de flexão estática para o adesivo PVA 1810 em temperatura de 90 °C e tempo de prensagem de 10 minutos (Situação 2).

Código corpo de prova	Espessura (mm)	Largura (mm)	F máx (N)	MOE (N/mm ²)	MOR (N/mm ²)
4A1	9,27	75,64	1516,55	10000	78,74
4A2	9,08	75,66	1260,05	9974	68,17
4A1P	9,29	75,62	689,22	3443	35,64
4A2P	9,30	75,78	653,16	2975	33,63
5A1	9,46	75,73	1017,16	8573	50,65
5A2	9,44	75,69	1434,23	9728	71,76
5A1P	9,39	75,75	832,10	3236	42,05
5A2P	9,44	75,47	720,52	2936	36,16
6A1	8,98	75,69	1252,57	7189	69,26
6A2	9,02	75,46	1212,43	5750	66,65
6A1P	9,42	75,68	760,66	3127	38,23
6A2P	9,32	75,63	697,38	3059	35,83

Tabela 3 A – Resultados do ensaio de flexão estática para o adesivo PVA 1060 em temperatura de 60 °C e tempo de prensagem de 15 minutos (Situação 3).

Código corpo de prova	Espessura (mm)	Largura (mm)	F máx (N)	MOE (N/mm ²)	MOR (N/mm ²)
1B1	9,28	75,69	1122,62	5748	58,13
1B2	9,46	75,70	1192,02	5979	59,39
1B1P	9,44	75,69	588,52	2411	29,45
1B2P	9,20	75,70	538,86	2152	28,38
2B1	9,39	75,76	949,80	4557	47,99
2B2	9,47	75,66	986,54	4538	49,07
2B1P	9,47	75,80	723,92	2523	35,94
2B2P	9,38	75,58	580,36	2390	29,45
3B1	9,47	75,67	1144,39	9212	56,91
3B2	9,63	75,75	990,63	6944	47,59
3B1P	9,42	75,80	428,64	1986	21,51
3B2P	9,51	75,65	513,68	1756	25,34

Tabela 4 A – Resultados do ensaio de flexão estática para o adesivo PVA 1060 em temperatura de 90 °C e tempo de prensagem de 10 minutos (Situação 4).

Código corpo de prova	Espessura (mm)	Largura (mm)	F máx (N)	MOE (N/mm ²)	MOR (N/mm ²)
4B1	9,17	75,67	1237,60	8902	65,64
4B2	9,29	75,69	1232,84	8911	63,70
4B1P	9,10	75,76	527,29	2310	28,37
4B2P	9,11	75,66	669,49	2992	35,98
5B1	9,48	75,61	1074,99	7661	53,39
5B2	9,41	75,70	1122,62	7653	56,52
5B1P	9,20	75,74	661,32	2931	34,82
5B2P	9,21	75,75	488,51	2286	25,66
6B1	9,36	75,72	1115,13	8969	56,73
6B2	9,23	75,71	1043,01	8629	54,58
6B1P	9,26	75,74	713,71	2888	37,09
6B2P	9,25	75,69	731,40	3029	38,12

Tabela 5 A – Resultados do ensaio de flexão estática para o adesivo VINYLTEC 239 em temperatura de 60 °C e tempo de prensagem de 15 minutos (Situação 5).

Código corpo de prova	Espessura (mm)	Largura (mm)	F máx (N)	MOE (N/mm ²)	MOR (N/mm ²)
1C1	9,38	75,69	1128,74	8693	57,20
1C2	9,48	75,61	1035,53	7749	51,43
1C1P	9,42	75,68	521,17	1885	26,19
1C2P	9,36	75,66	591,93	2504	30,14
2C1	9,59	75,71	879,72	6350	42,64
2C2	9,75	75,61	871,56	5636	40,92
2C1P	9,54	75,74	527,2	1717	25,81
2C2P	9,58	75,67	569,47	1988	27,68
3C1	9,32	75,71	550,42	2612	28,25
3C2	9,39	75,64	532,05	2096	26,92
3C1P	9,15	75,63	966,13	5057	51,50
3C2P	9,23	75,75	798,76	5345	41,77

Tabela 6 A – Resultados do ensaio de flexão estática para o adesivo VINYLTEC 239 em temperatura de 90 °C e tempo de prensagem de 10 minutos (Situação 6).

Código corpo de prova	Espessura (mm)	Largura (mm)	F máx (N)	MOE (N/mm ²)	MOR (N/mm ²)
4C1	9,71	75,69	977,02	4599	46,21
4C2	10,00	75,74	714,39	2387	31,83
4C1P	9,59	75,77	274,87	759	13,31
4C2P	9,40	75,70	212,28	1151	10,71
5C1	9,63	75,72	215,68	-	10,37
5C2	9,53	75,73	316,37	1398	15,52
5C1P	9,66	75,75	113,62	-	5,42
5C2P	9,61	75,67	142,20	265	6,87
6C1	10,21	75,78	428,64	1053	18,31
6C2	9,83	75,81	631,39	4304	29,09
6C1P	9,29	75,74	504,16	1943	26,03
6C2P	9,23	75,72	548,38	2292	28,69

APÊNDICE B – TABELAS DOS RESULTADOS OBTIDOS NO ENSAIO DE TEOR DE UMIDADE.

Tabela 1 B – Resultados do ensaio de teor de umidade para o adesivo PVA 1810 em temperatura de 60 °C e tempo de prensagem de 15 minutos (Situação 1).

Códigos corpos de prova	Massa úmida (g)	Massa seca (g)	TU (%)
1A1	35,81	31,90	12,26
1A2	34,06	30,15	12,97
2A1	34,45	30,45	13,14
2A2	33,63	29,70	13,23
3A1	29,69	26,17	13,45
3A2	31,54	27,82	13,37

Tabela 2 B – Resultados do ensaio de teor de umidade para o adesivo PVA 1810 em temperatura de 90 °C e tempo de prensagem de 10 minutos (Situação 2).

Códigos corpos de prova	Massa úmida (g)	Massa seca (g)	TU (%)
4A1	34,54	30,40	13,62
4A2	34,44	30,33	13,55
5A1	34,98	30,51	14,65
5A2	33,21	29,21	13,69
6A1	34,72	30,54	13,69
6A2	33,94	29,90	13,51

Tabela 3 B – Resultados do ensaio de teor de umidade para o adesivo PVA 1060 em temperatura de 60 °C e tempo de prensagem de 15 minutos (Situação 3).

Códigos corpos de prova	Massa úmida (g)	Massa seca (g)	TU (%)
1B1	32,46	28,47	14,01
1B2	32,47	28,51	13,89
2B1	31,89	28,05	13,69
2B2	31,41	27,60	13,80
3B1	30,22	26,59	13,65
3B2	32,18	28,33	13,59

Tabela 4 B – Resultados do ensaio de teor de umidade para o adesivo PVA 1060 em temperatura de 90 °C e tempo de prensagem de 10 minutos (Situação 4).

Códigos corpos de prova	Massa úmida (g)	Massa seca (g)	TU (%)
4B1	30,14	26,49	13,78
4B2	31,09	27,34	13,72
5B1	33,16	29,23	13,45
5B2	34,38	30,36	13,24
6B1	32,68	28,86	13,24
6B2	32,54	28,69	13,42

Tabela 5 B – Resultados do ensaio de teor de umidade para o adesivo VINYLTEC 239 em temperatura de 60 °C e tempo de prensagem de 15 minutos (Situação 5).

Códigos corpos de prova	Massa úmida (g)	Massa seca (g)	TU (%)
1C1	31,96	28,13	13,62
1C2	30,69	27,05	13,46
2C1	33,41	29,36	13,79
2C2	31,72	27,85	13,90
3C1	32,78	28,77	13,94
3C2	33,74	29,67	13,72

Tabela 6 B – Resultados do ensaio de teor de umidade para o adesivo VINYLTEC 239 em temperatura de 90 °C e tempo de prensagem de 10 minutos (Situação 6).

Códigos corpos de prova	Massa úmida (g)	Massa seca (g)	TU (%)
4C1	33,54	29,42	14,00
4C2	34,36	30,18	13,85
5C1	29,71	26,01	14,23
5C2	27,60	24,16	14,24
6C1	31,72	27,89	13,73
6C2	32,88	29,00	13,38

APÊNDICE C – TABELAS DOS RESULTADOS OBTIDOS NO ENSAIO DE MASSA ESPECÍFICA APARENTE.

Tabela 1 C – Resultados do ensaio de massa específica aparente referente ao adesivo PVA 1810 em temperatura de 60 °C e tempo de prensagem de 15 minutos (Situação 1).

Códigos corpos de prova	Massa (g)	Média comprimento (cm)	Média largura (cm)	Média espessura (cm)	Densidade (g/cm ³)
1A1	35,81	10,06	5,10	0,96	0,728
1A2	34,06	10,06	5,11	0,96	0,692
2A1	34,45	10,05	5,11	0,92	0,732
2A2	33,63	10,03	5,11	0,92	0,716
3A1	29,69	10,05	5,10	0,92	0,627
3A2	31,54	10,05	5,10	0,93	0,660

Tabela 2 C – Resultados do ensaio de massa específica aparente referente ao adesivo PVA 1810 em temperatura de 90 °C e tempo de prensagem de 10 minutos (Situação 2).

Códigos corpos de prova	Massa (g)	Média comprimento (cm)	Média largura (cm)	Média espessura (cm)	Densidade (g/cm ³)
4A1	34,54	10,06	5,10	0,91	0,737
4A2	34,44	10,05	5,10	0,91	0,741
5A1	34,98	10,05	5,10	0,95	0,719
5A2	33,21	10,05	5,10	0,94	0,688
6A1	34,72	10,06	5,10	0,92	0,739
6A2	33,94	10,07	5,10	0,90	0,734

Tabela 3 C – Resultados do ensaio de massa específica aparente referente ao adesivo PVA 1060 em temperatura de 60 °C e tempo de prensagem de 15 minutos (Situação 3).

Códigos corpos de prova	Massa (g)	Média comprimento (cm)	Média largura (cm)	Média espessura (cm)	Densidade (g/cm ³)
1B1	32,46	10,07	5,01	0,92	0,699
1B2	32,47	10,06	5,09	0,92	0,691
2B1	31,89	10,09	5,10	0,94	0,658
2B2	31,41	10,09	5,12	0,94	0,647
3B1	30,22	10,06	5,10	0,95	0,619
3B2	32,18	10,06	5,10	0,95	0,657

Tabela 4 C – Resultados do ensaio de massa específica aparente referente ao adesivo PVA 1060 em temperatura de 90 °C e tempo de prensagem de 10 minutos (Situação 4).

Códigos corpos de prova	Massa (g)	Média comprimento (cm)	Média largura (cm)	Média espessura (cm)	Densidade (g/cm ³)
4B1	30,14	10,05	5,10	0,92	0,638
4B2	31,09	10,06	5,10	0,93	0,654
5B1	33,16	10,10	5,09	0,93	0,690
5B2	34,38	10,11	5,10	0,92	0,721
6B1	32,68	10,06	5,09	0,93	0,685
6B2	32,54	10,07	5,10	0,93	0,678

Tabela 5 C – Resultados do ensaio de massa específica aparente referente ao adesivo VINYLTEC 239 em temperatura de 60 °C e tempo de prensagem de 15 minutos (Situação 5).

Códigos corpos de prova	Massa (g)	Média comprimento (cm)	Média largura (cm)	Média espessura (cm)	Densidade (g/cm ³)
1C1	31,96	10,05	5,10	0,94	0,667
1C2	30,69	10,05	5,09	0,93	0,643
2C1	33,41	10,04	5,09	0,95	0,686
2C2	31,72	10,56	5,10	0,95	0,618
3C1	32,78	10,07	5,09	0,93	0,687
3C2	33,74	10,08	5,09	0,94	0,702

Tabela 6 C – Resultados do ensaio de massa específica aparente referente ao adesivo VINYLTEC 239 em temperatura de 90 °C e tempo de prensagem de 10 minutos (Situação 6).

Códigos corpos de prova	Massa (g)	Média comprimento (cm)	Média largura (cm)	Média espessura (cm)	Densidade (g/cm ³)
4C1	33,54	10,08	5,09	0,96	0,685
4C2	34,36	10,08	5,11	0,95	0,704
5C1	29,71	10,11	5,09	0,94	0,615
5C2	27,60	10,10	5,10	0,94	0,568
6C1	31,72	10,10	5,10	0,95	0,649
6C2	32,88	10,10	5,10	0,97	0,659

APÊNDICE D – TABELAS DOS RESULTADOS OBTIDOS NO ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA.

Tabela 1 D – Resultados do ensaio de absorção de água referente ao adesivo PVA 1810 em temperatura de 60 °C e tempo de prensagem de 15 minutos (Situação 1).

Códigos corpos de prova	Massa final (g)	Massa inicial (g)	TU (%)
1A1	18,68	12,79	46,05
1A2	19,39	11,81	64,18
2A1	18,57	12,10	53,47
2A2	17,99	11,82	52,20
3A1	17,72	10,84	63,47
3A2	17,56	11,79	48,94

Tabela 2 D – Resultados do ensaio de absorção de água referente ao adesivo PVA 1810 em temperatura de 90 °C e tempo de prensagem de 10 minutos (Situação 2).

Códigos corpos de prova	Massa final (g)	Massa inicial (g)	TU (%)
4A1	18,56	12,14	52,88
4A2	19,78	13,54	46,09
5A1	19,14	11,81	62,07
5A2	18,77	12,28	52,85
6A1	18,55	11,89	56,01
6A2	18,67	11,91	56,76

Tabela 3 D – Resultados do ensaio de absorção de água referente ao adesivo PVA 1060 em temperatura de 60 °C e tempo de prensagem de 15 minutos (Situação 3).

Códigos corpos de prova	Massa final (g)	Massa inicial (g)	TU (%)
1B1	19,58	12,50	56,64
1B2	17,61	12,22	44,11
2B1	18,40	11,47	60,42
2B2	19,79	12,14	63,01
3B1	19,38	11,78	64,52
3B2	18,43	11,98	53,84

Tabela 4 D – Corpos de prova para ensaio de absorção de água compostos pelo adesivo PVA 1060 em temperatura de 90 °C e tempo de prensagem de 10 minutos (Situação 4).

Códigos corpos de prova	Massa final (g)	Massa inicial (g)	TU (%)
4B1	19,39	12,33	57,26
4B2	18,48	11,99	54,13
5B1	17,76	11,54	53,90
5B2	19,56	11,76	66,33
6B1	19,95	12,17	63,93
6B2	18,41	12,20	50,90

Tabela 5 D – Corpos de prova para ensaio de absorção de água compostos pelo adesivo VINYLTEC 239 em temperatura de 60 °C e tempo de prensagem de 15 minutos (Situação 5).

Códigos corpos de prova	Massa final (g)	Massa inicial (g)	TU (%)
1C1	18,14	11,81	53,60
1C2	19,21	11,78	63,07
2C1	19,32	11,67	65,55
2C2	18,94	12,40	52,74
3C1	18,06	12,85	40,54
3C2	20,88	12,45	67,71

Tabela 6 D – Corpos de prova para ensaio de absorção de água compostos pelo adesivo VINYLTEC 239 em temperatura de 90 °C e tempo de prensagem de 10 minutos (Situação 6).

Códigos corpos de prova	Massa final (g)	Massa inicial (g)	TU (%)
4C1	18,05	12,66	42,58
4C2	19,15	12,36	54,94
5C1	18,34	11,92	53,86
5C2	18,24	11,18	63,15
6C1	19,49	12,87	51,44
6C2	20,46	13,00	57,38

**APÊNDICE E – TABELAS DOS RESULTADOS OBTIDOS NO ENSAIO DE
CISALHAMENTO NA LINHA DE COLA.**

Tabela 1 E – Resultados do ensaio de qualidade de colagem referente ao adesivo PVA 1810 em temperatura de 60 °C e tempo de prensagem de 15 minutos (Situação 1).

Código corpo de prova	Comprimento da área sujeita ao cisalhamento (mm)	Largura da área sujeita ao cisalhamento (mm)	Força de ruptura (N)	Força de cisalhamento (N/mm ²)
1A1	25,01	25,83	2143,26	3,32
1A2	25,26	25,29	2143,26	3,36
2A1	25,4	25,59	1439,19	2,21
2A2	25,29	25,49	3344,32	5,19
3A1	25,4	25,76	1801,58	2,75
3A2	25,71	25,27	4421,12	6,80

Tabela 2 E – Resultados do ensaio de qualidade de colagem referente ao adesivo PVA 1810 em temperatura de 90 °C e tempo de prensagem de 10 minutos (Situação 2).

Código corpo de prova	Comprimento da área sujeita ao cisalhamento (mm)	Largura da área sujeita ao cisalhamento (mm)	Força de ruptura (N)	Força de cisalhamento (N/mm ²)
4A1	25,47	25,70	2588,48	3,95
4A2	25,32	25,45	2650,60	4,11
5A1	25,46	25,76	2474,59	3,77
5A2	25,36	25,50	1666,98	2,58
6A1	25,61	25,65	2536,71	3,86
6A2	25,34	25,52	2785,20	4,31

Tabela 3 E – Resultados do ensaio de qualidade de colagem referente ao adesivo PVA 1060 em temperatura de 60 °C e tempo de prensagem de 15 minutos (Situação 3).

Código corpo de prova	Comprimento da área sujeita ao cisalhamento (mm)	Largura da área sujeita ao cisalhamento (mm)	Força de ruptura (N)	Força de cisalhamento (N/mm ²)
1B1	25,32	25,54	1211,41	1,87
1B2	25,35	25,45	2619,54	4,06
2B1	25,28	25,79	2495,29	3,83
2B2	25,44	25,45	1025,04	1,58
3B1	25,41	25,75	2805,91	4,29
3B2	25,55	25,41	3199,36	4,93

Tabela 4 E – Resultados do ensaio de qualidade de colagem referente ao adesivo PVA 1060 em temperatura de 90 °C e tempo de prensagem de 10 minutos (Situação 4).

Código corpo de prova	Comprimento da área sujeita ao cisalhamento (mm)	Largura da área sujeita ao cisalhamento (mm)	Força de ruptura (N)	Força de cisalhamento (N/mm ²)
4B1	25,30	25,82	1283,89	1,97
4B2	25,35	25,64	2971,57	4,57
5B1	25,27	25,75	3489,27	5,36
5B2	25,37	25,18	3779,18	5,92
6B1	25,42	25,64	1687,69	2,59
6B3	25,19	25,62	1646,27	2,55

Tabela 5 E – Resultados do ensaio de qualidade de colagem referente ao adesivo VINYLTEC 239 em temperatura de 60 °C e tempo de prensagem de 15 minutos (Situação 5).

Código corpo de prova	Comprimento da área sujeita ao cisalhamento (mm)	Largura da área sujeita ao cisalhamento (mm)	Força de ruptura (N)	Força de cisalhamento (N/mm ²)
1C1	25,48	25,73	4472,89	6,82
1C2	25,43	25,38	1138,93	1,76
2C1	25,78	25,61	4390,06	6,65
2C2	25,86	25,26	3023,34	4,63
3C1	25,4	25,78	2981,93	4,55
3C2	25,73	25,5	1894,77	2,89

Tabela 6 E – Resultados do ensaio de qualidade de colagem referente ao adesivo VINYLTEC 239 em temperatura de 90 °C e tempo de prensagem de 10 minutos (Situação 6).

Código corpo de prova	Comprimento da área sujeita ao cisalhamento (mm)	Largura da área sujeita ao cisalhamento (mm)	Força de ruptura (N)	Força de cisalhamento (N/mm ²)
4C1	25,38	25,83	3458,21	5,28
4C2	25,31	25,6	2712,73	4,19
5C3	24,92	25,81	2464,23	3,83
5C4	25,01	25,54	4141,57	6,48
6C1	25,31	25,74	3271,84	5,02
6C2	25,37	25,65	3033,70	4,66