

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

JOSÉ GUILHERME PRATA

**ESTUDO DA VIABILIDADE TECNOLÓGICA DO USO DE ESPÉCIES DE PINUS
TROPICAIS PARA PRODUÇÃO DE PAINÉIS COLADOS LATERALMENTE
(*EDGE GLUED PANELS – EGP*)**

CURITIBA - PR

2010

JOSÉ GUILHERME PRATA

**ESTUDO DA VIABILIDADE TECNOLÓGICA DO USO DE ESPÉCIES DE PINUS
TROPICAIS PARA PRODUÇÃO DE PAINÉIS COLADOS LATERALMENTE
(*EDGE GLUED PANELS – EGP*)**

Tese apresentada ao Curso de Pós-graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Engenharia Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Jorge Luis Monteiro de Matos

Co-orientador: Prof. Dr. Setsuo Iwakiri

CURITIBA

2010

À Deus,

Aos meus pais, Alfredo Prata Netto (*in memoriam*) e Neide Braguini Prata, pelo amor e educação.

As minhas irmãs Alessandra Prata e Ana Sílvia Prata, pelo orgulho e amor,

A Marina Mitiko Yamamoto pelo amor, alegria e companheirismo.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador e co-orientador, Prof. Dr. Jorge Luís Monteiro de Matos e Setsuo Iwakiri, pela amizade, companheirismo, pela orientação durante a realização deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Ricardo Jorge Klitzke, Vitor Daniel Herreira, Ademir José Cavalli pela amizade e momentos de descontração.

Ao Prof. Dr. Márcio Pereira da Rocha, Prof. Dr Romano Timofeiczuk Junior, Prof. Ph.D. Sidon Keinert Junior pela amizade e convívio.

Aos Prof. Dr. Umberto Klock e Alan Sulato de Andrade pelo auxílio na realização deste trabalho.

Aos graduandos Erivelton Gheller pela ajuda na preparação dos painéis e Vinicius Yurk da Rocha pelo sangue derramado na serra durante o corte dos corpos de prova.

À Rosilani Trianoski, pela amizade e principalmente por ser tão prestativa e empenhada em auxiliar-me na realização deste trabalho e de outros.

A dona Marta Harumi, senhor Alberto Hiroshi, Ângela Yuriko, Juscelino Toshio, Wesley, Nanami, Ricardo, Saemi e a toda família, minha sincera gratidão pela amizade e pela oportunidade de conviver com pessoas tão especiais.

Aos professores e funcionários do CIFLOMA da Universidade Federal do Paraná, pela formação.

Aos colegas e amigos Daniel Chies, Reinaldo, David, pela amizade e convívio, e a todos que diretamente ou indiretamente me ajudaram e também fazem parte deste trabalho.

À empresa Henkel Ltda. em especial Sr. Fabio Takayoshi Gameiro pelo fornecimento de adesivo, juntamente com a disponibilização dos equipamentos.

Aos estagiários Sr. Jeferson Becker e Srta. Mayara Kovalski pela ajuda na montagem e prensagem dos painéis.

À empresa Valor Florestal por ter fornecido as espécies florestais para este estudo.

Ao CNPq pela concessão de bolsa durante a realização deste trabalho.

BIOGRAFIA

José Guilherme Prata, filho de Alfredo Prata Netto e Neide Braguini Prata, nasceu na cidade de Jales, Estado de São Paulo, aos 9 dias do mês de julho do ano de 1978.

No ano de 1998 ingressou no curso de graduação em Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná na cidade de Curitiba, concluindo o curso no mês de abril do ano de 2004.

Neste mesmo ano no mês de março, ingressou no curso de Pós-graduação da Universidade Federal do Paraná, defendendo sua dissertação de mestrado no dia 24 de fevereiro do ano de 2006.

Na data de 13 de julho de 2009, foi contratado como Professor Assistente do Departamento de Tecnologia e Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná.

No mês de março do ano de 2006 ingressou no curso de Pós-graduação da Universidade Federal do Paraná defendendo sua tese no dia 1 de outubro de 2010.

RESUMO

A necessidade de aumentar as áreas de plantios com espécies de rápido crescimento, levando em consideração além da quantidade, a qualidade desta matéria-prima é essencial para suprir a demanda atual das indústrias madeireiras. Os plantios de rápido crescimento disponível atualmente no Brasil são além do gênero *Eucalyptus*, os plantios do gênero *Pinus* concentrados nas regiões sul e sudeste do país. Espécies tropicais deste gênero estão sendo estudadas a fim de expandir os plantios e disponibilizar estas espécies consideradas exóticas, aliviando a pressão de nossas florestas naturais. Os painéis colados lateralmente são fabricados a partir do beneficiamento de subprodutos de madeiras, permitindo o melhor aproveitamento da matéria-prima. Este trabalho teve como objetivo avaliar a viabilidade tecnológica do uso da madeira de espécies de pinus tropicais para a produção de painéis colados lateralmente. Para o desenvolvimento deste estudo foram utilizadas as espécies de *Pinus oocarpa*, *Pinus chiapensis*, *Pinus maximinoi*, *Pinus caribaea hondurensis*, *Pinus tecunumanii* e *Pinus taeda*, sendo esta última espécie considerada como testemunha pelo fato dela ser tradicionalmente utilizada para a fabricação deste tipo de painel. Na união das peças de madeiras foram utilizadas diferentes gramaturas de adesivo Polivinil Acetato. Para cumprir com os objetivos deste trabalho, foram determinadas as propriedades químicas e físicas das espécies e as propriedades mecânicas dos elementos colados, tanto para a colagem lateral quanto para a colagem de topo através de uniões de “*finger joint*” com forma de avaliação da qualidade de colagem. Os resultados demonstraram, apesar de nenhuma espécie ter atendido os requisitos mínimos de qualidade de colagem lateral imposto pela norma EN-13353, as espécies de *P. maximinoi*, *P. c. hondurensis* e *P. chiapensis*, apresentaram as maiores resistências médias. Em relação aos requisitos de qualidade da norma ASTM – D5572, todas as espécies cumpriram as exigências mínimas requeridas, destacando-se as espécies de *P. tecunumanii* e *P.c. hondurensis* como as maiores resistências médias à colagem de topo. Baseado nos resultados, as espécies indicadas para a fabricação de painéis colados lateralmente são o *P. c. hondurensis* e o *P. maximinoi*.

Palavras-chave: Pinus tropicais. Polivinil acetato. Painel Colado Lateralmente.

ABSTRACT

The necessity of increase the planting area with species of rapid growth, taking in consideration more than quality, the quality of this raw materials essential to supply the demand of the wood industry. The rapid growth planting available today 's day in Brazil are of *Eucalyptus* genre and the *Pinus* genre found in the south and southeast of the country. Tropical species of this genre are being studying with the idea of expanding and leave available those spices considering exotic, taking the pressure away from our natural forest. The panels glue laterals (EGP) are build from the reuse wood, talking us for the best use of the raw material, (PMVA). The main idea of this work was test the technological viability to use wood of the spices tropical pine to produce panels glue laterally. To develop this study were necessary use some species of plants like *Pinus oocarpa*, *Pinus chiapensis*, *Pinus maximinoi*, *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, *Pinus tecunumanii* e *Pinus taeda*, considering this last one like witness for this one being use traditionally to build (fabricated) this kind of panel. To fuse those pieces together were necessary different kinds of adhesion (adhesives) PVAc. To deliver the goal of this work, were necessary determ the chemical and physical properties of the spices and the mechanical properties of the glue elements, This were done for both lateral glue and top glue in junctions "finger joint" with ability to eval the quality of the glue. The results shows that even no species has being shown the minimum criteria of the glue quality determ by EN-13353, the species *P. maximinoi*, *P. c. hondurensis* e *P. chiapensis*, shown the highest medium resistance, and the species *P. tecunumanii*, e *P. c. var. hondurensis* shown the highest resistance medium of top glue, all the species respecting the minimum rule of quality based on the rule ASTM-D5572. The species indicated to fabricate (build) (manufactory) the panels glue laterally are *P. c. var. hondurensis* and the *P. maximinoi*.

Key words: Tropical pine. Polyvinyl acetate. Edge Glued Panel.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 01 – CLASSIFICAÇÃO DOS ADESIVOS DE ACORDO COM SUA DURABILIDADE.....	34
FIGURA 02 – PRODUÇÃO E CONSUMO BRASILEIRO DE PAINÉIS EGP.	37
FIGURA 03 – EMPENAMENTOS DE PAINÉIS COM BORDOS COLADOS.	47
FIGURA 04 – DESENVOLVIMENTO DE JUNTAS “SUNKEN”.....	53
FIGURA 05 – CONFECÇÃO DOS SARRAFOS.....	56
FIGURA 06 – FLUXOGRAMA DA PRODUÇÃO DOS PAINÉIS COLADOS LATERALMENTE.....	59
FIGURA 07 – MONTAGEM DOS SARRAFOS..	60
FIGURA 08 – FLUXOGRAMA DA PRODUÇÃO DOS PAINÉIS COLADOS LATERALMENTE.....	61
FIGURA 08-1 – AVALIAÇÃO DE COLAGEM LATERAL.....	64
FIGURA 08-2 – AVALIAÇÃO DE COLAGEM DE TOPO..	66
FIGURA 09 – PLANO EXPERIMENTAL	67
FIGURA 10 – VALORES MÉDIOS DE RESISTÊNCIA AO ESFORÇO DE COLAGEM LATERAL, PARA AS ESPÉCIES DE PINUS ESTUDADAS.....	76
FIGURA 11 – INTERAÇÃO ENTRE MASSA ESPECÍFICA DAS ESPÉCIES DE PINUS EM FUNÇÃO DA FALHA NA MADEIRA AO ESFORÇO DE COLAGEM LATERAL.....	78
FIGURA 12 – COMPORTAMENTO DO <i>PINUS TAEDA</i> SOB INFLUÊNCIA DA GRAMATURA NA COLAGEM LATERAL.....	80
FIGURA 13 – INFLUENCIA DA MASSA ESPECÍFICA DOS PAINÉIS DE PINUS TROPICAIS AO ESFORÇO DE CISALHAMENTO NA LINHA DE COLA.....	81
FIGURA 14 – INFLUÊNCIA DA MASSA ESPECÍFICA DAS ESPÉCIES NA RESISTÊNCIA DA COLAGEM DE TOPO – PRÉ-TRATAMENTO SECO.	85
FIGURA 15 - INFLUÊNCIA DA MASSA ESPECÍFICA DAS ESPÉCIES NA RESISTÊNCIA DA COLAGEM DE TOPO – PRÉ-TRATAMENTO ELEVADA TEMPERATURA.....	88

FIGURA 16 – INFLUÊNCIA DA MASSA ESPECÍFICA DAS ESPÉCIES E GRAMATURA NA RESISTÊNCIA DA COLAGEM DE TOPO – PRÉ-TRATAMENTO TRÊS CICLOS.....	90
FIGURA 17 – INFLUÊNCIA DA GRAMATURA DO ADESIVO NA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO PARA A COLAGEM DE TOPO – PRÉ-TRATAMENTO SECO.....	96
FIGURA 18 – INFLUÊNCIA DA MASSA ESPECÍFICA DAS ESPÉCIES E GRAMATURA NA RESISTÊNCIA DA COLAGEM DE TOPO – PRÉ-TRATAMENTO ELEVADA TEMPERATURA.....	98
FIGURA 19 – INFLUÊNCIA DA MASSA ESPECÍFICA DAS ESPÉCIES E GRAMATURA NA RESISTÊNCIA DA COLAGEM DE TOPO – PRÉ-TRATAMENTO TRÊS CICLOS.....	101

LISTA DE TABELAS

TABELA 01 – ÍNDICES VOLUMÉTRICOS MÉDIOS DE ESPÉCIES TROPICAIS. (m ³ /árvore).....	24
TABELA 02 – CLASSIFICAÇÃO DOS ADESIVOS DE ACORDO COM SUA ORIGEM.....	26
TABELA 03 – CLASSIFICAÇÃO DO AMBIENTE DE USO DOS PAINÉIS DE MADEIRA CONFORME O TIPO DE ADESIVO.....	33
TABELA 04 – REQUISITOS MÍNIMOS EXIGIDOS PELAS NORMAS TÉCNICAS. .	35
TABELA 05 – ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA E DESTINAÇÃO DOS ADESIVOS.	57
TABELA 06 – CÁLCULO DE QUANTIDADE DE ADESIVO UTILIZADO NA CONFECÇÃO DOS PAINÉIS.....	58
TABELA 07 – VALORES DE pH DAS ESPÉCIES ESTUDADAS.	68
TABELA 08 – COMPOSIÇÃO QUÍMICA DAS ESPÉCIES ESTUDADAS.....	69
TABELA 09 – MASSA ESPECÍFICA BÁSICA MÉDIA DAS ESPÉCIES.	71
TABELA 10 – ESTABILIDADE DIMENSIONAL DAS ESPÉCIES ESTUDADAS.	72
TABELA 11 – TEOR DE UMIDADE MÉDIO DOS PAINÉIS COLADOS LATERLAMENTE.	73
TABELA 12 – MASSA ESPECÍFICA APARENTE MÉDIA DAS ESPÉCIES.	74
TABELA 13 – VALORES DE RESISTÊNCIA PARA AS DIFERENTES ESPÉCIES. .	75
TABELA 14 – INTERAÇÃO ENTRE MASSA ESPECÍFICA E FALHA NA MADEIRA.	77
TABELA 15 – DESEMPENHO DE RESISTÊNCIA DA LINHA DE COLAGEM DUAS CLASSES DE GRAMATURAS UTILIZADAS EM PAINÉID DE PINUS.	79
TABELA 16 – DESEMPENHO DAS ESPÉCIES PARA DIFERENTES GRAMATURAS.	80
TABELA 17 – VALORES MÉDIOS DE RESISTÊNCIA À FLEXÃO ESTÁTICA [MÓDULO DE RUPTURA (MOR)] PARA AS ESPÉCIES ESTUDADAS – PRÉ-TRATAMENTO SECO.....	83

TABELA 18 – CORRELAÇÃO ENTRE VALORES MÉDIOS POR ESPÉCIE DE MÓDULO DE RUPTURA (MOR) E MASSA ESPECÍFICA EM FLEXÃO ESTÁTICA - PRÉ-TRATAMENTO SECO.....	84
TABELA 19 – VALORES DE RESISTÊNCIA DE MÓDULO DE RUPTURA (MOR) EM FLEXÃO ESTÁTICA PARA AS DIFERENTES ESPÉCIES – PRÉ-TRATAMENTO ELEVADA TEMPERATURA.....	86
TABELA 20 – CORRELAÇÃO ENTRE VALORES MÉDIOS POR ESPÉCIE DE MÓDULO DE RUPTURA (MOR), MASSA ESPECÍFICA E GRAMATURA EM FLEXÃO ESTÁTICA - PRÉ-TRATAMENTO ELEVADA TEMPERATURA.....	87
TABELA 21 – VALORES DE RESISTÊNCIA DE MÓDULO DE RUPTURA (MOR) EM FLEXÃO ESTÁTICA PARA AS DIFERENTES ESPÉCIES – PRÉ-TRATAMENTO TRÊS CICLOS.....	89
TABELA 22 – CORRELAÇÃO ENTRE VALORES MÉDIOS POR ESPÉCIE DE MÓDULO DE RUPTURA (MOR), MASSA ESPECÍFICA E GRAMATURA EM FLEXÃO ESTÁTICA - PRÉ-TRATAMENTO TRÊS CICLOS.....	90
TABELA 23 – VALORES DE RESISTÊNCIA DAS ESPÉCIES SOB INFLUÊNCIA DA COVARIÁVEL M.E. EM FATOR DA GRAMATURA.....	91
TABELA 24 – EFEITO DOS PRÉ-TRATAMENTOS EM FUNÇÃO DAS ESPÉCIES.....	92
TABELA 25 – VALORES DE RESISTÊNCIA DE TENSÃO MÁXIMA EM TRAÇÃO PARA AS DIFERENTES ESPÉCIES – PRÉ-TRATAMENTO SECO.....	94
TABELA 26 – CORRELAÇÃO ENTRE VALORES MÉDIOS POR ESPÉCIE DE TENSÃO MÁXIMA E GRAMATURA EM RESISTÊNCIA À TRAÇÃO - PRÉ-TRATAMENTO SECO.....	95
TABELA 27 – VALORES DE RESISTÊNCIA DE TENSÃO MÁXIMA EM TRAÇÃO PARA AS DIFERENTES ESPÉCIES – TRATAMENTO ELEVADA TEMPERATURA.....	96
TABELA 28 – CORRELAÇÃO ENTRE VALORES MÉDIOS POR ESPÉCIE DE TENSÃO MÁXIMA, MASSA ESPECÍFICA E GRAMATURA EM TRAÇÃO - PRÉ-TRATAMENTO ELEVADA TEMPERATURA.....	97
TABELA 29 – VALORES DE RESISTÊNCIA DE TENSÃO MÁXIMA EM TRAÇÃO PARA AS DIFERENTES ESPÉCIES – TRATAMENTO TRÊS CICLOS.....	99
TABELA 30 – CORRELAÇÃO ENTRE VALORES MÉDIOS POR ESPÉCIE DE TENSÃO MÁXIMA, MASSA ESPECÍFICA E GRAMATURA EM TRAÇÃO - PRÉ-TRATAMENTO TRÊS CICLOS.....	100

TABELA 31 – VALORES DE RESISTÊNCIA DAS ESPÉCIES AO ESFORÇO DE TRAÇÃO EM FUNÇÃO DAS VARIÁVEIS MASSA ESPECÍFICA (M.E.) E GRAMATURA.....	101
---	-----

LISTA DE SIGLAS

- ABIMCI – Associação Brasileira de Produtos Processados Mecanicamente;
ASTM – “*American Society for Testing and Materials*” – Sociedade Americana para Teste e Materiais;
DAP – Diâmetro à Altura do Peito.
EGP – “*Edge Glued Panel*” - Painel Colado Lateralmente;
EN – European Norm – Norma europeia.
MDF – Medium Density Fiberboard – Painéis de fibras de média densidade.
MOR – Módulo de Ruptura.
OSB – Oriented Strand Board – Painéis de partículas orientadas.
PMVA – Produto de Maior Valor Agregado;
PVAc – Polivinil Acetato;
SWP – “*Solid Wood Panel*” - Painel de Madeira Maciça;

LISTA DE UNIDADES

- MPa – megapascal;
N/mm² – newton/milímetro quadrado;
kPa – quilopascal;
kgf/cm² – quilograma força/centímetro quadrado;
mPa.s – milipascal segundo
cP – centipoises;
kg – quilogramas;
m – metro;
km² – quilometro quadrado;
m³ – metros cúbicos;
ha – hectare;
g/m² – gramas/metro quadrado;
°C – graus celsius.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	OBJETIVOS	15
2.1	OBJETIVO GERAL	15
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
3	REVISÃO DE LITERATURA	16
3.1	GÊNERO PINUS	16
3.1.1	<i>Pinus taeda</i>	18
3.1.2	<i>Pinus maximinoi</i>	18
3.1.3	<i>Pinus oocarpa</i>	19
3.1.4	<i>Pinus tecunumanni</i>	20
3.1.5	<i>Pinus chiapensis</i>	21
3.1.6	<i>Pinus caribaea hondurensis</i>	22
3.1.7	Potencial de crescimento	23
3.2	ADESIVOS PARA MADEIRA	24
3.2.1	Polivinil Acetato (PVAc)	27
3.2.2	Princípios básicos da colagem de madeiras	28
3.2.3	Propriedades do adesivo polivinil acetato (PVAc)	29
3.2.4	Classificação dos adesivos baseados em seu ambiente de uso	33
3.2.5	Critérios de avaliação da qualidade de colagem	34
3.3	PAINÉIS DE MADEIRA COLADA LATERALMENTE - EGP	36
3.4	FATORES QUE INFLUENCIAM O DESEMPENHO DO PRODUTO COLADO	38
3.4.1	Propriedades da madeira	38
3.4.2	Preparação da madeira	48
3.4.3	Aplicação do adesivo	50
4	MATERIAL E MÉTODOS	54
4.1	ESPÉCIES ESTUDADAS	54
4.2	PRODUÇÃO DE PAINÉIS COLADOS LATERALMENTE (EGP)	55
4.2.1	Preparo da madeira	55
4.2.2	Montagem dos painéis	57
4.2.3	Etapas de produção dos painéis	59
4.2.4	Montagem dos sarrafos (colagem de topo – “ <i>finger-joint</i> ”)	60
4.2.5	Etapas de produção dos painéis	61
4.3	AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES DAS ESPÉCIES ESTUDADAS	62
4.3.1	Determinação do teor de umidade	62
4.3.2	Determinação da massa específica	62
4.3.3	Determinação do pH	62
4.3.4	Determinação da composição química quantitativa	63
4.3.5	Determinação da contração volumétrica e coeficiente de anisotropia	63
4.4	AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE COLAGEM	64
4.4.1	Método para avaliação da resistência de colagem lateral	64
4.4.2	Método para avaliação de qualidade – resistência à colagem de topo – “ <i>finger joint</i> ”	65
4.5	DELINEAMENTO EXPERIMENTAL	66
4.6	TRATAMENTO ESTATÍSTICO	67
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	68

5.1	CARACTERIZAÇÃO DAS ESPÉCIES ESTUDADAS.....	68
5.2	PROPRIEDADES DOS PAINÉIS COLADOS LATERALMENTE	73
5.3	PROPRIEDADES DAS EMENDAS DE TOPO DOS SARRAFOS.....	82
6	CONCLUSÕES	104
6.1	AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES DAS ESPÉCIES ESTUDADAS.....	104
6.2	AVALIAÇÃO DA COLAGEM DAS ESPÉCIES ESTUDADAS	104
6.3	INDICAÇÃO DAS ESPÉCIES ESTUDADAS PARA A PRODUÇÃO DE PAINÉIS COLADOS LATERALMENTE.....	105
	REFERÊNCIAS	107

1 INTRODUÇÃO

A partir do programa de incentivos fiscais criado pelo governo brasileiro nos anos 60, houve expansão das atividades de florestamento e reflorestamento principalmente nas regiões sul e sudeste do país.

Nestas regiões ficaram concentrados os plantios das espécies do gênero pinus, principalmente as espécies de *Pinus taeda* e de *Pinus elliottii*, pela fácil adaptação ao clima temperado.

Hoje em dia, além destas duas espécies, algumas espécies do gênero *Eucalyptus spp*, que também são espécies consideradas exóticas de rápido crescimento, sustentam o parque industrial madeireiro.

Para atender a demanda de matéria-prima cada vez mais crescente, torna-se necessário não somente aumentar as áreas de plantio com espécies atualmente utilizadas, mas também buscar opções de outras espécies de rápido crescimento que possam contribuir de forma quantitativa e qualitativa para suprir as necessidades das indústrias, bem como, contribuir para o desenvolvimento e geração de novos produtos. (TRIANOSKI, 2010).

Pesquisas têm sido direcionadas para avaliar o potencial de algumas espécies de pinus tropicais em termos silviculturais e de qualidade da madeira, visando promover plantios em escala comercial para fins de produção industrial. (IWAKIRI, 2009).

Segundo levantamento da ABRAF (2010), o Brasil apresenta cerca de 1,8 milhões de hectares plantados com espécies do gênero pinus, deste total, aproximadamente 20% desta área são das espécies tropicais. Desde a década de 90, a indústria brasileira de madeira processada mecanicamente tem sofrido um intenso processo de globalização, o qual foi marcado pela orientação da produção para o mercado internacional, e pelo desenvolvimento dos produtores de madeira serrada e compensado, direcionado à agregação de valor a produção através do beneficiamento de subprodutos de madeira (Produto de Maior Valor Agregado – PMVA). Isso garantiu maior competitividade para a indústria brasileira de madeira processada mecanicamente. As principais remanufaturas de madeiras produzidas pelo Brasil são molduras, portas, pisos e *Edge Glued Panel* (EGP). (ABIMCI, 2006).

Atualmente a maior parte da produção de EGP é de madeira de pinus de clima temperado, e sua avaliação de qualidade no mercado internacional (mercado europeu) é regida por quesitos da norma EN-13353 que especifica as exigências de qualidade de colagem, baseado em valores mínimos de resistência que este tipo de painel tem que apresentar.

O grande problema encontrado para os painéis EGP de pinus é o de atendimento a esta norma, tendo em vista que as empresas produtoras vem se empenhando grandemente para adequação de seus produtos no sentido de alcançar a qualidade mínima exigida, alterando formulações dos adesivos.

Como alternativa para os problemas de qualidade que a espécie de pinus de clima temperado vem enfrentando e a restrição de plantios desta espécie na região sul e sudeste do país, este trabalho tem como objetivo principal colaborar com as empresas produtoras tanto de painéis quanto para empresas fabricantes de adesivos, estudando uma alternativa de produção de painéis EGP com espécies de pinus tropicais, que apresentam bom desenvolvimento em outras regiões do país, como as regiões norte e central.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a viabilidade tecnológica do uso da madeira de espécies de pinus tropicais para a produção de painéis colados lateralmente (*Edge Glued Panel - EGP*).

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Avaliar:

- As propriedades químicas e físicas das espécies de madeira estudada;
- A qualidade de colagem das madeiras em testes de resistência mecânicas (cisalhamento para colagem lateral, flexão estática e tração para emendas de “finger joint”);
 - O efeito do uso de diferentes gramaturas de adesivo PVAc na colagem de madeiras;
 - As interações madeira x adesivo;
 - O comportamento das espécies e indicar aquelas com maior potencial na manufatura de painéis EGP.
- O cumprimento dos requisitos das normas EN – 13353 para qualidade de colagem lateral e ASTM – D5572 para a qualidade de emendas de topo.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 GÊNERO PINUS

O governo brasileiro, em 02 de setembro de 1966 criou a lei de nº. 5.106, que permitiu o abatimento de parte dos impostos de renda a pagar, uma vez comprovada a aplicação em atividades de florestamento e reflorestamento, através de projetos aprovados pelo Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal (IBDF). Estava criada então a lei de incentivos fiscais para programas de reflorestamento. (VEIGA *et al*, 1975).

O mesmo autor descreve que como resultado, dados fornecidos pelo IBDF mostraram que desde a entrada em vigor da lei até o mês de janeiro de 1972, foram reflorestados mais de 8.231 km².

Inicialmente, os plantios mais extensos foram estabelecidos nas Regiões Sul e Sudeste, com as espécies *P. taeda* e *P. elliottii*. Este fato se deu principalmente por estas espécies se adaptarem bem a estas regiões devido ao clima e ao tipo de solo (PRATA, 2006).

Muitas plantações que foram efetuadas fora das condições ecológicas exigidas para cada espécie (*Pinus taeda* e *Pinus elliottii*) não encontraram condições de desenvolvimento favoráveis (SUASSUNA, 1977).

A silvicultura brasileira, que já venceu o grande desafio tecnológico de introduzir em escala comercial espécies exóticas de rápido crescimento, com *Pinus taeda*, *Pinus elliottii*, *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* que sustentam o parque industrial madeireiro, tem procurado outras espécies alternativas para ampliação do potencial de produção florestal do país. Pesquisas têm sido direcionadas para avaliar o potencial de algumas espécies de pinus tropicais em termos silviculturais e qualidade da madeira, visando promover plantios em escala comercial para fins de produção industrial. (IWAKIRI, 2009).

Como alternativa Shimizu (2005) cita que a partir dos anos 60, iniciaram-se as experimentações com espécies tropicais como *P. caribaea*, *P. oocarpa*, *P. tecunumanii*, *P. maximinoi* e *P. patula* possibilitando a expansão da cultura de pinus em todo o Brasil, usando-se a espécie adequada para cada região ecológica.

O mesmo autor relata ainda que a partir dos anos 80, experimentos com amostras de espécies tropicais possibilitaram a ampliação de opções de espécies e o potencial econômico desses pinus em plantios comerciais.

Alguns anos depois da implantação dos pinus subtropicais (*Pinus taeda* e *Pinus elliottii*), que se adaptaram ao clima da região sul do país, foram introduzidos os pinus tropicais nos Estados de São Paulo, Minas Gerais, Goiás, Mato Grosso e Bahia. Em 2002, estas espécies se encontravam com 20 a 30 anos e apresentaram algumas qualidades superiores às espécies de clima subtropicais como maior massa específica, maior distância entre nós, e por esses motivos têm tido procura crescente por serrarias e laminadoras do sul do país, que estão em busca de novas fontes de fornecimento, com a crescente escassez de florestas em sua região. (RECH, 2002).

Atualmente, com a introdução de diversas espécies, principalmente das regiões tropicais, a produção de madeira de pinus tornou-se viável em todo o Brasil, constituindo uma importante fonte de madeira para usos gerais, englobando a fabricação de celulose e papel, lâminas e painéis de diversos tipos, madeira serrada para fins estruturais, confecção de embalagens, móveis e marcenaria em geral. (MEDRADO, 2005).

Mendes, (2001), estudando espécies de pinus tropicais e *Pinus taeda* na produção de painéis de partículas orientadas (OSB) concluiu que as espécies estudadas são homogêneas entre si e produzem painéis de qualidade semelhante, inclusive em relação ao *Pinus taeda* que é a espécie mais plantada no país.

Segundo os últimos dados apresentados pela ABRAF (2010), o Brasil apresenta cerca de 1,80 milhões de hectares plantados com espécies do gênero pinus, sendo que deste total a região sul detém 79% desta área que compreende as espécies de clima temperado (*Pinus taeda* e *Pinus elliottii*), ou seja, aproximadamente 376 mil hectares são considerados plantios de pinus tropicais.

Esta concentração destas duas espécies de clima temperado nesta região é justificável, pois, além da ótima adaptabilidade, apresentando um incremento médio anual em torno de 37,6 m³/ha/ano (ABRAF, 2010).

3.1.1 *Pinus taeda*

Pinus taeda é a mais importante dentre as espécies florestais plantadas, comercialmente, no Sul e Sudeste dos Estados Unidos. Entre as espécies do gênero, é mais plantada no Brasil, com cerca de 1 milhão de hectares e os plantios se concentram nos planaltos da região sul bem como as partes mais chuvosas do sul dos estados de São Paulo e Minas Gerais.

Os primeiros plantios desta espécie feito no país, com sementes sem controle de qualidade (normalmente coletadas de povoamentos de baixa qualidade nas origens) resultavam em povoamentos de má qualidade de fuste e ramos, apesar do vigor da alta produção de biomassa lenhosa (SHIMIZU, 2005).

Barrichelo et al (1977) constataram que as plantações de *Pinus taeda* estabelecidas nas regiões do Paraná e Santa Catarina apresentaram altas variações entres elas devido principalmente a diferentes procedências de sementes.

Li et al (1999) citados por Jones et al (2005), concluíram que pesquisas direcionadas ao melhoramento genético e no refinamento das práticas silviculturais forneceram melhorias substanciais no crescimento e no rendimento do *Pinus taeda*.

Suassuna, (1977) afirma que esta espécie está plantada em vários locais da região sul, em altitudes superiores a 1200m e apresenta excelente crescimento, superior ao *P. elliottii*.

A espécie de *P. taeda* tem como principais finalidades os produtos derivados da madeira, sendo muito utilizado para a serraria e principalmente para a indústria de celulose e papel. Por ser uma árvore resinosa pode-se extrair sua resina; contudo, essa não possui alta qualidade e quantidade, como a produzida por *P. elliottii*. (FOELKEL e FOELKEL, 2008).

3.1.2 *Pinus maximinoi*

Dvorak & Donahue (1992) descrevem que a ocorrência natural desta espécie se dá na região central do México até a Nicarágua entre 700m a 2400m de altitude e que esta espécie apresenta massa específica em torno de 420 kg/m³.

Whight & Malan (1991) citado por Dvorak & Donahue (1992), afirmam que o *Pinus maximinoi* possui propriedades similares à espécie de *Pinus patula* e, portanto, é adequada para celulose e papel de jornal.

Pinus maximinoi, tem características de atingir grandes dimensões, até 35 m de altura e 1 m de DAP, apresentando madeira resistente, com densidade considerada de alta qualidade, tanto para processamento mecânico quanto para produção de celulose e papel. Sua cultura ainda está na fase experimental, demonstrando alto incremento volumétrico (região do cerrado no sul do Estado de São Paulo, em solo arenoso) e poderá ser uma alternativa estratégica como fonte de madeira nas regiões tropical e subtropical. Na região sul, a cultura desta espécie é limitada devido à ocorrência de geadas severas (SHIMIZU, 2005).

Ettori *et al* (2004) realizando pesquisas com variação genética em procedências de *Pinus maximinoi* concluíram que esta espécie apresentou crescimento e desempenho satisfatórios na região de Angatuba (SP).

A coloração da madeira de *P. maximinoi* varia em tons de amarelo e possui uso potencial também, para lenha, para construção civil, para suportes de telhado e dormentes. As árvores são também usadas para extração de resinas. (FOELKEL e FOELKEL, 2008).

3.1.3 *Pinus oocarpa*

Kageyama et al (1977) citam que esta espécie florestal utilizada para fins comerciais no Brasil se destaca pelo seu potencial de crescimento em solos de baixa fertilidade, sendo uma das mais importantes coníferas para regiões subtropicais e tropicais de nosso país.

O *Pinus oocarpa* Schiede é uma espécies produtora de madeira com tonalidade amarelada e cerne marrom pálida, de dureza média e alta resistência, sendo usada, também, para extração de resina em sua origem. Originária da América Central, no Brasil, esta espécie é plantada para produção de madeira para processamento mecânico na região dos planaltos tropicais. Sua madeira é de alta qualidade para usos em estruturas, construções civis, confecção de chapas e madeira reconstituída. Ela não se adapta a regiões de baixa altitude. Na Bacia

Amazônica, além de apresentar pouco desenvolvimento, ela é severamente atacada por doenças bacterianas nas acículas que a levam à morte. (SHIMIZU, 2005).

Dvorak & Donahue (1992) relatam que a massa específica desta espécie com idade entre 35 a 50 anos variou de 451 kg/m³ a 518 kg/m³ e que estudos realizados no Estado de São Paulo e no norte do Estado do Paraná indicaram que esta espécie se desenvolveu bem onde se estabeleceram em solos férteis e em altitudes entre 700 a 1000m nas áreas livres de geadas.

Rezende (1997) citado por Rezende *et al* (2008), analisando espécies do gênero *Pinus* chegou a conclusão que o *P. oocarpa* e o *P. caribaea* var. *hondurensis* apresentaram características bem semelhantes em termos de massa específica, obtendo as médias de 564 kg/m³ e 562 kg/m³ respectivamente.

3.1.4 *Pinus tecunumanii*

O *Pinus tecunumanii* é uma das mais de cem espécies do gênero pinus que se destacou nas características de crescimento, forma de fuste e densidade da madeira em testes com espécies e procedências de pinus tropicais, realizados em diversos países, inclusive na região dos Cerrados.

Esta espécie segundo Shimizu (2005), possui elevado potencial de crescimento podendo tornar-se uma das mais importantes coníferas para plantios de florestas tropicais comerciais. O autor afirma ainda que a espécie apresenta massa específica em torno de 400 kg/m³ e que contém um teor de resina menor do que o *P. oocarpa*.

Trianoski (2009) relata que em solos profundos e férteis da Floresta Montana da Guatemala e de Honduras, árvores de povoamentos de alta elevação podem atingir 55m de altura e mais de 1m no DAP. A taxa de crescimento nesta condição varia de 5 a 8 m³/ha.ano. Já árvores de populações de baixa altitude raramente apresentam altura superior a 30m e 60 cm de DAP, e a taxa de crescimento nesta condição variam de 3 a 8 m³/ha.ano.

No Brasil, esta espécie tem sido extensivamente testada. É muito valorizada pela alta produtividade nos cerrados das regiões Centro-Oeste e Sudeste e pela alta qualidade da madeira. A região recomendável para o plantio de *P. tecunumanii*,

coincide com a do *P. caribaea*, podendo incluir a bacia amazônica e as planícies costeiras (SHIMIZU, 2005).

A madeira produzida por *P. tecunumanii* em condições naturais ou florestas plantadas tem apresentado massa específica básica de moderado a alto valor entre as espécies de pinus. De acordo com Wright (1990), esta espécie apresenta massa específica (acima de 400kg/m³) superior às espécies de *P. caribaea* var. *hondurensis* e *P. chiapensis*. Shimoyama e Wieheteck (1993) ressaltam o uso desta espécie, indicando-a para fabricação de pastas celulósicas e de painéis de madeira.

3.1.5 *Pinus chiapensis*

O *Pinus chiapensis* é uma grande conífera, endêmica do centro e sul do México e Norte Ocidental da Guatemala. Dvorak & Donahue (2003) relatam que no México, sua ocorrência mais abundante é nos Estados de Oaxaca e Chiapas, podendo ser encontrada isoladamente em Puebla, Guerrero e Veracruz. O ambiente natural é caracterizado por precipitações elevadas, variando de 1300 a 2300 mm, temperatura média de 20° a 22° C, livre de geadas e em encostas íngremes e solos ácidos. De acordo com relatos de Shimizu (2005), na fase inicial do estabelecimento dos povoamentos, esta espécie possui tendência de produzir fustes múltiplos e hastes com casca fina, muito susceptível a danos mecânicos ou por fogo. A madeira produzida por esta espécie é macia e de baixa massa específica, possui tom esbranquiçado com maior evidência desta tonalidade no alburno e cerne ligeiramente mais escuro. A massa específica citada na literatura para esta espécie é de 340 a 380 kg/m³ para povoamentos naturais de oito anos e 340 a 350 kg/m³ para florestas plantadas de 10 anos. Em plantios brasileiros, Dvorak e Donahue (1992), relatam que a madeira produzida por esta espécie a partir de 11 procedências foi notavelmente uniforme entre anéis de crescimento, com zona definida bem no cerne. A massa específica aparente (12%) para amostras extraídas a 0,8m foi de 380 a 470 kg/m³. Shimizu (2005) complementa esta informação mencionando que a variação da massa específica na madeira desta espécie é mínima, tanto no sentido medula-casca, como no sentido longitudinal. A

homogeneidade nesta característica física é extremamente importante nos processos industriais, pois gera produtos com o mesmo padrão de qualidade.

Dvorak & Donahue (1992), relatam que os plantios de *Pinus chiapensis* não são indicados em áreas que está sujeita à seca. As espécies devem ser plantadas em solos profundos onde a precipitação total anual é mais uniformemente distribuída ao longo do ano, ou em áreas onde a estação seca com déficit de umidade no solo é compensada pela umidade atmosférica, ou onde ocorra o abastecimento de água subterrânea.

3.1.6 *Pinus caribaea hondurensis*

O *Pinus caribaea* de acordo com Shimizu (2005), é uma espécie que abrange três variedades naturais: *caribaea*, *bahamensis* e *hondurensis*, sendo que esta última é uma das variedades de pinus tropicais mais plantadas no mundo. Como sua distribuição natural na América Central abrange grande amplitude de condições ambientais nas suas origens, as procedências consideradas mais importantes são as litorâneas e a das montanhas por estarem ao longo do tempo habituadas com furacões e tempestades tropicais conferindo à madeira desta espécie resistência aos ventos fortes e à quebra do fuste.

Um dos grandes problemas existentes em povoamentos florestais de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e *bahamensis* no Brasil é a freqüente deformação do formato da copa devido ao rápido crescimento (“fox tail”). Esta deformação pode prejudicar a qualidade da madeira, dependendo do seu tipo de uso. (FOELKEL e FOELKEL, 2008).

Segundo Moraes *et al* (2007), as espécies do gênero *Pinus caribaea* em geral são as principais variedades de pinheiros tropicais cultivadas no Brasil, nas zonas quentes do Brasil, com uma área de mais de 700.000 ha, indo desde a Amazônia até a região sudeste do país (GOFARI, 1967 citado por FREITAS *et al*, 2005). Este sucesso comercial dá-se principalmente pela disponibilidade de sementes no mercado, ao seu bom desenvolvimento em solos pobres, e à elevada qualidade de sua madeira amplamente utilizada na construção civil e em fábricas de celulose.

Marto *et al*, (2008) citado por Moraes Neto e Duboc (2008) também afirmam que esta espécie pode ser usada para arborização de pequenos parques e jardins, celulose, compósitos particulados (aglomerado convencional, OSB, waferboard), resina e serraria.

Em geral, os traqueóides do lenho inicial no *P. caribaea* apresentam seção transversal maiores e paredes das células mais largas do que os pinus das regiões temperadas, tais como o *P. sylvestris*. (PLUMPTRE, 1984).

De acordo com o mesmo autor, dependendo do sítio e local de crescimento, as dimensões das células podem variar muito. Dados apresentados mostram que a espessura relativa da parede celular, ou o índice de Runkel variou de 0,44 em plantios de Honduras com 24 anos até 0,86 no Sri Lanka com 22 anos de idade, ou seja, os lumens das células dos plantios do Sri Lanka são bem maiores, consequentemente a madeira é menos densa e mais porosa.

As árvores desta espécie apresentam um rápido e vigoroso desenvolvimento inicial e em decorrência disso, apresenta madeira juvenil nos 5 a 8 anos iniciais em relação às outras variedades de pinus. Esta madeira é caracterizada por ser constituída de anéis largos e traqueídes com menor comprimento, sendo a madeira é considerada de qualidade inferior. A madeira de lenho juvenil pode ter massa específica até 2/3 menor do que a madeira adulta e metade de sua resistência. (FERREIRA e TOMAZELLO FILHO, 2009).

Berni *et al*, 1979 e Lorenzi *et al*, 2003 citados por Ferreira e Tomazello Filho, 2009 afirmam que a madeira oriunda da espécie de *P. caribaea hondurensis* é de fácil trabalhabilidade e seus teores de resina (breu e terebintina) podem causar problemas no seu corte, mas a resina produzida é de boa qualidade.

3.1.7 Potencial de crescimento

Segundo os autores Etori *et al* (2004), Shimizu (2005), Suassuna, (1977), Dvorak & Donahue (1992) e Freitas *et al* (2005), as espécies de pinus tropicais e subtropicais apresentam bom desenvolvimento em solos e climas aptos para cada espécie.

Plantios experimentais foram testados com as mais diversas espécies de pinus e alguns autores apresentam dados volumétricos para diferentes idades na Colômbia e Brasil. (Tabela 01).

TABELA 01 – ÍNDICES VOLUMÉTRICOS MÉDIOS DE ESPÉCIES TROPICAIS. (m³/árvore).

Espécies	Colômbia** 5 anos	Colômbia** 8 anos	Brasil** 5 anos	Brasil*** 11 anos	Brasil* 18 anos
<i>P. taeda</i>	-	-	-	0,340	0,540
<i>P. c. hondurensis</i>	0,015	-	0,050	0,530	0,830
<i>P. oocarpa</i>	0,044	0,238	0,111	0,490	1,070
<i>P. maximinoi</i>	-	-	-	0,470	1,260
<i>P. tecunumanii</i>	0,095	-	0,097	0,570	1,300
<i>P. chiapensis</i>	0,065	0,210	0,046	0,510	1,570

* Médias de cinco árvores.

FONTE: *Laboratório de Tecnologia da Madeira – UFPR (2007), **CAMCORE Cooperative, Dvorak & Donahue (1992), Mendes (2001).

Comparando os valores apresentados por Dvorak & Donahue (1992), Mendes (2001) e LTM (2007), na idade de 5 anos, as espécies de *P. c. hondurensis*, *P. oocarpa* e *P. tecunumanii* apresentaram melhor desenvolvimento nos plantios realizados no Brasil do que na Colômbia.

Com relação à capacidade de produção volumétrica individual de cada espécie de acordo com dados apresentados por Mendes (2001), as espécies de *P. tecunumanii*, *P. chiapensis* e *P. c. hondurensis* demonstraram o melhor potencial de produção de biomassa.

Após 7 anos, nos mesmos plantios, o Laboratório de Tecnologia da Madeira realizou medições dendrométricas e constatou incremento em torno de 1 m³ em média para a espécie de *P. chiapensis*, sendo esta espécie a que apresenta a melhor aptidão para produção de biomassa, seguida das espécies de *P. tecunumanii* e *P. maximinoi*. (LTM-UFPR, 2007).

3.2 ADESIVOS PARA MADEIRA

Iwakiri, (2005) cita que a utilização de adesivos pelo homem remonta a alguns milhares de anos, tendo em vista que o aumento de sua utilização se deu

principalmente pelo surgimento de máquinas de beneficiamento de madeira e colagem de lâminas para produção de compensados.

O mesmo autor afirma ainda que com a tecnologia de colagem de madeira desenvolvida possibilita que haja de forma direta a conservação de recursos florestais através do aproveitamento integral da madeira unindo diversos tamanhos e formas de madeira gerando produtos reconstituídos de madeira.

Adesivos para madeira datam de muitos milênios, e pesquisa sobre madeira e suas interações com adesivo é objeto de estudo de mais de 75 anos. O século passado viu grandes avanços na química do adesivo, a compreensão do processo de adesão, e conhecimentos sobre os aspectos no teste de durabilidade. (Frihart, 2005).

Nock e Richter (1978) definem o adesivo como um material com propriedades aderentes, isto é, uma substância capaz de manter unidos outros materiais em suas superfícies, sendo esta capacidade desenvolvida sob certas condições existentes durante ações recíprocas com o aderente não sendo uma propriedade intrínseca do adesivo.

De acordo com U.S. Products Laboratory (1999), a ligação adesiva dos componentes de madeira tornou-se essencial no desenvolvimento e no crescimento da indústria de produtos reconstituídos e foi um fator chave na utilização eficiente de nossos recursos florestais.

Pizzi (1983) comenta que inicialmente uma grande variedade de adesivos de origem animal e vegetal foi utilizada em uniões de madeira, demonstrando eficiência do produto colado quando exposto em condições secas e frescas.

Segundo Kollmann (1975), os adesivos podem ser classificados de acordo com vários sistemas. Um dos sistemas é referenciado juntamente com seus componentes químicos, e são eles divididos em adesivos naturais e adesivos sintéticos, conforme Tabela 02.

TABELA 02 – CLASSIFICAÇÃO DOS ADESIVOS DE ACORDO COM SUA ORIGEM.

Tipo de Adesivos	Origem
Naturais	Amidos, dextrina e gomas vegetal
	Cola animal, feita de couro, tendões, ossos, cascos, peles de peixe
	Albumina de sangue solúvel (subproduto de matadouros)
	Caseína (coalhada de leite, cal e outros químicos)
	Proteína vegetal (farinha de soja, amendoins entre outros)
	Goma laca
	Borracha, borracha sintética.
	Asfalto
Sintéticos	Silicato de sódio, oxiclreto de magnésio, etc
	Termofixas (uréia, melamina, fenol, resorcinol, furano, epóxi)
	Termoplásticas (acrílico, poliamida, poliestireno, álcool polivinílico)

FONTE: Kollmann (1975) – traduzida e adaptada pelo autor.

Iwakiri (2005) descreve que os adesivos termoendurecedores ou termofixos fazem parte dos adesivos sintéticos e que através do aquecimento modificam-se química e fisicamente tornando-se rígidos e insolúveis e esta transformação se torna irreversível.

De acordo com Fiorelli (2002), a principal característica dos polímeros termoplásticos é por apresentar curas reversíveis, ou seja, pode ser fundido ou amolecido quando aumentada à temperatura, tornando-se solidificar ao serem resfriados, mas ao longo prazo possui uma menor resistência ao calor e à umidade quando comparados aos polímeros termofixos.

Os adesivos vinílicos se enquadram na categoria dos adesivos termoplásticos porque sua película adesiva se obtém mediante a ação do calor conferindo um aspecto plástico e sendo possível reverter o processo. (BANDEL, 1991).

3.2.1 Polivinil Acetato (PVAc)

Os adesivos PVAc, de acordo com U.S. Products Laboratory (1999), apresentam características como sendo um líquido pronto para uso, de cor branco a castanho-claro ao amarelo, sendo que a interface de colagem apresenta-se incolor. Quanto à colagem em si, este líquido pode ser aplicado diretamente na madeira, prensado em temperatura ambiente ou através de alta frequência, sendo que depois de colado, o produto apresenta alta resistência mecânica quando em ambiente seco, seu ponto crítico de utilização se dá em ambientes com altas temperaturas e alta umidade.

Sintetizando a representação esquemática apresentada por Pizzi (1983), a produção desta resina é feita através da polimerização do monômero de acetato de vinila, que por sua vez é o resultado da reação entre o acetileno e o ácido acético e pode ser feita por duas formas. Uma pode ser obtida através da fusão entre o calcário e o carvão, ou então através da refinação do petróleo bruto.

O acetato polivinílico é um polímero termoplástico que ganhou grande aceitação ao longo dos anos como matéria-prima para a indústria de adesivos. Modificado ou não, em solução ou em forma de emulsão, ele exibe uma versatilidade que o torna adequado para colagem de uma grande variedade de substratos (PIZZI, 1983).

O mesmo autor afirma ainda que o PVAc em particular, é capaz de produzir forte e duráveis colagens em madeiras e seus produtos derivados, e isso foi um fator importante que contribuiu para o enorme crescimento deste adesivo, a partir de quase nula na década de 1930 para uma produção estimada de 2 milhões de toneladas em 1977.

Embora os filmes de PVAc possuam boas características de envelhecimento devido a sua resistência às propriedades de Ultra Violeta e oxidação, acetato de vinil é um polímero rígido e que é sensível a água, tornando os filmes quebradiços abaixo da temperatura ambiente. É por esta razão que os polímeros PVAc geralmente são formulados com plastificantes para aumentar a flexibilidade adequada. Além disso, é uma razão pela qual homopolímeros PVAc são geralmente vistos como impróprio para uso exterior. Homopolímeros PVAc são as

emulsões de menor custo, que possuem uma boa aderência em muitas superfícies porosas como madeira e papel. (CHEMQUEST, 2010).

Os adesivos de polivinil acetato são fixados pela perda de água principalmente por difusão de água do adesivo na madeira. (VICK e ROWELL, 1990), (FIORELLI, 2002), (MARRA, 1992).

Este tipo de adesivo é utilizado para toda e qualquer operação de colagem de madeiras, e dentre estas operações, as principais são colagem de painéis sarrafeados, emendas do tipo “*finger-joint*”, laminação e montagem. (HAUBRICH *et al*, 2007.).

3.2.2 Princípios básicos da colagem de madeiras

Segundo Marra (1992), os princípios básicos da colagem de madeira são universais, não importando as inovações que possam vir resumindo-se entre a região entre dois pedaços de madeira e o ambiente criado onde o adesivo faz seu trabalho. Conhecendo-se as potencialidades de um adesivo e como ele pode ser afetado pelo ambiente, é a base para a compreensão dos muitos fatores que afetam todas as operações de colagem, sejam eles grandes processos de fabricação ou fabricação artesanal.

Os mecanismos do processo de adesão podem ser explicados por algumas teorias de ligações entre o adesivo e a madeira, através das teorias de ligações químicas dos adesivos, ligações mecânicas e químico-mecânicas da interação entre o adesivo e a madeira, mas nenhuma delas é capaz de justificar todos os aspectos de aderência e, provavelmente, a combinação entre elas é o que mais se aproxima da realidade. (FRIHART, 2005).

Com relação à madeira, duas das teorias mais importantes são o enganchamento mecânico e a teoria da adsorção. Segundo a teoria do enganchamento mecânico, a penetração do adesivo num substrato poroso leva à formação de ganchos ou entrelaçamento mecânico do adesivo que se prende nas camadas superficiais da madeira após a cura e endurecimento do adesivo. A teoria da adsorção estabelece que a adesão é resultante do contato molecular entre dois materiais que desenvolvem forças de atração superficiais. Para que ocorra um

contato íntimo e contínuo entre um adesivo e um substrato, é necessário que o adesivo umidifique a madeira, fenômeno que envolve a migração do adesivo para dentro da estrutura submicroscópica da parede celular expulsando ar, água e outros componentes estranhos à superfície de contato da madeira. O umedecimento depende da natureza molecular do adesivo, qualidade da superfície, mobilidade molecular do adesivo, pressão no adesivo e tempo disponível até que o endurecimento do adesivo a imobilize (GALEMBECK e GANDUR, 2001 citado por VITAL *et al*, 2006).

Embora, em geral, adesivos de PVAc são usados principalmente em materiais celulósicos devido a sua adesão excepcionalmente boa para essas superfícies, a madeira pode ser ligada a borracha, espumas flexíveis e rígidas, de fibras sintéticas ou naturais, ou mesmo metal ou outras superfícies não porosas. (PIZZI, 1983).

A fixação dos substratos de madeira ocorre, principalmente, de forma mecânica obedecendo à seguinte seqüência de fenômenos físico-químicos: umectação das superfícies onde o adesivo é aplicado; penetração adequada nos substratos; secagem (perda de água) e cura. (HAUBRICH *et al*, 2007.).

3.2.3 Propriedades do adesivo polivinil acetato (PVAc)

3.2.3.1 Viscosidade

Segundo Nock e Richter (1978), a viscosidade do PVAc em temperatura ambiente pode chegar a 20.000 cP. Para utilização, a cola deve ser diluída em água para a redução da viscosidade, mas também há uma estreita relação entre viscosidade e temperatura: à medida que aumenta a temperatura diminui a viscosidade.

Por outro lado, Iwakiri (2005) descreve que a viscosidade dos adesivos PVAc apresenta-se na faixa de 600cP a 8000cP a uma temperatura de 25°C.

A viscosidade da formulação de adesivo será regulada pelo método de aplicação do adesivo. Métodos de aplicação podem ser utilizados através de

aplicação manual por pincel, rolo ou espátula ou mesmo por pistola, aplicação mecanizada por máquina de rolos, cascata ou jato, ou extrusoras e “sprays”. Condições devem ser sempre procuradas para tornar o adesivo tão fácil de usar quanto possível, especialmente quando for tratado por pessoas não qualificadas ou não familiarizadas com a manipulação correta dos adesivos. Isso se aplica particularmente aos adesivos destinados para uso doméstico. (PIZZI, 1983).

Bandel, (1991) afirma que a viscosidade pode variar dependendo da temperatura, tipo de viscosímetro utilizado e da velocidade do disco do viscosímetro, ou seja, pelo número de giros do disco por minuto.

Um exemplo apresentado pelo autor mostra de para um mesmo adesivo de PVAc variando a velocidade do disco de 0,5 a 100 voltas por minuto a viscosidade do adesivo a 20°C variou de 7.900 a 60.000 mPa.s.

Outro exemplo apresentado pelo autor é quanto a variação de temperatura, que com a velocidade do disco fixa em 20 voltas por minuto, a viscosidade do adesivo variou de 27.000 a 42.200 mPa.s, quando a temperatura variou de 30°C a 5°C respectivamente.

3.2.3.2 Endurecimento/resistência.

O endurecimento do adesivo PVAc está em função da temperatura mínima da formação de película. Entende-se por formação de película o fenômeno pelo qual com a eliminação da água do adesivo, através da madeira e da atmosfera, as partículas de acetato de polivinila se unem entre si para formar uma película adesiva, homogênea e contínua.

Segundo Bandel (1991) a temperatura mínima de formação de película pode variar de acordo com a formulação do adesivo, desde -1°C a 15°C, sendo que em geral, os adesivos vinílicos destinados a cura à quente tem uma temperatura mínima de formação de película de 10 a 15°C.

O acetato de polivinila não é solúvel em água, mas em um grau muito moderado.

Nock e Richter (1978) descrevem as características da linha de cola endurecida do PVAc como tendo uma visco-elasticidade permanente na linha de

cola, mas no entanto apresenta baixa resistência mecânica quando em carregamento de longa duração.

Os autores afirmam ainda que como a linha de cola endurecida seja muito dura, não confere adesão suficiente em superfícies lisas e moles. Como solução, é indicado utilizar amolecedores internos, com isso consegue-se adesivos PVAc duros até permanentemente viscosos como fitas adesivas. Quanto mais mole o adesivo, maiores as forças de adesão e plasticidade, mas menores serão as forças de coesão.

Houwink e Salomon (1965) citam que um trabalho realizado na Alemanha com móveis colados com adesivos à base de PVA que apresentou decréscimo de quase 30% na resistência de colagem à tração quando se prolongou o tempo de carregamento de 1 minuto para 25 minutos.

3.2.3.3 pH

Segundo Nock e Richter (1978), a dispersão da solução de PVAc original é ligeiramente ácida. Em geral de acordo com Marra (1992), a acidez se apresenta entorno de 4,0 a 5,0. Esta acidez, mesmo que não prejudique a madeira colada, é capaz de provocar manchas e descolorações quando entra em contato prolongado com ferro.

3.2.3.4 Temperatura

Devido a termoplasticidade do PVAc, estes adesivos são inadequados para aplicações que requerem resistência à altas temperaturas. (PIZZI, 1983).

Apesar de apresentar esta característica, Nock e Richter (1978) afirmam que quando se aquece a linha de cola acima de 50°C o adesivo pode perder parcialmente o poder de adesão, mas este poder é recuperado quando resfriado.

Pizzi (1983) afirma que a temperatura da linha de cola exerce uma grande influência no desenvolvimento do vínculo da colagem. Altas temperaturas irão gerar

um aumento muito mais rápido de resistência, enquanto temperaturas abaixo do normal irão retardar o desenvolvimento da resistência da colagem, e se a temperatura for mais baixa que a temperatura mínima de formação do filme, pode causar falha na ligação.

O mesmo autor comenta que adesivos PVAc projetados para oferecer resistência a água, a aplicação de temperatura no momento da colagem de peças de madeira é essencial para o aumento da resistência da linha de cola.

Mantendo pressionadas as peças de madeira durante 1h a 80°C, o autor constatou aumento de até 10% na tensão máxima de cisalhamento, até 30% na resistência ao cisalhamento após imersão em fervura por 3h e até 50% na resistência ao cisalhamento após imersão em água fria por 24h em comparação com os resultados obtidos no mesmo adesivo curado à temperatura ambiente.

A temperatura necessária para o adesivo se liquefazer varia em geral com o grau de hidrólise. Completamente hidrolisado, o adesivo pode se liquefazer entre 85 °C a 95 °C e esse adesivo pode permanecer líquido após o resfriamento se a concentração for inferior a 10%. Soluções com concentrações mais elevadas podem apresentar-se acima do estado de gel à temperatura ambiente, mas pode se liquefazer através do aquecimento. (SHEERAN, 1952).

Os adesivos termoplásticos podem mudar seu estado sobre o seu ponto de transição vítrea, revertendo livremente, de acordo com sua característica de temperatura de amolecimento. (MARRA 1992).

3.2.3.5 Teor de sólidos

De acordo com Bandel (2001), a quantidade de sólidos presentes na resina esta diretamente relacionada com a velocidade de formação da película adesiva, ou seja, quanto maior for a quantidade de água (menor o teor de sólidos) na resina, mais lenta será a velocidade de formação da película devido ao maior tempo de evaporação desta água.

Mas uma baixa viscosidade do adesivo nem sempre significa que o adesivo contenha mais água, porque existem adesivos com altos teores de sólidos, mas com a viscosidade baixa.

3.2.4 Classificação dos adesivos baseados em seu ambiente de uso

Para que o resultado final da colagem seja eficiente, resistente, o adesivo deve ter a capacidade de transferir tensões de um substrato para o outro sem, contudo, perder sua coesão, sua resistência. Segundo as normas técnicas internacionais, a resistência (durabilidade) dos adesivos para madeira é classificada de acordo com sua resistência a umidade e/ou água. (HAUBRICH *et al*, 2007).

Segundo o FPL (1999), os adesivos podem ser indicados de acordo com sua finalidade de uso envolvendo o ambiente que este adesivo será exposto (Tabela 03).

TABELA 03 – CLASSIFICAÇÃO DO AMBIENTE DE USO DOS PAINÉIS DE MADEIRA CONFORME O TIPO DE ADESIVO.

Classificação dos adesivos	Ambiente de uso	Tipos de Adesivos
Estrutural	Exterior	Fenol-formaldeído (FF)
		Resorcinol-formaldeído (RF)
		Fenol-resorcinol-formaldeído (FRF)
	Exterior Limitado	Emulsão polímero/isocianato
		Melamina-formaldeído (MF)
		Melamina-uréia-formaldeído (MUF)
		Isocianato
Interior	Epóxi	
	Uréia-formaldeído (UF)	
Semi-estrutural	Exterior Limitado	Caseína
		Polivinil acetato “ <i>crosslinking</i> ”
		Poliuretano
Não Estrutural	Interior	Polivinil acetato (PVAc)
		Animal
		Soybean
		“Hot-melt”
		Amido

FONTE: F P Laboratory (1999) - Tabela traduzida e adaptada pelo autor

Nock e Richter (1978), referenciam uma escala de resistência e durabilidade em condições externas, conforme a Figura 01.

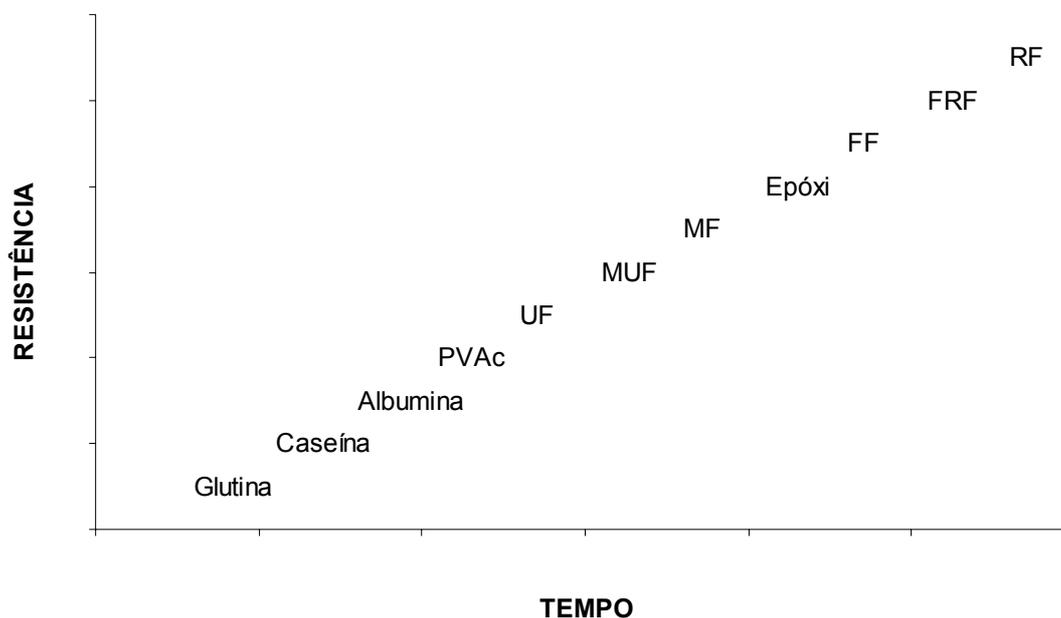


FIGURA 01 – Classificação dos Adesivos de Acordo com sua Durabilidade.
 FONTE: NOCK & RICHTER (1978) – Adaptado pelo autor

3.2.5 Critérios de avaliação da qualidade de colagem

Após as exposições a umidade e/ou água, a colagem deve ter a capacidade de apresentar desfibramento após ser exposta a uma força externa qualquer. Existem hoje no mundo várias normas que regulamentam a resistência dos adesivos para madeira, porém a norma adotada no Brasil, pelo menos a mais citada, é EN-204, que classifica os adesivos em quatro grupos de durabilidade: D1; D2; D3 e D4 (HAUBRICH *et al*, 2007).

Segundo a norma EN-204 (2001) e EN-205 (2002), as classes de durabilidade dos adesivos são divididos em quatro grupos. O grupo menos exigido é a classe D1, que são adesivos aplicados em componentes de uso interior que ficam expostos em ambientes que apresente condições de umidade de equilíbrio de 15%. Para isto, estes componentes necessitam simplesmente alcançar resistência mínima de 10 N/mm² sob condições secas, onde o adesivo é avaliado na sua forma normal, sem passar por nenhum tratamento. O grupo mais exigido é a classe D4, que são

adesivos aplicados em componentes de uso interior e exterior e que ficam expostos ao tempo com algum tipo de proteção, e onde além de atingir a resistência mínima exigida pela classe D1, tem que apresentar resistência mínima de 4 N/mm² para imersão em quatro dias à temperatura ambiente e para seis horas em fervura com duas horas imersão em água a temperatura ambiente.

Haubrich *et al* (2007) cita ainda que esta norma não avalie a qualidade da colagem, mas sim a qualidade do adesivo, pois a norma determina o substrato específico, a madeira de *Fagus sylvatica*.

A norma EN-13353 (2003), específica para avaliação de colagem lateral, faz menção de requisitos conforme o tipo de uso dos painéis e a partir disso especifica pré-tratamentos para garantir a qualidade da união das peças de madeira durante o uso.

Existem normas nos mais variados mercados que regulam a qualidade de produtos a base de madeira. Para o mesmo teste de qualidade existem várias metodologias de ensaios baseadas em estudos científicos que são referencia para um determinado país.

A Tabela 04 apresenta algumas normas técnicas para o mesmo tipo ensaio com seus respectivos requisitos.

TABELA 04 – REQUISITOS MÍNIMOS EXIGIDOS PELAS NORMAS TÉCNICAS.

Tipo de Ensaio	Norma Técnica	Pré Tratamento	Requisitos	
			MPa ^A	% ^B
Colagem Lateral	ASTM D 5751:1999	Seco	4,96	60
		3 Ciclos	2,49	30
		E.T. ^C	3,32	40
	EN 204:2001	Seco	≥ 10	-
	EN 13353:2003	Úmido	≥ 2,5 ^D	≥ 40
Colagem de Topo	ASTM D5572:1999 *	Seco	≥13,8	≥60
		3 Ciclos	≥6,9	≥30
		E.T. ^C	-	-

^A. resistência, ^B. porcentagem de falha na madeira, ^C. Elevada Temperatura., ^D 5 percentil inferior

* Para resistência à flexão estática, não é exigido nenhum valor de falha na madeira.

Para ASTM D5751, os valores são referenciados a partir do “*Pine, Sugar*”(corrigidos para 14% de umidade), sendo estes valores considerados para a média de cada grupo de 20 corpos de prova.

FONTE: O autor.

O controle de qualidade dos produtos colados de madeira exigida para a exportação é um fator de elevada relevância na indústria, pois critérios exigidos são

extremamente cruciais para a manutenção do mercado exportador e, logo para o crescimento da indústria de base florestal brasileira.

3.3 PAINÉIS DE MADEIRA COLADA LATERALMENTE - EGP

Os painéis de madeira colada lateralmente ou na língua inglesa, conhecidos como *Edge Glued Panel* “EGP”, são painéis composto por sarrafos a partir da madeira serrada e unidos através de ligação adesiva nas laterais podendo ou não ser unidos de topo através de emendas do tipo “*finger joint*”. De acordo com a ABIMCI (2008), estes painéis são considerados como Produto de Maior Valor Agregado “PMVA”, pois como o próprio nome diz, agrega valor ao produto primário (sarrafos).

A madeira pode então ser originada de árvores de pequenos diâmetros como as de primeiro desbaste de reflorestamentos, ou o que antes podia ser resíduo, agora se transforma em produto valioso. (REMADE, 2008).

Sua utilização se dá intensamente na confecção de móveis, portas pisos e também na construção civil. Segundo ABIMCI (2008) uma grande parte do consumo de EGP se dá no mercado doméstico, especificamente na produção de móveis, sendo que em onze anos (1.998 a 2.007) a produção teve um incremento de 97,3% e o consumo em torno de 63%.

Em 2007, a produção estimada de painéis EGP alcançou cerca de 503.000 m³, com consumo no mercado interno de 358.000 m³. Desta diferença entre consumo interno e produção, cerca de 145.000 m³ foram destinados à exportação gerando uma receita entorno de US\$119,7 milhões. (SBS, 2008).

De acordo com a ABIMCI (2006), Figura 02, o consumo de painéis colados lateralmente no período de 1996 até 2005 teve ascensão moderada comparado com a produção, que, a partir de 2003 houve um excedente de produção de 95.000 m³ a 144.000 m³ em 2004, destinados à exportação, principalmente os Estados Unidos da América, contemplando 73% do total das exportações, se mantendo estável até 2008.

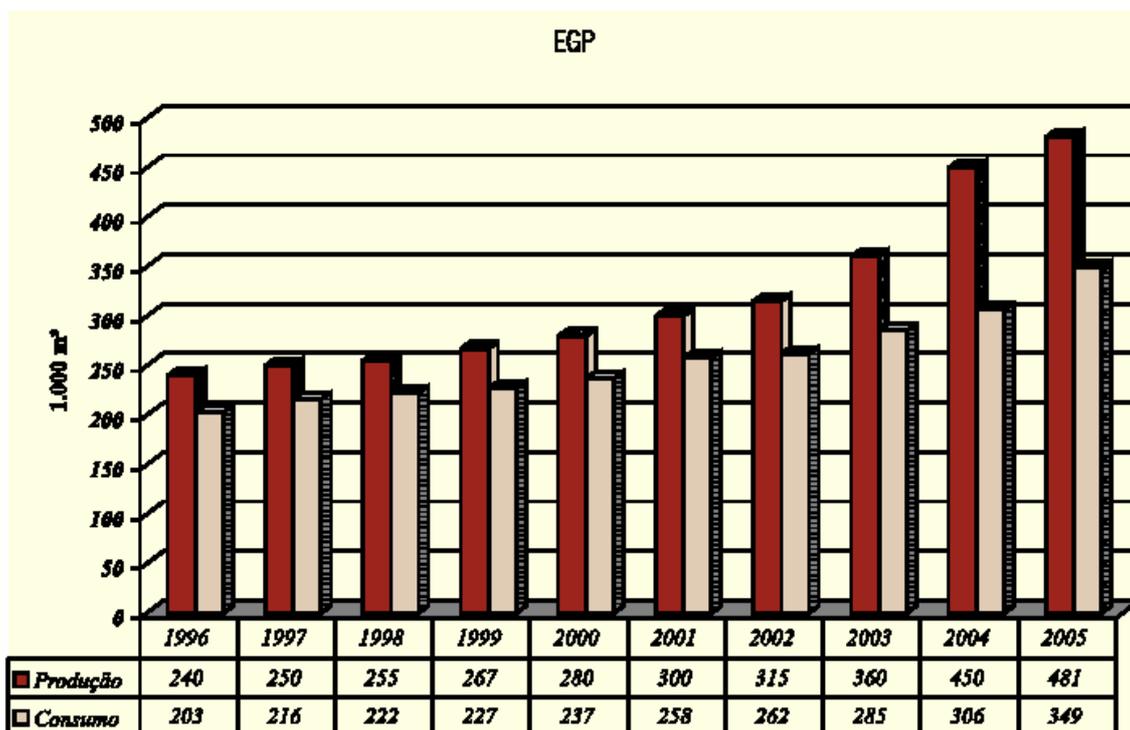


FIGURA 02 – Produção e consumo brasileiro de painéis EGP.
 FONTE: ABIMCI (2006)

A maior parte da produção nacional é feita de madeiras do gênero pinus, embora sejam encontrados painéis colados lateralmente fabricados em madeira de folhosas tropicais e em madeira de eucaliptos. Com ou sem revestimento, o EGP é utilizado principalmente na fabricação de partes e peças de móveis em madeira. Comumente, não são aplicados revestimentos ao EGP, pois o efeito decorativo é dado pelo próprio desenho da madeira e/ou pelas emendas. (BNDES, 2008).

De acordo com a ABIMCI (2008), a madeira de pinus ocupa a primeira posição no ranking das principais espécies florestais plantadas destinadas a indústria de madeira processada mecanicamente, especificamente lâminas, compensado, madeira serrada e PMVA.

3.4 FATORES QUE INFLUENCIAM O DESEMPENHO DO PRODUTO COLADO

3.4.1 Propriedades da madeira

Ao inverso da maioria dos fatores que influenciam a colagem e seu desempenho (relativamente fáceis de se controlar), os parâmetros relacionados às características da madeira, muitas vezes, não podem ser alterados devido à sua origem biológica. A partir disso, o conhecimento destes parâmetros e a determinação de sua influência passa a ser fundamental e valiosa, pois com isso, mesmo com a impossibilidade de modificá-los, podem ser feito ajustes no adesivo e processo de colagem com a finalidade de promover uma compatibilização com as características da madeira. (REIS *et al*, 1982).

Chies (2005) e Rigatto (2007), relatam que fatores como o espaçamento e sítios de crescimento, afetam o crescimento da árvore e influem diretamente em suas propriedades como massa específica básica e conseqüentemente sua resistência, ou seja, suas propriedades físicas (porosidade, permeabilidade) e mecânicas (resistência).

3.4.1.1 Propriedades Anatômicas

Iwakiri (2005) cita que as propriedades anatômicas da madeira estão relacionadas à condição de movimentação do adesivo para o interior da estrutura da madeira. Sendo assim, a influência da anatomia da madeira no desempenho da colagem está intrinsecamente ligada à porosidade e à permeabilidade.

Marra (1992), diz que quando se considera as propriedades anatômicas da madeira, seus efeitos sobre o movimento dos adesivos, estão simplesmente atrelados à estrutura de madeira, ou seja, na capacidade de penetração.

3.4.1.2 Porosidade/Permeabilidade

A porosidade tem uma relação inversa com a massa específica, ou seja, madeiras mais densas possuem menos poros ou poros de menor tamanho, e esse tipo de madeira costuma apresentar tilos ou alto teor de extrativos, diminuindo assim sua permeabilidade.

Madeira com alta massa específica possui menos espaços vazios e conseqüentemente dificulta a penetração do adesivo no interior da madeira diminuindo o ancoramento gerando um pequeno percentual de adesão mecânica. (VICK, 1999).

Basset, 1960; Sasaki e Mcarthur, 1972; Sasaki *et al.*, 1973; Pizzi, 1994; Nordstrom, 1995, citados por Costa Tienne (2006), relatam que a porosidade e a permeabilidade das madeiras afetam grandemente a adesão das mesmas, tendo em vista que a adesão mecânica depende principalmente da disposição dos espaços vazios para que haja uma penetração do adesivo dentro da madeira e que estes espaços vazios estejam desbloqueados, permitindo assim, depois da cura, uma fixação do adesivo por ancoramento. Mas, por outro lado, Iwakiri (2005) afirma que madeira com alta porosidade pode ocasionar numa penetração excessiva conseqüentemente ocorrer a chamada linha de cola faminta, ou seja, uma fraca ligação entre os substratos.

Vick e Rowell (1990), afirmam que os adesivos PVAc geralmente apresentam bom fluxo nos lumens das células que estão expostas na superfície a ser colada, mas, dado o seu alto peso molecular, muito provavelmente não penetram as paredes celulares.

Para adequar o grau de penetração do adesivo em função da variação da permeabilidade e porosidade da madeira, Iwakiri (2005) e Zangiácomo (2003), afirmam que é preciso controlar a viscosidade do adesivo, assim compensando alta permeabilidade com o aumento da viscosidade e vice-versa.

3.4.1.3 Cerne/Alburno

O alburno é a parte da árvore que apresentam as células ainda com funções fisiológicas. Depois que morrem, as células que já foram alburno tornam-se lentamente impregnadas com materiais estranhos como óleos, ceras e compostos fenólicos derivados do decorrer de sua função vital. Estes materiais mudam a coloração da madeira, a permeabilidade, sua umidade de equilíbrio, sua contração e inchamento, sua massa específica e conseqüentemente as propriedades de colagem. (MARRA, 1992).

Albuquerque e Latorraca (2005) afirmam que a proporção de cerne e alburno está diretamente relacionada com a espécie florestal, sítio de crescimento, idade, clima entre outros fatores.

3.4.1.4 Lenho inicial/tardio

Entre as diferenças existentes nas espécies está o padrão de crescimento de cada árvore. Durante o crescimento da árvore, formam-se diferentes tipos e tamanhos de células, denominando-se assim os anéis de crescimento onde grandes células são formadas no lenho inicial e células robustas no lenho tardio. (ALBUQUERQUE e LATORRACA, 2005).

Os mesmos autores citam que uma das maiores dificuldades a superar na formulação dos adesivos é a significativa diferença de porosidade entre os lenhos inicial e tardio, pois esta variação tão próxima entre estas duas zonas na superfície da madeira pode acarretar problemas relativos à penetração do adesivo quanto à linha de cola fina ou espessa.

3.4.1.5 Lenho de reação

O lenho de reação compreendido em lenho de compressão em coníferas e lenho de tração em folhosas apresentam altos níveis de contração e inchamento além de alta massa específica e baixa resistência mecânica.

Albuquerque e Latorraca (2005) comentam que este tipo de madeira não apresenta dificuldade na colagem, mas sua instabilidade é uma fonte de tensões nos produtos colados, produzindo efeitos adversos em sua estabilidade.

3.4.1.6 Idade

A madeira para confecção dos painéis pode ser originada de árvores de pequenos diâmetros como as de primeiro desbaste de reflorestamentos de pinus, o que garante mais uma grande vantagem da tecnologia. Em contrapartida, os painéis colados lateralmente, por serem muitas vezes confeccionados com árvores jovens, as quais possuem fibras com menor comprimento e espessura de parede e menores densidades de madeira, podem apresentar algumas desvantagens como: o painel que constituído de madeira juvenil apresenta menor rigidez e propriedades mecânicas inferiores aos das árvores adultas, sendo mais propenso à quebra. (FOELKEL & FOELKEL, 2008).

3.4.1.7 Propriedades Químicas da Madeira

3.4.1.8 pH

O valor de pH é uma característica que tem influência em vários campos do aproveitamento da madeira, como por exemplo, pode influir na corrosão de metais

em contato com a madeira, a fixação de determinados produtos preservantes, na coloração de algumas madeiras expostas a radiação solar, na fixação de lacas e vernizes sobre sua superfície e no estabelecimento de adesivos. (ALBIN, 1975).

O pH da madeira é importante para todos os tipos de resinas, pois a madeira tem uma capacidade tampão muito grande que pode interferir com um ácido ou base do sistema catalisado. (ROWELL, 1995).

De acordo com Stamm (1964) citado por Trianoski (2010), o intervalo de pH está situado entre 3,0 e 5,5. Segundo o autor, um pH ácido é devido à presença de extrativos ácidos ou da adsorção de cátions ou dos sais que compõem as cinzas, deixando as soluções de equilíbrio ligeiramente ácidas.

3.4.1.9 Extrativos

Pizzi (1994) e Marra (1992) afirmam que dependendo da espécie e da condição de secagem da madeira, pode ocorrer a migração e concentração dos extrativos na superfície da madeira, fazendo com que ocorra o bloqueio dos poros comprometendo a ligação do adesivo com a madeira, característica esta denominada de inativação ou contaminação da superfície.

Dependendo da quantidade e do tipo de extrativo presente na madeira, pode ocorrer uma interferência nas reações de polimerização do adesivo ou uma reação entre o adesivo e o extrativo. (LIMA *et al*, 2007). Normalmente, o teor de extrativos é inferior a 10%, mas madeiras tropicais podem apresentar maiores quantidades. (TRIANOSKI, 2010).

Os extrativos contêm além de ingredientes fenólicos ativos, outras substâncias, principalmente açúcares e gomas de alto peso molecular. Pesquisas mostram que à medida que aumenta a quantidade de açúcares e gomas, a resistência da linha de cola diminui. (PIZZI e MITAL, 1994 citado por CARNEIRO *et al* 2001).

Marcati e Della Lucia (1996) realizaram lavagem com NaOH na superfície da madeira de angico vermelho com intenção de eliminar o excesso de extrativos e propiciar à junta uma melhor colagem. Constataram que com este procedimento

aumentou-se significativamente a resistência ao cisalhamento quando utilizaram o adesivo PVAc.

3.4.1.10 Propriedades Físicas da Madeira

3.4.1.11 Massa específica

A massa específica constitui uma das propriedades físicas mais importantes da madeira, pois dela dependem a maior parte de suas propriedades físicas e tecnológicas, servindo na prática como uma referência para a classificação da madeira. É comprovado que a correta utilização de um material está associada às suas características. A madeira não foge a regra, tornando-se de grande importância o conhecimento de suas características, a fim de prognosticar seu comportamento em diferentes utilizações (PAES *et al.*, 1995).

De acordo com Oliveira e Silva (2003), as variações da massa específica dependem das mudanças na proporção dos vasos e das espessuras das paredes celulares das fibras. O aumento dessa propriedade pode ser o resultado do aumento da espessura da parede celular das fibras ou de um aumento na proporção das fibras em relação, por exemplo, à proporção de vasos. De maneira inversa, um aumento na proporção de vasos, com ou sem decréscimo na espessura da parede celular, leva à sua redução.

Cada espécie apresenta diferentes características, sendo necessário verificar os diversos fatores que atuam intrinsecamente na possibilidade de uso dessas espécies. Para vários autores, entre eles Kollmann (1959), Panshin e De Zeeuw (1980) e Vital (1984), a densidade é uma das principais características para se qualificar a madeira.

Para Oliveira (1991), uma maior densidade corresponde quase sempre a maiores retratibilidade e resistência mecânica. Desta forma, há um alto grau de correlação entre a densidade e as propriedades mecânicas da madeira, bem como em relação ao seu poder calorífico.

Vick (1999) relata que a massa específica é, talvez, um indicador bruto, mas, é útil para estimar a colabilidade de uma grande variedade de espécies de madeira.

Marra (1992) aborda a influência da massa específica na colagem da madeira sob dois aspectos. Uma influência é quanto à estabilidade dimensional da madeira. Quanto maior sua massa específica maior será sua alteração dimensional devido às mudanças em seu teor de umidade e com isso aumentando a tensão exercida na linha de colagem. Outro aspecto é quanto à quantidade de espaços vazios em função da massa específica. Quanto maior a massa específica, mais espessa as paredes das células e por conseqüência menor a quantidade de espaços vazios na madeira. Concluiu-se então que a penetração do adesivo será maior em madeiras de baixa massa específica do que em madeiras com alta massa específica.

Vick (1999), citado por Gaspar *et al.* (2005), afirma que a resistência das ligações adesivas cresce com o aumento da massa específica da madeira até um limite de 700 a 800 kg/m³, sendo que acima deste valor a resistência da ligação decresce. Este efeito é explicado, pois, para valores muito elevados de massa específica, tem-se uma reduzida penetração de adesivo e uma resistência da madeira cada vez mais elevada, fazendo com que a ruptura passa ocorrer na linha de cola.

3.4.1.12 Teor de umidade

Nock e Richter (1978) afirmam que o adesivo tende a perder umidade mais rapidamente em lâminas de madeiras com baixo teor de umidade, pois o adesivo tende a penetrar mais na lâmina e se afastar da linha de cola.

Raknes (1982) concorda com esta afirmação, pois comenta que madeiras com baixos teores de umidade é muito perigoso, e o intervalo entre 8 e 10% parece ser um limite mínimo de segurança para colagem de topo através de “finger-joint” com finalidades estruturais em madeiras de fibra longa.

Mudanças no teor de umidade sempre causam alteração dimensional e estas induzem tensões na linha de cola (MARRA, 1992).

Esta afirmação é comprovada por Frihart (2005), que apresenta uma discussão sobre o uso do adesivo epóxi, em que madeiras coladas com este adesivo, quando expostas em condições úmidas, a linha de cola torna-se fragilizada. O autor explica que os adesivos epoxis são incapazes de suportar a pressão durante a expansão da madeira, quando absorve água, apesar do adesivo ser resistente à umidade.

Em madeiras coladas com um teor de umidade elevado, posteriormente, durante sua utilização ocorre secagem natural ou a diminuição de seu teor de umidade para entrar em equilíbrio com o ambiente, e isso causará tensões nas linhas de cola. (RAKNES, 1982).

O autor constatou em um experimento realizado, que madeiras com alto teor de umidade (22%) apresentou uma redução de 5 a 7% em resistência à flexão estática quando comparados com madeiras que continham 14% de teor de umidade.

O teor de umidade da madeira na ocasião da colagem influi decisivamente na resistência da junta, no desenvolvimento de rachaduras na madeira e na estabilidade dimensional do produto colado. (SELBO, 1975).

Marra, (1992) afirma que é inviável a colagem de madeira no estado verde ou com um alto teor de umidade, principalmente em madeiras com alta massa específica devido ao seu alto coeficiente de contração.

3.4.1.13 Anisotropia

Segundo Mendes, *et al.* (1999) citado por Mendes *et al* (2001), as propriedades da madeira mais importantes requeridas para a escolha dos sarrafos na produção de compensados sarrafeados são as seguintes: umidade; massa específica; contração radial; contração tangencial; contração volumétrica; coeficiente de anisotropia e coeficiente de retratibilidade volumétrica.

A afirmação deste autor cabe para os painéis colados lateralmente, pois segue os mesmos princípios de montagem e colagem, diferenciando nas etapas de revestimento.

Gaspar *et al.* (2005) afirma que as variações dimensionais da madeira, ocorridas durante e após a cura do adesivo, podem contribuir para a deterioração

das ligações adesivas em presença de variações de umidade, por introduzirem tensões elevadas nas juntas coladas.

Um problema que deve ser ressaltado é que o processo de colagem requer baixa umidade na madeira, principalmente em função do tipo de adesivo a ser utilizado. No entanto, a umidade de uso final dos painéis varia em função das condições climáticas da região onde os mesmos serão utilizados. Ou seja, após a colagem, a madeira absorverá umidade até o ponto de equilíbrio com o ambiente e, se essa faixa de absorção for alta, associada com uma média a elevada anisotropia, provavelmente provocará deformações no painel já formado, mesmo que tenham realizados todos os procedimentos de produção ideais.

Grande importância é dada quando ocorre falha na ligação adesiva devido à contração da madeira, pois as rachaduras são mais visíveis quando a madeira seca. No entanto, no processo de inchamento da madeira ocorre o enfraquecimento do vínculo dos substratos e é claramente demonstrada pela diminuição freqüente do percentual de falha na madeira em relação ao adesivo em condições úmidas. O inchamento da madeira impõe tensões internas consideráveis na interface entre a madeira e o adesivo, e se estas tensões não forem distribuídas, ocorre um grande estresse na interface. (FRIHART, 2009).

Segundo Keinert Jr. (1989) citado por Mendes *et al.* (1999), para minimizar o inchamento dos painéis sólidos, devem-se selecionar tábuas obtidas, radialmente, de espécies com baixa contração radial, a exemplo da Teca (*Tectona grandis*), Pinus (*Pinus spp.*) e Mogno (*Swetenia macrophylla*).

Infelizmente, durante o processo industrial, é inviável economicamente fazer-se a seleção e uso somente das peças radiais.

Como alternativa para utilização de peças tangenciais e melhorar a estabilidade do painel, o autor sugere realizar a oposição das faces das peças. (Figura 03b).

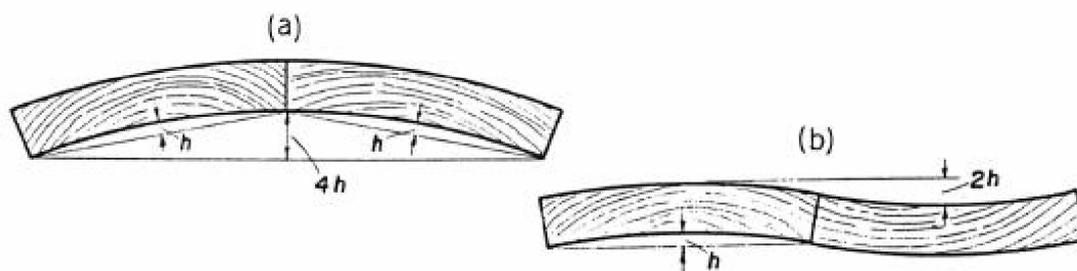


FIGURA 03 – Empenamentos de painéis com bordos colados.

FONTE: Keinert Jr. (1989).

3.4.1.14 Variabilidade

Reis *et al.* (1982), Campos e Lahr (2007), citam que não existem duas peças de madeira iguais. As maiores variações acontecem entre espécies, sendo que algumas delas apresentam maior facilidade de colagem que outras. A natureza biológica da madeira causa adicionalmente amplas variações entre árvores de uma mesma espécie, e mesmo no material de uma mesma árvore. Esta variabilidade atinge uma série de propriedades (massa específica, textura, permeabilidade, etc.), que por sua vez são definidas no processo de adesão e na performance da colagem.

Segundo Vick (1999), as espécies de pinheiros do sul (*Pinus taeda*) e do gênero *Pinus caribaea*, são classificadas espécies de colagem satisfatória, conforme sua massa específica e experiências industriais.

3.4.1.15 Propriedades Mecânicas da Madeira

3.4.1.16 Resistência

Falha na madeira é muitas vezes considerada tão importante quanto à força da ligação. Profunda falha na madeira é fácil de observar, mas determinar onde e por que não tem lugar na linha de adesão é difícil. (FRIHART, 2005).

Apesar da resistência na linha de cola aumentar com a densidade da madeira, a falha na madeira diminui gradualmente até a faixa de densidade de 700 kg/m³, então diminui mais rapidamente acima de 800 kg/m³. (VICK, 1999).

Houwink e Salomon (1965) comentam que várias madeiras foram coladas com adesivos à base de PVAc e submetidas ao ensaio de resistência ao cisalhamento por tração com a finalidade de ser comparável com os adesivos uréicos e fenólicos, e por razões que não são claras, houve menor falha na madeira.

3.4.2 PREPARAÇÃO DA MADEIRA

3.4.2.1 Superfície

Pizzi (1982) explica que as superfícies a serem coladas devem estar limpas e livres de serragem e máquina de corte bordas também devem ser limpas para evitar a contaminação da superfície de corte. As peças de madeira devem ser imediatamente aplicadas o adesivo e realizado a colagem propriamente dita após a usinagem da superfície dos sarrafos, pois, o adesivo penetra mais facilmente nas células rompidas durante a usinagem.

A preparação das superfícies a serem coladas também irá influenciar a formulação num certo ponto. No caso dos adesivos para a colagem de madeira para madeira, imprecisamente superfícies usinadas podem tornar necessária a formulação de preencher lacunas de adesivos, a fim de produzir um vínculo satisfatório sobre toda a superfície. Adesivos podem ser formulados para dar uma boa aderência ao gorduroso, solto, ou empoeirados superfícies ou para selar um

substrato muito poroso. Em certas aplicações, o adesivo deve ser capaz de superfícies a que foram revestidos ou envernizados. (PIZZI, 1982).

3.4.2.2 Ângulo da grã

Albuquerque e Latorraca (2005) relatam que os efeitos de grã na formação adesiva envolvem, principalmente, a porosidade que ocorre em diferentes planos de corte. Grãs irregulares provocam excessiva penetração do adesivo, ao contrário, madeiras com estrutura muito fechada e superfícies lisas, provocam uma deficiência na penetração do adesivo. Em ambos os casos a ligação adesiva com o substrato está comprometida.

De acordo com o plano de corte, Panshin e De Zeeuw, (1980) afirmam que a permeabilidade lateral, que se resumem ao plano tangencial ou radial, é muito menor que na direção longitudinal devido ao grande número de cavidades expostas, chegando a ser em alguns casos 100.000 vezes maior que os valores transversais.

A afirmação destes autores é fundamental para o processo de colagem em si, pois a teoria de se fazer ranhuras no topo de uma madeira como, por exemplo, tipo *finger joint* é que se aumente a área superficial da madeira e que se diminua a influência da absorção excessiva do adesivo causado pelos poros conferindo à madeira colada de topo uma maior resistência na colagem devido a sua melhor ancoragem.

3.4.2.3 Teor de umidade/distribuição

A madeira deverá, idealmente, ter um teor de umidade entre 8 e 15% em massa, sem grande variação entre os componentes individuais, embora na maioria das circunstâncias, é possível compensar o teor de umidade maior ou menor na madeira por um controle cuidadoso da taxa de propagação. (PIZZI, 1982).

O adesivo PVAc é insolúvel em água, mas mostra um inchamento alto até a destruição completa após um contato prolongado com a água. A resistência mecânica cai em altas umidades relativas, mas pode se recuperar em ambiente seco. (NOCK e RICHTER, 1978)

3.4.3 APLICAÇÃO DO ADESIVO

3.4.3.1 Armazenagem

Pesquisas realizadas pelo *Forest Products Laboratory* (1952) mostraram que, após 6 meses de armazenamento a aproximadamente 26° C, as colas líquidas de origem animal produziram valores de força de apenas 45 a 65 % de sua força quando usada fresca, sendo que nenhuma mudança física significativa nas amostras foi observada durante este período de armazenamento. Os resultados indicaram que as amostras de colas de líquidas devem ser utilizadas logo que possível após a recepção.

3.4.3.2 Prensagem

Oliveira & Freitas (1995) citados por Fiorelli (2002) afirmam que a adesão é atribuída a várias e diferentes forças, como as forças moleculares e força de Van Der Waals, e que estas só podem ser desenvolvidas quando as moléculas estão muito próximas entre si. Este é o motivo pelo qual se aplica pressão sobre as superfícies das juntas a serem coladas, tanto para colagem a frio, quanto para colagem a quente.

Mantilla Carrasco (1989) citado por Costa Tienne (2006), estudando as espécies de castanheira (*Bertholetia excelsa*), pinus (*Pinus elliotii*), araucária (*Araucaria angustifolia*) e peroba rosa (*Aspidosperma polyneuron*) coladas com

adesivo PVAc e resorcinol, concluiu que a pressão ideal de colagem variou entre 0,55 a 0,65 MPa.

Pizzi (1983) indica que para madeiras macias “*softwood*” (baixa massa específica) utilizando o adesivo PVAc a pressão de prensagem tem que ser baixa, em torno de 300 a 600 KPa (3,06 a 6,12 kgf/cm²).

3.4.3.3 Aplicação (gramatura), tempo em aberto.

Racknes (1982) afirma que para aplicação do adesivo na superfície da madeira ranhurada pode ser feito de forma manual, mas tendo a desvantagem de pouco controle de gramatura conseqüentemente pode haver um consumo excessivo de adesivo ou pode ocorrer falha na linha de cola devido a pouco adesivo aplicado. Ou pode ser feita de forma mecânica através de rolos, escovas ou spray. Para a aplicação por rolos, o controle de gramatura é mais rigoroso, mas deve-se atentar para a limpeza dos rolos que por ventura pode ficar sujo com lascas ou serragem de madeira comprometendo a qualidade da emenda.

O tempo em aberto é compreendido entre o prazo de aplicação do adesivo na madeira até a junção entre as partes a serem coladas.

O adesivo pode ser aplicado em uma ou em ambas as superfícies a serem coladas.

Pizzi (1983) afirma que é preferível a aplicação do adesivo em ambas as superfícies, pois melhora sensivelmente a penetração do adesivo devido ao tempo em aberto.

3.4.3.4 Ciclo de prensagem – alta freqüência

De acordo com Roussy et al. (1995), citado por Pereira et al. (2005), o aquecimento por radiação eletromagnética é diferente dos métodos convencionais de transferência de calor, pois enquanto este método depende da velocidade de transporte de calor da superfície quente do material para seu interior frio, o

aquecimento por radiação eletromagnética é um aquecimento volumétrico no qual o campo magnético interage com o material como um todo e o calor é gerado no interior.

A principal vantagem da prensagem por alta frequência é por ser um processo rápido quando comparado com a prensagem convencional e eficiente, devido ao aquecimento seletivo da linha de cola, evitando o aquecimento da madeira e as variações dimensionais daí decorrentes. (PEREIRA et al., 2005).

Em relação ao material adesivo madeira, Pereira (2002), afirma que o aquecimento depende de diversos parâmetros como tipo de adesivo, gramatura, espécie de madeira, massa específica e teor de umidade da madeira.

Pereira et al. (2005) estudando o tempo de prensagem ótimo de EGP por alta frequência, seus resultados mostraram que a qualidade de colagem dos painéis melhorou com o aumento do tempo de prensagem, no entanto se o tempo necessário à cura do adesivo for ultrapassado, haverá aquecimento da água existente na madeira o que poderá provocar deformações e desenvolvimento de tensões nas linhas de cola.

3.4.3.5 Condicionamento/Tempo de cura

O tempo de cura do adesivo se dá do momento do contato do adesivo no substrato madeira até seu endurecimento e estabilização após prensagem.

Segundo Haubrich *et al.* (2007), o tempo de cura dos adesivos vinílicos não se dá no momento de sua secagem, mas sim após algum tempo, sendo que este tempo pode variar algumas horas ou alguns dias, dependendo de como ocorreu o processo de prensagem e das condições do ambiente. Para comprovar seu relato, os adesivos das classes D1, D2, D3 e D4, em testes de laboratório mostraram que após 24h a 20°C, praticamente não houve diferença na resistência à água.

O mesmo autor cita ainda que adesivos curados por alta frequência a cura ocorre em um tempo muito menor que numa colagem onde não há aquecimento da linha de cola ("*finger-joint*").

A norma EN 204 (2001), que faz a classificação dos adesivos termoplásticos para madeira para aplicação não estrutural, exige um tempo mínimo de cura e

condicionamento para painéis recém colados em atmosfera padrão (65% de umidade relativa e 20°C) de 7 dias.

Após a colagem da lateral dos sarrafos, o conteúdo de umidade da madeira, imediatamente adjacente à linha de cola, aumenta em consequência da absorção de água presente na cola, causando um padrão de inchamento. Caso haja tempo suficiente entre a colagem e o aplainamento, haverá uma equalização da umidade e um painel com superfície perfeita. Em contrapartida, se o aplainamento é feito antes da equalização, o painel, já pronto, sofrerá os efeitos do desenvolvimento das juntas “Sunken” (depressão), que se resumem em depressões na superfície dos painéis (Figura 04 d). (IWAKIRI, 2005; KEINERT JR. 1989; MENDES *et al.*, 1999; MARRA, 1992).

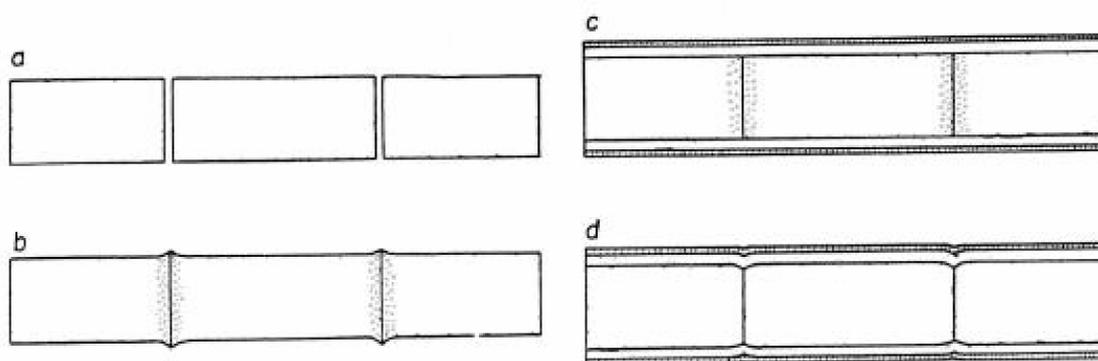


FIGURA 04 – Desenvolvimento de juntas “Sunken”. a) sarrafos a serem colados; b) juntas salientes devido à absorção de umidade causada pelo adesivo; c) painel compensado sarrafeado revestido por lâminas; d) depressões na superfície.

FONTE: Keinert Jr. (1989).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 ESPÉCIES ESTUDADAS

No presente estudo foram utilizadas seis espécies do gênero pinus (*P. oocarpa*, *P. chiapensis*, *P. maximinoi*, *P. taeda*, *P. tecunumanii* e *P. caribaea hondurensis*) foram coletadas no interior do Estado do Paraná região da cidade de Ventania, onde o clima predominante é subtropical úmido mesotérmico com temperatura média é de 22°C e precipitação média anual de aproximadamente 1400 mm. Em anos com ocorrência de geadas freqüentes e severas é inferior a 18°C. Estas espécies no momento da coleta (abril, 2007) apresentavam idade de 18 anos, sendo que foram derrubadas 5 árvores de cada espécie de plantios experimentais da empresa Valor Florestal.

Foram amostradas cinco árvores de cada espécie, sendo que dentre elas, uma foi selecionada com diâmetro inferior à média diamétrica do povoamento, três com o diâmetro médio em relação à média diamétrica do povoamento e uma com o diâmetro superior à média diamétrica do povoamento.

O fuste foi seccionado nas posições de 0%, 25%, 50%, 75% e 100% em relação à altura comercial de cada árvore (diâmetro mínimo de 8 cm), tomando-se a primeira tora de cada espécie para laminação, e as demais para o desdobro em forma de pranchão e tábuas.

Para a realização deste trabalho, as amostras selecionadas foram obtidas a partir do desdobro dos pranchões, e para referência e comparação dos resultados foi adotada a espécie de *Pinus taeda* como testemunha também com 18 anos de idade, oriunda de um plantio ao lado dos plantios experimentais de pinus tropicais.

4.2 PRODUÇÃO DE PAINÉIS COLADOS LATERALMENTE (EGP)

4.2.1 Preparo da madeira

Para produção dos painéis, os sarrafos foram desdobrados e usinados no Laboratório de Usinagem da Madeira da UFPR, com dimensões finais de 1'x2'x12' após permanecerem por um longo período de estabilização de seu teor de umidade em câmara climática, com condições ambientais constantes de $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ de temperatura e $65\pm 5\%$ de umidade relativa, onde se pretendeu alcançar uma umidade de equilíbrio aproximada de 11%.

Importante ressaltar que os painéis montados foram constituídos simplesmente de sarrafos colados lateralmente, sem a presença de emendas de topo através de "*finger-joint*". Os sarrafos colados de topo foram avaliados separadamente dos painéis.

Com a finalidade de simular a preparação dos sarrafos em escala industrial, tanto os sarrafos destinados à colagem lateral quanto para colagem de "topo", foram desdobrados de forma aleatória quanto à orientação das fibras e serrados através de uma serra circular perfiladeira tendo para acabamento de sua superfície, propositadamente, aplainados em uma plaina desengrossadeira.

O acabamento diferenciado quanto à usinagem de topo foi dado aos sarrafos destinados à colagem de topo, fazendo-se ranhuras através de uma tupia dotada de fresa para emendas do tipo "*finger joint*". Esta operação foi realizada na empresa fornecedora do adesivo.

A Figura 05 mostra resumidamente alguns passos do processo de preparação dos sarrafos.



FIGURA 05 – Confeção dos sarrafos. a) Destopo dos pranchões; b) Blocos para desdobro dos sarrafos; c) Desdobro dos sarrafos; d) Sarrafos codificados em função das espécies; e) Sarrafos gradeados para climatização; f) Operação de ranhuras nos topos dos sarrafos.

4.2.2 Montagem dos painéis

Os painéis foram confeccionados a partir de sarrafos devidamente identificados por espécie, intencionalmente misturados para que não houvesse nenhuma interferência dentro das espécies estudadas, quanto à posição na árvore, ou diferença de crescimento entre as mesmas.

O adesivo utilizado foi do tipo PVA_c (polivinil acetato), fabricado pela empresa Henkel Ltda., com características de viscosidade distintas conforme finalidade de colagem, isto é, um tipo de viscosidade para colagem lateral diferente da viscosidade para colagem de topo, sendo que as demais características se mantêm, conforme mostrado na tabela 05.

TABELA 05 – ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA E DESTINAÇÃO DOS ADESIVOS.

Propriedades	Colagem Lateral	Colagem de Topo
Teor de Sólidos	45 %	45 %
Viscosidade *	6500 cP	4500 cP
Densidade (20°C)	1,05 – 1,10 g/cm ³	1,05 – 1,10 g/cm ³
pH	≈ 4,0	≈ 4,0

* Viscosidade Brookfield determinada a 20rpm e 25°C, com o spindle 3 para a colagem lateral e spindle 4 para a colagem de topo.

FONTE: HENKEL Ltda.

Os painéis foram montados no laboratório da empresa Henkel Ltda. fabricante do adesivo, situado na cidade de Curitiba, e neste processo pretendeu-se controlar as variáveis de colagem como a aplicação do adesivo (distribuição e gramatura).

As variáveis de prensagem foram pré-estabelecidas de acordo com a indicação do fabricante do adesivo (para prensa de alta frequência utilizou-se pressão superior e lateral de 6kgf/cm² e tempo de prensagem de 3 min).

A aplicação do adesivo se deu através de rolo de espuma (comum para pintura que utiliza tinta a base d'água), a distribuição foi monitorada visualmente, perceptível a olho nu quando uniforme e as gramaturas pré-determinadas com índices de 160g/m² e 200g/m², controlada com auxílio de uma balança digital com capacidade para 2.000g com precisão de 0,01g e calculada através da seguinte fórmula:

$$g = \frac{(M_{sa} - M_{ca})}{A}$$

Onde:

g: gramatura (g/m^2);

M_{sa} : massa de madeira sem adesivo (g);

M_{ca} : massa de madeira com adesivo(g);

A: área a ser colada (m^2).

Através da fórmula da determinação da gramatura foi possível calcular a quantidade de adesivo a ser aplicado por painel.

Levando em consideração que cada painel foi composto por cinco sarrafos, foram consideradas quatro linhas de cola simples, resultando na quantidade de adesivo por painel, como mostra a tabela 06.

TABELA 06 – CÁLCULO DE QUANTIDADE DE ADESIVO UTILIZADO NA CONFECCÃO DOS PAINÉIS.

Gramaturas	Largura	Comprimento	Área dos sarrafos	Quantidade adesivo
g/m^2	cm	cm	m^2	g
160	10,1	32,5	0,032825	5,25
200	10,1	32,5	0,032825	6,57

FONTE: O autor

Após todo o procedimento de montagem, os painéis foram levados à câmara de climatização durante 1 semana para a aclimatação e cura total do adesivo.

4.2.3 Etapas de produção dos painéis

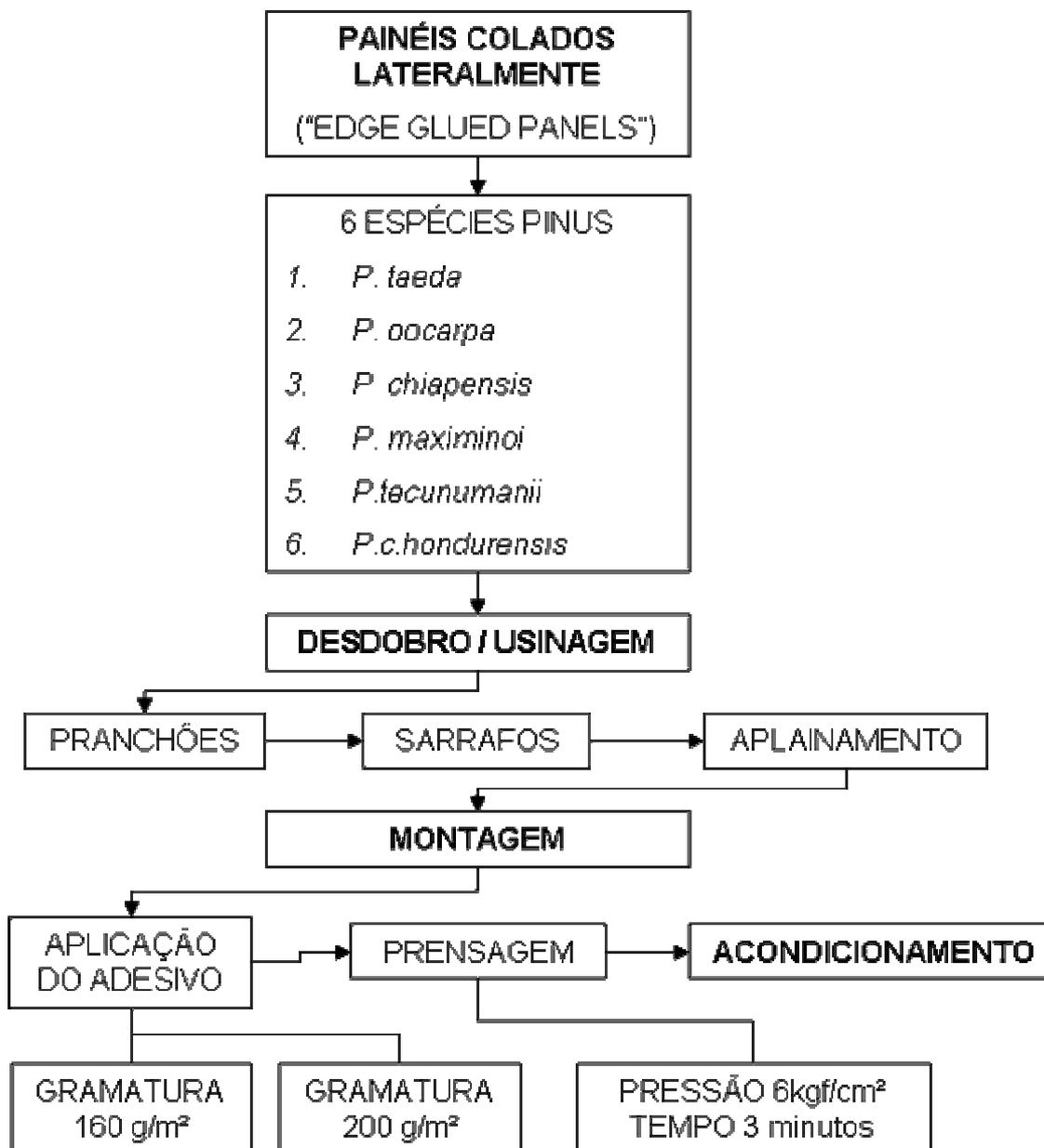


FIGURA 06 – Fluxograma da produção dos painéis colados lateralmente.
FONTE: O autor

4.2.4 Montagem dos sarrafos (colagem de topo – “finger-joint”)

Para montagem dos sarrafos para estudos da colagem de topo não foi pré-estabelecido a quantidade de adesivo por área. A aplicação do adesivo neste caso também se deu por rolo de espuma, mas a determinação da quantidade de adesivo era verificado após a junção dos sarrafos.

Foi determinado o peso dos sarrafos sem adesivo e após a aplicação do adesivo, realizou-se a junção manual dos sarrafos com a função de obter um efeito de pré-prensagem e melhorar a absorção do adesivo pela madeira a fim de evitar o escorrimento na superfície e determinar com precisão a gramatura aplicada nas junções.

Após pesagem dos sarrafos com adesivo, procedeu-se efetivamente a prensagem, e através de manivelas com rosca aplicou-se pequeno nível de pressão manualmente com a finalidade de manter unidos os sarrafos até a pré-cura estabelecida pelo fabricante de 40 min, conforme Figura 07.

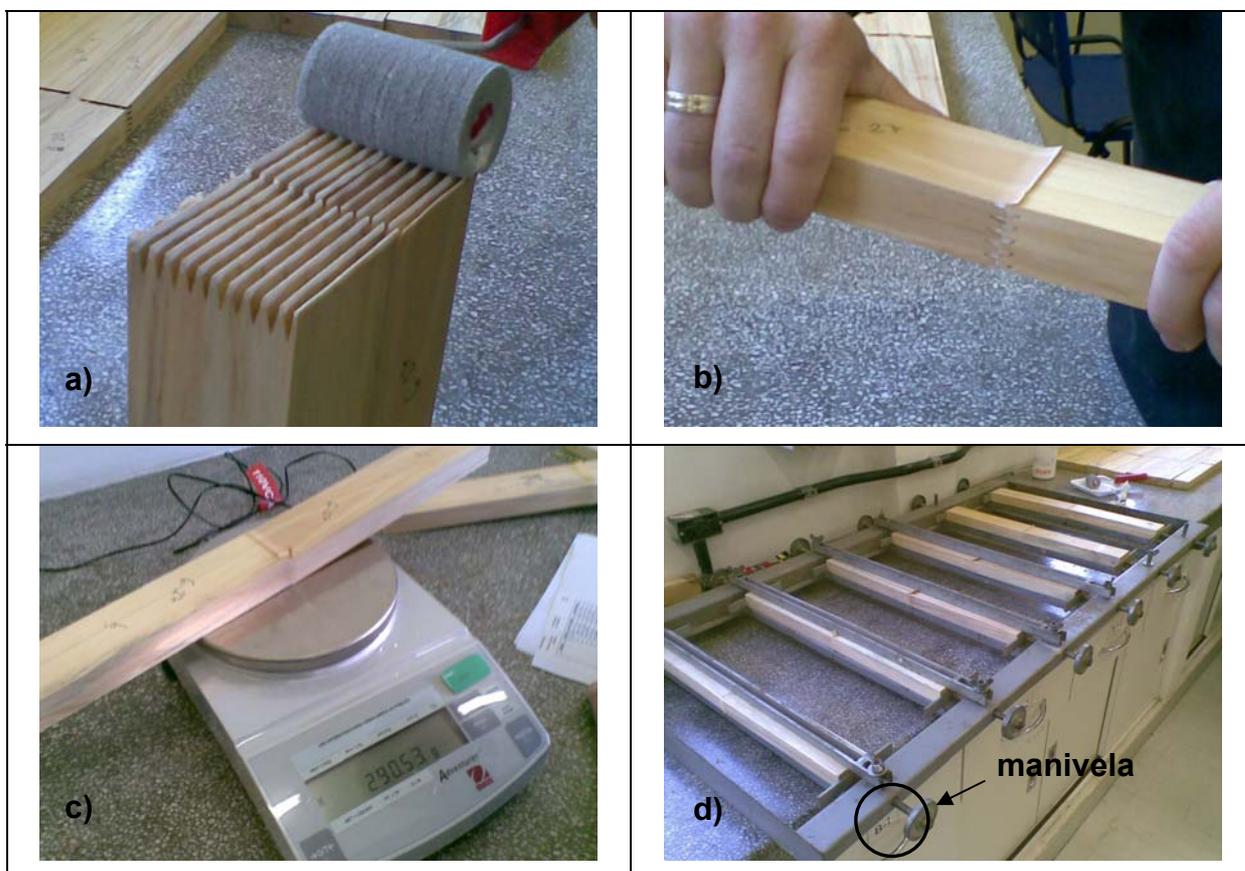


FIGURA 07 – Montagem dos sarrafos. a) Aplicação do adesivo; b) junção manual dos sarrafos; c) verificação da quantidade de adesivo; d) prensagem dos sarrafos.

4.2.5 Etapas de produção dos painéis

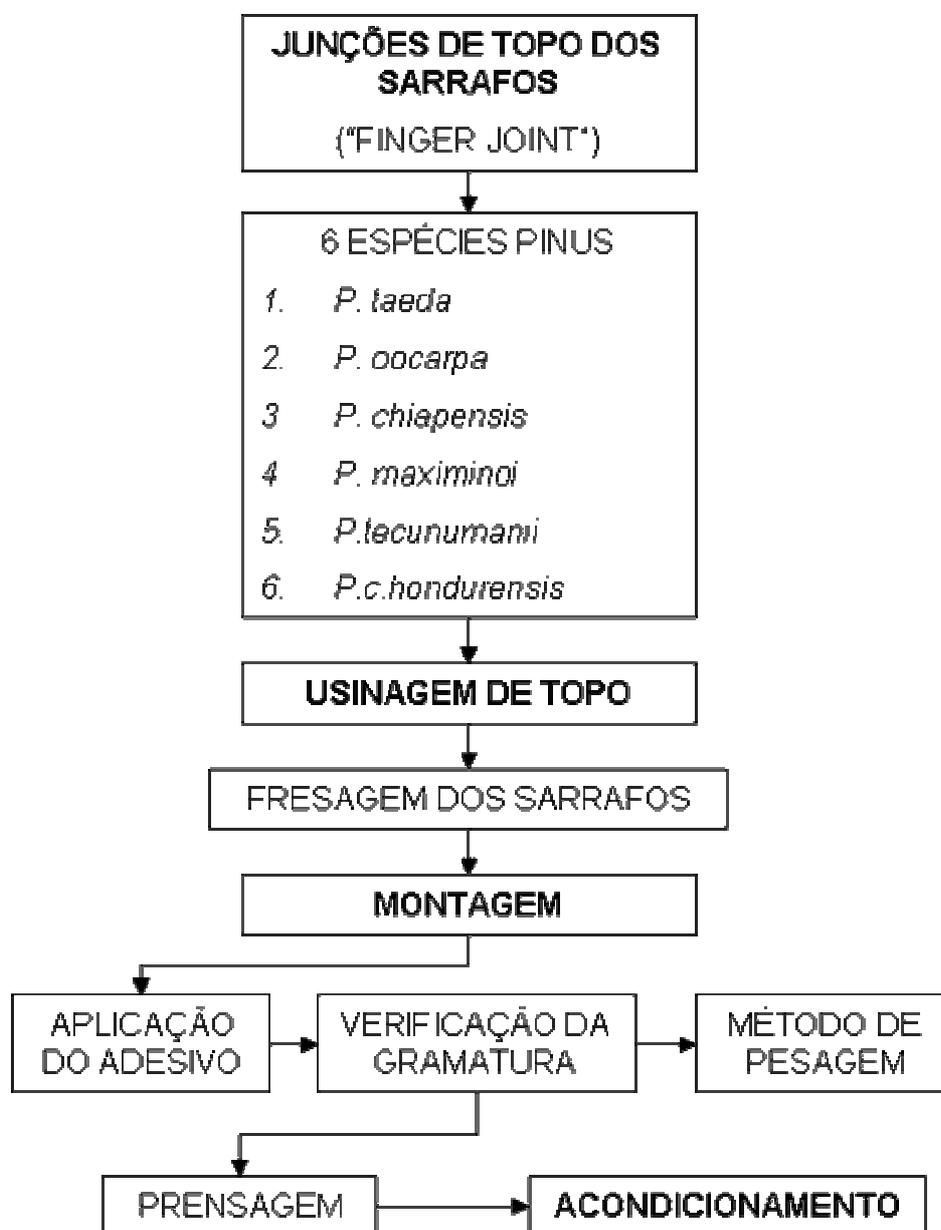


FIGURA 08 – Fluxograma da produção dos painéis colados lateralmente.

FONTE: O autor

4.3 AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES DAS ESPÉCIES ESTUDADAS

4.3.1 Determinação do teor de umidade

O teor de umidade dos sarrafos foi determinado de acordo com a norma EN – 322/2000 – *Wood-based panels – Determination of moisture content*.

4.3.2 Determinação da massa específica

Para a determinação da massa específica tanto dos painéis quanto dos corpos de prova de cisalhamento de linha de cola foi tomada como base a norma EN-323 – *Wood-based panels – Determination of density*, que para o caso deste estudo específico a norma sofreu adaptações quanto às dimensões dos corpos de prova.

4.3.3 Determinação do pH da madeira

A determinação do potencial hidrogeniônico (pH) teve como base a norma TAPPI 252 – *pH and electrical conductivity of hot water extracts of pulp, paper, and paperboard*, e a partir das especificações da norma, desenvolveu-se o seguinte procedimento:

- Redução das amostras de madeira em partículas – procedimento realizados através de um picador de disco;
- Redução dos cavacos em pó – utilizou-se um moinho de facas com malha pré-classificatória;
- Classificação do pó(amostra) – utilizou-se peneiras com malhas de 40 e 60mesh, sendo utilizado o pó que ficou retido na malha de 60 mesh.

- Fervura – utilizando-se 2g de amostra, sendo que para cada espécie foram realizadas três repetições, diluídas em 100mL de água destilada foi levadas à fervura durante 1h.
- Determinação do pH – após a etapa de fervura e respectivo resfriamento das amostras líquidas à 25°C, procedeu-se a determinação do pH em um pHmetro digital previamente calibrado.

4.3.4 Determinação da composição química quantitativa.

A obtenção das propriedades químicas foi realizada a partir da geração de cavacos e posteriormente gerada em forma de serragem.

As análises químicas foram realizadas no laboratório de química da madeira da UFPR, com três repetições por amostra, seguindo a metodologia regida pelas normas:

- Solubilidade em água fria (TAPPI 207);
- Solubilidade em água quente (TAPPI 207);
- Solubilidade em hidróxido de sódio (NaOH) (TAPPI 212);
- Extrativos em etanol-tolueno (TAPPI 208);
- Extrativos totais (TAPPI 204);
- Teor de lignina (TAPPI 222);
- Materiais orgânicos ou cinzas (TAPPI 211);

4.3.5 Determinação da contração volumétrica e coeficiente de anisotropia.

As determinações da contração volumétrica e seus respectivos coeficientes de anisotropia foram determinados de acordo com a norma COPANT – 462/1972 – *Método de determinación de la contracción*.

4.4 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE COLAGEM

4.4.1 Método para avaliação da resistência de colagem lateral

Para avaliação da qualidade da colagem dos painéis EGP, foram utilizadas as normas: EN 13354/2003 *Solid wood panels – Bonding quality – Test method* e a norma EN 13353/2003 *Solid wood panels (SWP) – Requirements*.

De acordo com a norma EN 13353/2003 *Solid wood panels (SWP) – Requirements*, o tipo de painel produzido para este estudo classifica-se como “painel de madeira sólida para uso em condições secas” e por este motivo, os corpos de prova que foram confeccionados para ensaios de resistência necessitam de um pré-tratamento que consiste em imergi-los em água a uma temperatura de 20°C durante 24h e logo após realizar ensaios.

Os ensaios para a determinação da resistência ao cisalhamento da linha de cola foram realizados em uma máquina universal de ensaios da marca EMIC com capacidade para 10Tf equipada com uma célula de carga com capacidade de 500kgf. Os ensaios e climatização dos painéis foram todos realizados no laboratório de Tecnologia da Madeira da UFPR.

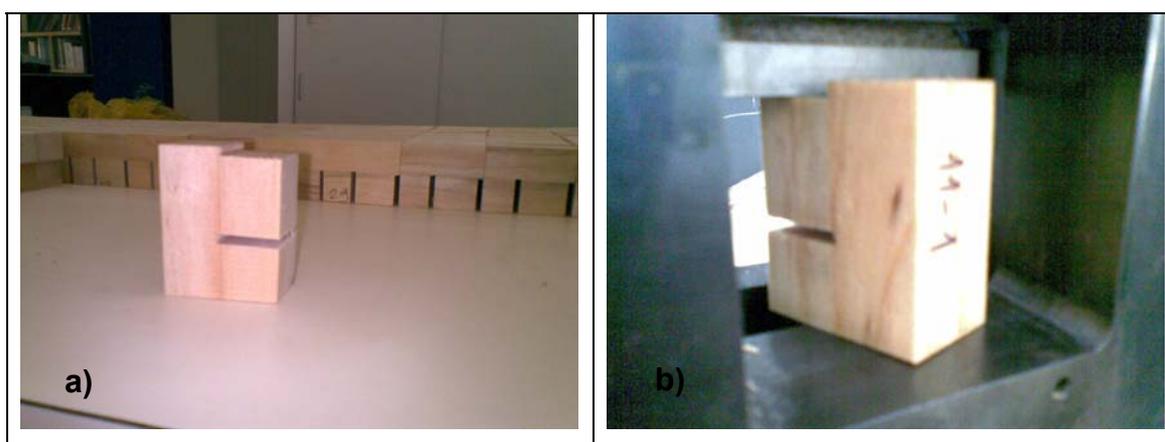


FIGURA 08-1 – Avaliação de colagem lateral. a) formato do corpo de prova; b) ensaio de cisalhamento à compressão.

4.4.2 Método para avaliação de qualidade – resistência à colagem de topo – “*finger joint*”

Para a determinação da resistência a colagem de topo, os procedimentos foram realizados de acordo com as normas ASTM – 5572/1995 – *Standard Specification for Adhesives Used for Finger Joints in Nonstructural Lumber Products*. Esta avaliação é indicada para testes resistência à tração e à flexão estática em emendas do tipo *finger joint* para uso não estrutural.

Tanto para a determinação da resistência à tração das emendas de “*finger-joint*” quanto para resistência à flexão estática, a norma estabelece três tipos de pré-tratamentos. Estes pré-tratamentos são exigidos para painéis que são destinados ao uso interno, ou seja, para painéis que não ficarão expostos a umidade devido ao tipo de adesivo utilizado.

Conforme a classificação da norma ASTM-5572 (1995), o adesivo utilizados para este estudo classifica-se como sendo não estrutural para uso seco, sendo capaz de produzir força suficiente e durabilidade para fazer que a madeira serrada sirva para uso não estrutural, sob condições na qual a umidade de equilíbrio da madeira não exceda 16%.

O primeiro pré-tratamento exigido é para avaliação da resistência da emenda sem exposição à umidade, sendo o conjunto de corpos de prova submetido ao esforço tanto de tração quanto de flexão estática em condição seca.

Para o segundo pré-tratamento, o conjunto de corpos de prova é ensaiado logo após permanecer em estufa à uma temperatura de 104 ± 3 °C por um período de seis horas

No terceiro e último pré-tratamento, o conjunto de corpos de prova é imerso em água a uma temperatura de 19 a 27 °C durante um período de 4 horas. Depois de passado este período, os corpos de prova são retirados da água e colocados em estufa com circulação de ar a uma temperatura de 41 ± 3 °C durante um período de 19 horas. Este procedimento é repetido até completar os três ciclos e ensaiados em seguida.

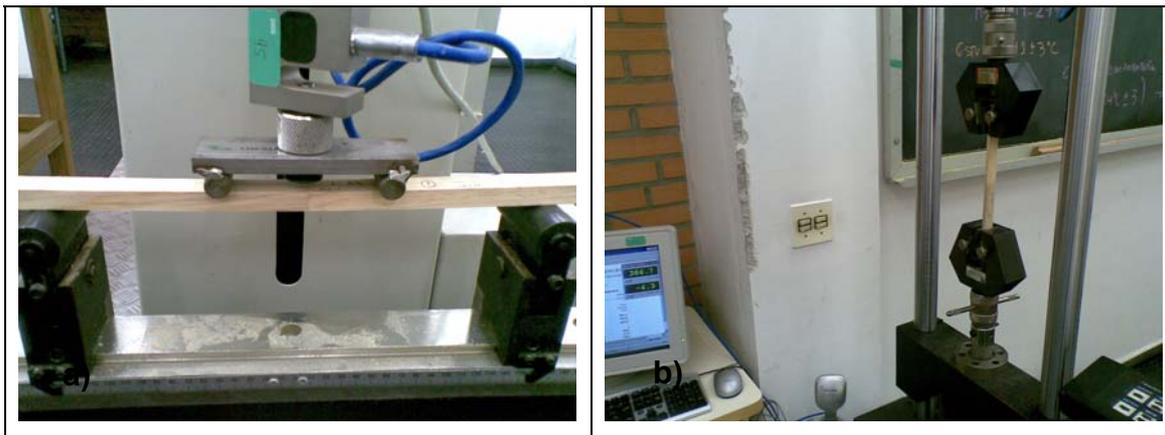


FIGURA 08-2 – Avaliação de colagem de topo. a) ensaio de flexão estática; b) ensaio de tração.

4.5 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

Para a determinação do teor de umidade das espécies, foram amostrados aleatoriamente na câmara de climatização seis sarrafos por espécie. Estes sarrafos representam o teor de umidade em que os painéis foram montados.

Foram confeccionados 10 painéis por espécie, sendo cinco deles destinados os ensaios de gramatura nominal de 160 g/m^2 e outros cinco para gramatura nominal de 200 g/m^2 .

Após os painéis montados e devidamente aclimatados, seguiu-se para o corte dos mesmos para a finalidade do teste de qualidade de colagem lateral, onde foram retirados 10 corpos de prova por painel.

De acordo com a norma ASTM 5572, para cada tipo de teste é considerada uma quantidade de vinte corpos de prova por painel, no caso específico deste estudo, foram considerados vinte corpos de prova por espécie por tratamento.

Na Figura 09 é apresentado o plano experimental deste trabalho.

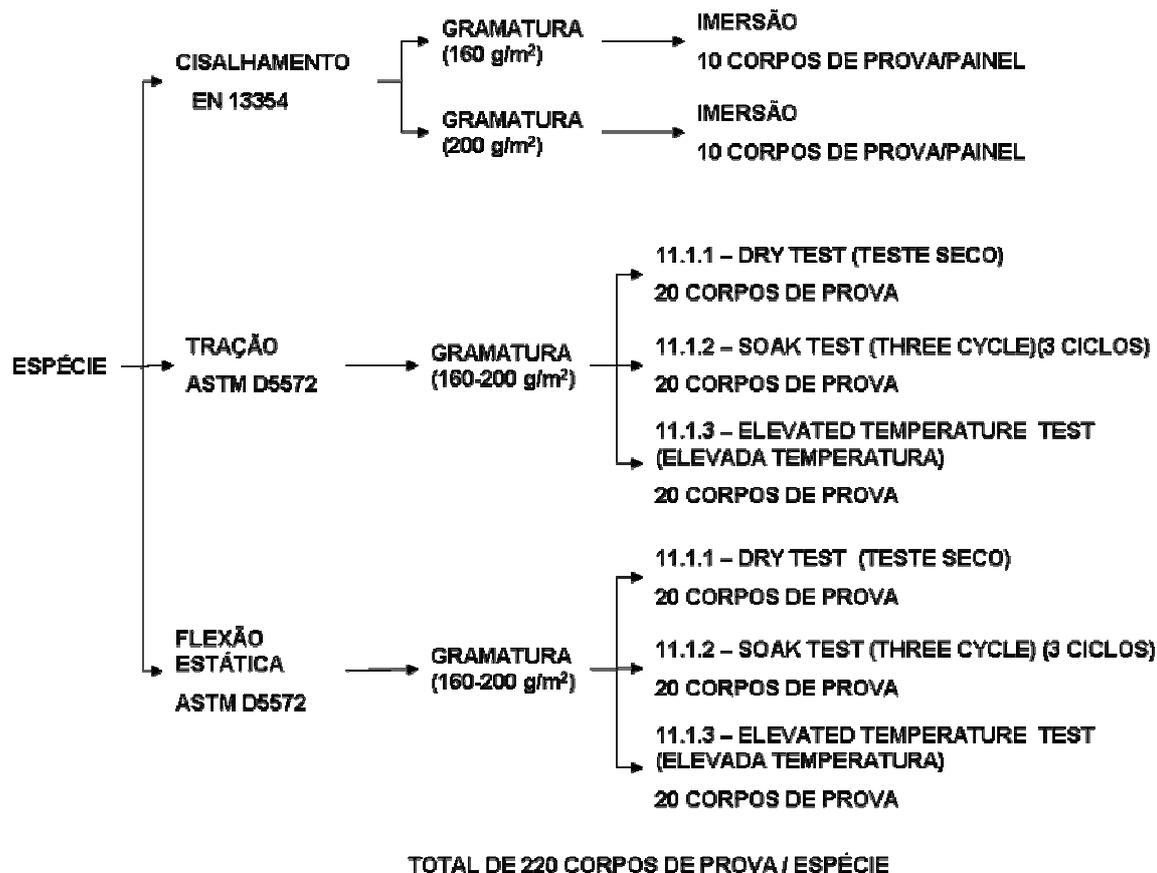


FIGURA 09 – Plano experimental

4.6 TRATAMENTO ESTATÍSTICO

Os resultados foram interpretados estatisticamente por meio de análise de regressão e variância simples, sendo que o teste de comparação dos tratamentos foi o teste de Tukey, ao nível de 95% de probabilidade, utilizando o *software Statgraphics plus 4.1*.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 CARACTERIZAÇÃO DAS ESPÉCIES ESTUDADAS

5.1.1 pH

Na tabela 07 são apresentados os resultados médios obtidos para o pH das espécies estudadas.

De acordo com estes resultados, os valores absolutos de pH entre as espécies variaram entre 4,0 a 4,8, sendo a espécie que mostrou maior pH médio foi o *P. taeda* com valores médios para determinação em 2h de 4,6 e para determinação após 24h de solução de 4,7.

TABELA 07 – VALORES DE pH DAS ESPÉCIES ESTUDADAS.

Espécies	Determinação 2h	Determinação 24h
<i>P. c. hondurensis</i>	4,0 a	4,1 a
<i>P. chiapensis</i>	4,0 a	4,1 a
<i>P. tecunumanii</i>	4,2 b	4,4 b
<i>P. maximinoi</i>	4,5 c	4,5 bc
<i>P. oocarpa</i>	4,5 c	4,6 bc
<i>P. taeda</i>	4,6 c	4,7 c

FONTE: O autor

Importante ressaltar a que não houve diferença estatística ente as espécies de *P. taeda*, *P. maximinoi* e *P. oocarpa* tanto para a determinação de valores médios de pH em 2 horas quanto para determinação em 24 horas.

As espécies que apresentaram os menores valores médios de pH e estatisticamente iguais foram as espécies de *P. c. hondurensis* e *P. chiapensis*.

Albin (1975) determinando o pH de 14 espécies da Província de Valdivia, obteve valores variando de 3,9 a 5,8, e concluiu que nenhuma destas espécies tem uma acidez extremamente alta ou baixa.

Nota-se que apesar da espécie de *P. taeda* apresentar um valor médio de pH mais elevado, a faixa de variação, quando analisadas todas as espécies, foi de aproximadamente 0,8, o que de acordo com Stamm (1964) está absolutamente dentro do intervalo de variação estipulado.

Ainda com relação ao *Pinus taeda*, Trianoski (2010), encontrou valores de pH de 4,5 após determinação em 2h e 4,6 para determinação em 24h, valores médios estes que apresentam o mesmo comportamento quando comparados com os resultados da tabela 07.

Analisando a diferença de tempo de determinação (2h e 24h), nota-se um ligeiro aumento destes valores para todas as espécies. Segundo Browing (1963) citado por Trianoski (2010), esta pequena variação é justificada pela maior alcalinidade causada pela hidrólise do grupo acetil para ácido acético na presença de água quente.

5.1.2 Composição química quantitativa

Na Tabela 08 estão apresentados os valores médios da variação da concentração de compostos químicos nas espécies estudadas com seu respectivo teste de médias dispostos na posição horizontal da tabela.

TABELA 08 – COMPOSIÇÃO QUÍMICA DAS ESPÉCIES ESTUDADAS.

Determinação	1	2	3	4	5	6
Água fria ¹	1,37 a	3,83 e	2,00 b	2,50 c	2,16 b	2,77 d
Água quente ¹	1,79 a	4,83 c	2,71 ab	3,70 bc	4,33 bc	4,17 bc
NaOH ¹	9,24 a	12,31 b	12,35 b	12,97 bc	14,54 c	16,73 d
Etanol-tolueno ²	2,86 a	5,22 b	4,51 b	4,85 b	4,71 b	2,51 a
Extrativos totais	3,48 a	7,34 bc	6,11 b	7,39 bc	6,11 b	9,60 c
Lignina	32,00 a	31,94 a	30,47 a	31,54 a	30,76 a	32,35 a
Cinzas	0,23 d	0,19 b	0,16 a	0,21 c	0,22 cd	0,15 a

¹ Solubilidade (%). ²Extração (%) 1:*Pinus taeda*(testemunha); 2:*Pinus oocarpa*; 3:*Pinus maximinoi* ; 4: *Pinus caribaea hondurensis*; 5: *Pinus tecunumanii*; 6:*Pinus chiapensis*.

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 95% de probabilidade.

FONTE: O autor

Conforme resultados da solubilidade em água fria, todas as espécies diferiram estatisticamente uma das outras, apresentando o *P. taeda* como a espécie com menor valor. Já a espécie de *P. oocarpa* apresenta o maior valor, cerca de 38% maior que a o *P.chiapensis* com o segundo maior valor de solubilidade em água fria entre as espécies analisadas. Isto significa de acordo com Oliveira *et al.* (2005), que o *P. oocarpa* apresenta maiores concentrações de gomas, taninos, açúcares e corantes comparadas com as demais.

Quando se analisa os valores de solubilidade em água quente, o *P. oocarpa* também apresenta valor médio superior às demais espécies, mas estatisticamente não difere do *P.chiapensis*, *P.tecunumanii* e *P.c.hondurensis*, ou seja, todas estas espécies citadas além de apresentarem os valores de compostos extraídos em água fria apresentam também as maiores taxas de amidos (OLIVEIRA *et al.*, 2005).

Trianoski (2010) cita a norma TAPPI 212, (2002) para a determinação do grau de ataque na madeira por fungos e outros agentes de deterioração quanto aos componentes solúveis em NaOH. De acordo com os resultados apresentados, a espécie com maior valor médio de NaOH é o *P. chiapensis*, sendo estatisticamente diferente das demais, tendo como seu oposto, o *P. taeda* com valor de 45% abaixo da média.

Para as espécies de *P.oocarpa*, *P.maximinoi*, *P.tecunumanii* e *P.c.hondurensis*, segundo Trianoski (2010), é provável que contenham maiores teores de ceras, gorduras e óleos que o *P. taeda* e o *P.chiapensis*, pois estatisticamente é o grupo que apresenta maiores valores médios de componentes solúveis em etanol-tolueno.

De acordo com as análises químicas, o *P. taeda* apresentou uma concentração média de extrativos totais bem abaixo das demais espécies tropicais, sendo cerca de 64% menor quando comparado com o *P.chiapensis*.

Mendes (2001), estudando estas mesmas seis espécies para produção de painéis aglomerados (OSB), encontrou valores abaixo dos apresentados na Tabela 08, sendo que estas mesmas espécies se encontravam com onze anos de idade, mas a menor concentração de extrativos totais também foi encontrada no *P.taeda* e a maior dentro do grupo foi o *P. chiapensis*.

5.1.3 Massa específica das espécies

Na tabela 09 são apresentados os valores médios de massa específica básica das espécies estudadas, juntamente com seu respectivo teste de médias e coeficiente de variação.

TABELA 09 – MASSA ESPECÍFICA BÁSICA MÉDIA DAS ESPÉCIES.

Espécies	Massa Específica Básica (kg/m³)	Coefficiente de Variação (%)
<i>P. chiapensis</i>	396,01 a	7,82
<i>P. c. hondurensis</i>	431,45 ab	8,58
<i>P. maximinoi</i>	440,09 ab	2,89
<i>P. oocarpa</i>	458,70 ab	7,76
<i>P. taeda</i>	459,99 b	6,81
<i>P. tecunumanii</i>	483,57 b	7,94

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 95% de probabilidade.

De acordo com a Tabela 09, dentre os valores de massa específica básica das espécies, a espécie que apresentou o menor valor médio foi o *P. chiapensis* com 396 kg/m³ e o maior valor médio constatado foi à espécie de *P. tecunumanii* com valor médio de 483 kg/m³.

Através do teste de média nota-se a diferença estatística entre a testemunha e a espécie de *P. chiapensis*.

Apesar desta diferença, a amplitude de variação dos valores médios obtidos entre as seis espécies de pinus não chegaram a 90 kg/m³, o que de acordo com Melo *et al* (1990), estas espécies podem ser consideradas dentro da classe de madeiras leves.

Madeiras leves, de acordo com Vick (1999), são classificadas como madeiras de fácil colagem, apresentando teoricamente boa penetração de adesivos.

5.1.4 Retratabilidade

Os resultados obtidos nas determinações das contrações volumétricas máximas, juntamente com seus respectivos coeficientes de anisotropia de contração para as espécies estudadas são apresentados na Tabela 10.

TABELA 10 – ESTABILIDADE DIMENSIONAL DAS ESPÉCIES ESTUDADAS.

Espécies	n	β_v (%)	Anisotropia
<i>P. taeda</i>	57	10,65 a	2,02 a
<i>P. maximinoi</i>	91	9,86 ab	2,45 b
<i>P. oocarpa</i>	74	10,22 a	2,45 b
<i>P. tecunumanii</i>	94	10,07 a	2,50 b
<i>P. c. hondurensis</i>	82	8,95 bc	2,52 b
<i>P. chiapensis</i>	101	8,67 c	3,26 c

β_v : contração volumétrica; n: número de amostras.

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 95% de probabilidade.

De acordo com os resultados apresentados, nota-se que os valores médios de contração volumétrica máxima estão associados com a massa específica básica, apresentado na Tabela 09, ou seja, à medida que os valores médios de massa específica básica aumentam os valores de contração volumétrica máxima também aumentam. Esta tendência está em acordo com resultados obtidos por Klock (1989) que estudando esta relação, verificou uma alta correlação entre esta duas variáveis.

Os resultados médios apresentados pelas espécies de *P. c. hondurensis* e de *P. chiapensis*, quando comparados com a testemunha demonstraram ser estatisticamente diferentes, tendo elas apresentado os menores valores médios.

Quanto aos valores de coeficiente de anisotropia de contração, estatisticamente, é possível segregar a espécie de *P. chiapensis*, que apresentou o maior valor médio sendo estatisticamente diferente das demais, e a espécie de *P. taeda* (testemunha) apresentando o menor valor médio, sendo também estatisticamente diferente do restante.

Baseado na conclusão de Mendes *et al* (2001) que recomenda a utilização de espécies que apresentem baixa anisotropia para confecção de sarrafos, o valor médio apresentado pela espécie de *P. chiapensis* de 3,26 é considerado moderadamente elevado segundo Logsdon e Penna (2010), podendo causar

instabilidade no painel colado lateralmente. Baseado neste resultado, pode se afirmar que esta espécie apresenta uma certa limitação para a produção de painéis colados lateralmente.

5.2 PROPRIEDADES DOS PAINÉIS COLADOS LATERALMENTE

5.2.1 Teor de Umidade

Na tabela 11 são apresentados os valores médios determinados para o teor de umidade dos painéis fabricados, juntamente com seus desvios padrões e coeficientes de variação.

TABELA 11 – TEOR DE UMIDADE MÉDIO DOS PAINÉIS COLADOS LATERALMENTE.

Espécies	Teor de Umidade (%)	Desvio Padrão (%)	Coefficiente de Variação (%)
<i>P. chiapensis</i>	13,47 a	0,29	2,13
<i>P. taeda</i>	14,56 b	0,43	2,94
<i>P. maximinoi</i>	14,67 b	0,36	2,51
<i>P. tecunumanii</i>	14,68 b	0,43	2,93
<i>P. oocarpa</i>	14,68 b	0,53	3,58
<i>P. c. hondurensis</i>	14,69 b	0,71	4,83

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 95% de probabilidade.

Pode-se notar que o coeficiente de variação na determinação do teor de umidade para todas as espécies foi baixo, levando em consideração que havia uma grande quantidade de amostras no interior da câmara climática. Registros internos do laboratório demonstraram que estas amostras foram expostas ao clima controlado durante 13 meses, sendo que inicialmente deram entrada no laboratório com umidade em torno de 28%. Os resultados médios apresentados se enquadram dentro das especificações relatadas por Pizzi (1983), apresentando uma variação de menos de 1,22% entre as espécies, e de no máximo 4,86% dentro das espécies,

mas em contrapartida, a indicação do fabricante do adesivo recomenda uma faixa de colagem para madeiras a um teor de umidade 8 a 12%.

Apesar dos valores médios apresentarem-se acima dos valores recomendados pelo fabricante, como a variação entre as espécies foi relativamente baixa, pode-se dizer que todas as espécies foram coladas na mesma faixa de umidade, descartando-se a hipótese de alguma espécie ter um comportamento diferenciado durante o processo de colagem em função da influência de diferentes teores de umidade.

5.2.2 Massa Específica das amostras de madeira de pinus utilizadas na confecção dos painéis colados lateralmente

Na tabela 12 são apresentados os resultados médios determinados para a massa específica aparente das espécies amostradas, juntamente com seus desvios padrões e coeficientes de variação.

TABELA 12 – MASSA ESPECÍFICA APARENTE MÉDIA DAS ESPÉCIES.

Espécies	Massa Específica Aparente (kg/m³)	Coefficiente de Variação %
<i>P. chiapensis</i>	444,95 a	4,60
<i>P. c. hondurensis</i>	456,01 ab	5,62
<i>P. taeda</i>	479,35 b	4,02
<i>P. maximinoi</i>	495,72 b	6,42
<i>P. oocarpa</i>	519,65 c	4,62
<i>P. tecunumanii</i>	547,47 c	5,80

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 95% de probabilidade.

De acordo com a Tabela 12, o coeficiente de variação na determinação da massa específica média para todas as espécies foi baixo. Isto se deve à pré-classificação dos sarrafos para a confecção dos painéis, pois a presença de algum defeito visível, segundo Marra (1992), como a presença de nós, cascas, esmoados, entre outros, poderiam influenciar o desempenho da colagem dos painéis.

5.2.3 Resistência da Colagem Lateral

5.2.3.1 Influência das espécies

Na Tabela 13 são apresentados os valores médios por espécie de tensão máxima com seus respectivos valores médios de falha na madeira, teste de média e valores de 5º percentil inferior. Foi também verificado a influência estatística dos valores médios de falha na madeira com os valores médios de tensão máxima.

TABELA 13 – VALORES DE RESISTÊNCIA PARA AS DIFERENTES ESPÉCIES.

Espécies	Falha na madeira (%)	Tensão média (MPa)	5º percentil inferior	F	P
<i>P. taeda</i>	1,8 a	2,28 a	1,48	5,18	0,0007*
<i>P. tecunumanii</i>	0,1 a	2,43 ab	1,63		
<i>P. oocarpa</i>	0,4 a	2,66 abc	1,38		
<i>P. maximinoi</i>	1,0 a	2,70 bc	1,90		
<i>P. caribaea hondurensis</i>	4,6 a	2,75 bc	1,78		
<i>P. chiapensis</i>	6,0 a	2,88 c	2,18		

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 95% de probabilidade.

* Significativo ao nível de 95% de probabilidade.

Os valores médios de tensão máxima apresentado pela Tabela 13 estão de acordo com Reis *et al.* (1982) e Campos e Lahr (2007), pois afirmam que não existem duas peças de madeira iguais e que as maiores variações acontecem entre espécies, e esta variabilidade atinge uma série de propriedades (massa específica, permeabilidade, etc.), que por sua vez são definidas no processo de adesão e na performance da colagem.

Analisando a influência das espécies na colagem, os valores resultantes da resistência da linha de cola apontam uma divisão em três grupos com médias estatisticamente diferentes. O *Pinus taeda* (testemunha) foi à espécie que apresentou a menor resistência média de colagem, no sentido contrário, o *Pinus chiapensis* apresentou a maior média, demonstrando uma característica de resistência 26% superior quando comparada com a média da testemunha, como mostra a Figura 10.

Tendo a espécie de *P. taeda* apresentado o menor valor médio de resistência, estatisticamente esta espécie é igual ao *P. tecunumanii* e ao *P. oocarpa*, apesar desta outras duas espécies terem apresentado valores médios superiores.

Levando em consideração os valores médios absolutos apresentados pela Tabela 12, todas as cinco espécies tiveram um desempenho na colagem superior do que a testemunha.

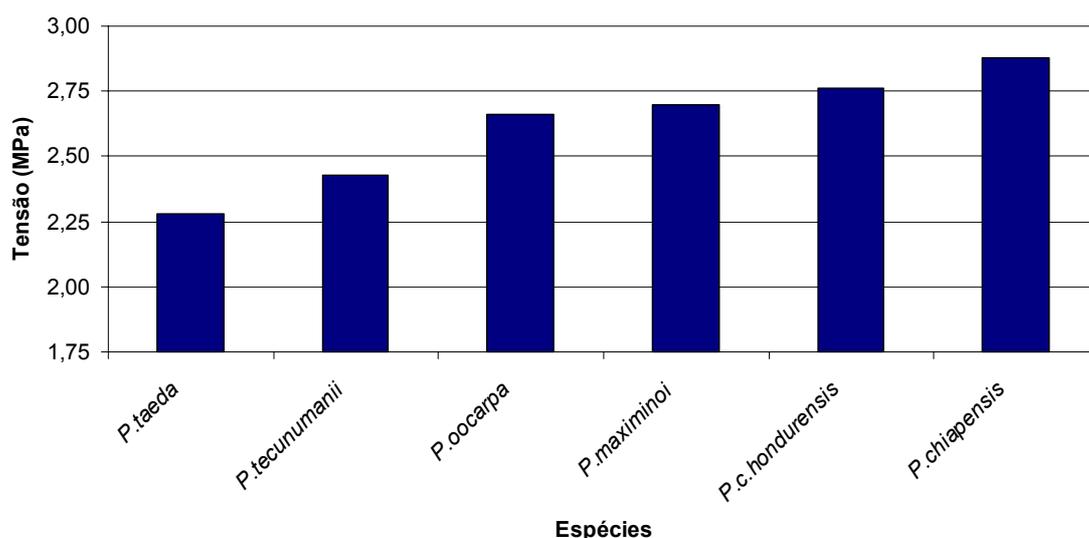


FIGURA 10 – Valores médios de resistência ao esforço de colagem lateral, para as espécies de pinus estudadas.

FONTE: O autor.

Apesar da variação de resistência entre as espécies, a norma EN 13353 (2003), exige que o valor mínimo do 5º percentil inferior das médias dos painéis seja de 2,5 N/mm² ou 2,5 MPa. A Tabela 13 mostra que nenhuma das seis espécies estudadas apresentou resistência mínima exigida pela norma.

Pereira (2005), utilizando como material para montagem de EGP a madeira de *Pinus pinaster*, teve como resultado médio de resistência de acordo com a norma EN 13353 (2003), um valor de aproximadamente 1 N/mm², o que indica que para esta espécie estudada também não foi alcançado o valor mínimo do percentil inferior. A fim de verificar a influência do pré-tratamento exigido pela norma (imersão em água por 24 horas), o autor obteve resultados médio superiores quando os corpos de prova se encontravam na condição seca.

Neste caso, pode-se afirmar que ou a norma europeia é excessivamente exigente ou a qualidade das espécies de rápido crescimento como as espécies de pinus do Brasil, não são compatíveis com a norma europeia.

Pode-se inferir ainda que a qualidade dos adesivos utilizados para a colagem lateral de painéis não é adequada, necessitando de mais estudos.

Quanto aos resultados de falha na madeira, nenhuma das espécies estudadas atingiu o valor mínimo exigido pela norma EN 13353 (2003), que é de 40%.

O *Pinus tecunumanii* foi a espécie que apresentou o menor valor médio de porcentagem de falha na madeira, já o *Pinus chiapensis*, que apesar do baixo valor médio, ainda foi a espécie entre as estudadas que apresentou o mais alto percentual de falha na madeira.

Analisando a interação entre massa específica das espécies com suas respectivas falhas na madeira, a Tabela 14 mostra uma forte correlação entre estas duas variáveis. Pode notar-se uma relação inversa entre falha na madeira e massa específica das espécies, ou seja, com o aumento da massa específica aparente há uma diminuição da porcentagem de falha na madeira.

TABELA 14 – INTERAÇÃO ENTRE MASSA ESPECÍFICA E FALHA NA MADEIRA.

Espécies	Falha na madeira (%)	Massa Específica Aparente (kg/m ³)	P	R Ajustado
<i>P. tecunumanii</i>	0,1 a	547,47 a	0,0112*	0,8888
<i>P. oocarpa</i>	0,4 a	519,65 a		
<i>P. maximinoi</i>	1,0 a	495,72 b		
<i>P. taeda</i>	1,8 a	479,35 b		
<i>P. c. hondurensis</i>	4,6 a	456,01 bc		
<i>P. chiapensis</i>	6,0 a	444,95 bc		

* Significativo ao nível de 95% de probabilidade. Letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 95% de probabilidade.

MASSA ESPECÍFICA = 524,026-13,7673*FALHA NA MADEIRA

Este resultado é descrito por Vick (1999), que afirma que a falha na madeira diminui linearmente até a faixa de massa específica entre 700 a 800 kg/m³, sendo que após isso, cai abruptamente.

A Figura 11 apresenta os valores médios de falha na madeira das espécies de pinus estudadas em relação à massa específica aparente média.

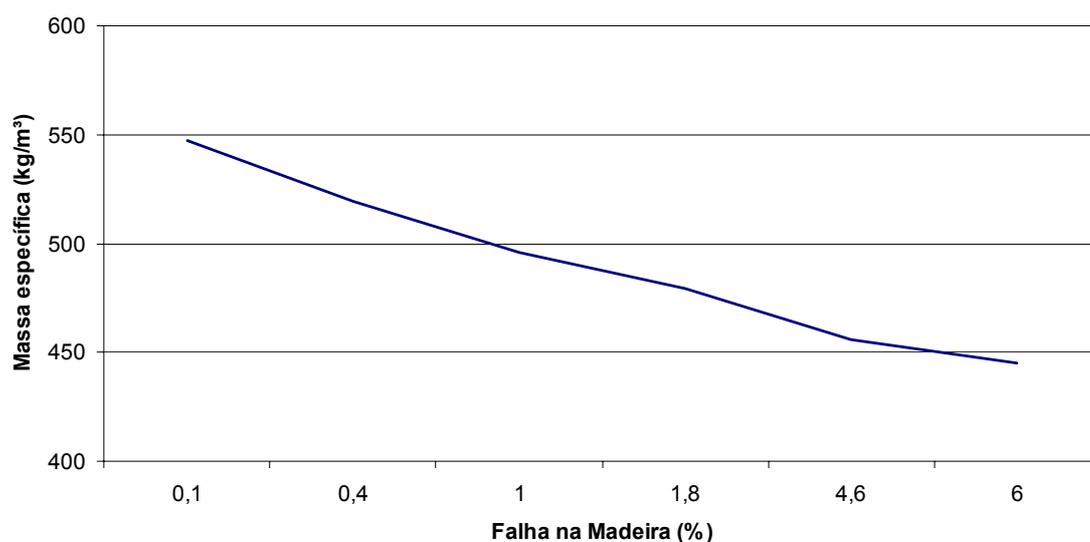


FIGURA 11 – Interação entre massa específica das espécies de pinus em função da falha na madeira ao esforço de colagem lateral.

FONTE: O autor.

Este comportamento na variação de falha na madeira indica que houve uma menor resistência mecânica das paredes das fibras ao esforço de cisalhamento nas espécies de menor massa específica, assim sendo, após o rompimento na linha de cola, as fibras ficam aderidas em maior quantidade em uma das duas faces do corpo de prova. Este resultado está de acordo com Bowyer *et al.* (2003), pois o autor afirma que madeiras com menor massa específica as paredes celulares tendem a ser mais delgadas.

Houwink e Salomon (1965) comentam que várias madeiras foram coladas com adesivos à base de PVAc e submetidas ao ensaio de resistência ao cisalhamento por tração com a finalidade de ser comparável com os adesivos uréicos e fenólicos, e por razões que não são claras, houve menor falha na madeira.

5.2.3.2 Influência da gramatura do adesivo sobre a resistência da colagem lateral dos painéis

As gramaturas nominais foram tratadas estatisticamente em dois grupos, com a finalidade de demonstrar a influência deste fator no desempenho da

qualidade de colagem dos painéis, desconsiderando a diferença entre espécies, conforme apresentado na Tabela 15.

TABELA 15 – DESEMPENHO DE RESISTÊNCIA DA LINHA DE COLA NAS CLASSES DE GRAMATURAS UTILIZADAS.

Gramaturas (g/m ²)	Tensão Média (MPa)	F	P
160	2,56 a	1,31	0,2576
200	2,67 a		

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 95% de probabilidade.

Os resultados apresentados demonstram que não houve diferença estatisticamente significativa entre as médias dos tratamentos, demonstrando que com o aumento da gramatura nas faixas estudadas não há um aumento da resistência dos painéis quando se agrupa todas as espécies, podendo, de acordo com estes resultados gerar economia de adesivo na produção de painéis colados lateralmente utilizando estas espécies estudadas.

Iwakiri (2007), avaliando gramaturas de 170, 190 e 210 g/m² com adesivo PVAc entre as espécies de *Pinus taeda* e *Eucalyptus grandis* para confecção de EGP, obteve como resultados médios de tensão variando de 4,7 MPa a 8,8 MPa sendo que nenhum destes resultados apresentaram diferenças estatisticamente significativas.

5.2.3.3 Influência da gramatura do adesivo sobre a resistência da linha de colagem dos painéis para as diferentes espécies

Quando se compara a influência da gramatura na resistência da colagem lateral analisado por classes de gramatura, cada espécie pode responder de formas diferentes dentro destas classes.

TABELA 16 – DESEMPENHO DAS ESPÉCIES PARA DIFERENTES GRAMATURAS.

Espécies	Gramatura Valores de P
<i>P. oocarpa</i>	0,4383
<i>P. chiapensis</i>	0,6131
<i>P. maximinoi</i>	0,1563
<i>P. taeda</i>	0,0014***
<i>P. tecunumanii</i>	0,5462
<i>P. c. hondurensis</i>	0,7172

*** Significativo ao nível de 99% de probabilidade.

Apesar da Tabela 15 apresentar que não houve diferença estatística entre as classes de gramatura, das seis espécies estudadas, cinco delas, o *P. oocarpa*, *P. chiapensis*, *P. maximinoi*, *P. tecunumanii* e o *P. c. hondurensis*, ou seja, todos os pinus tropicais não apresentaram influência desta variável, mas o *Pinus taeda* foi a espécie que apresentou característica de resistência ao cisalhamento influenciada pela gramatura, como mostra a Tabela 16. Houve um incremento em resistência de aproximadamente 18% quando se aumenta cerca de 50g/m² em gramatura, isto corresponde em cerca de 26% de aumento no consumo de adesivo.

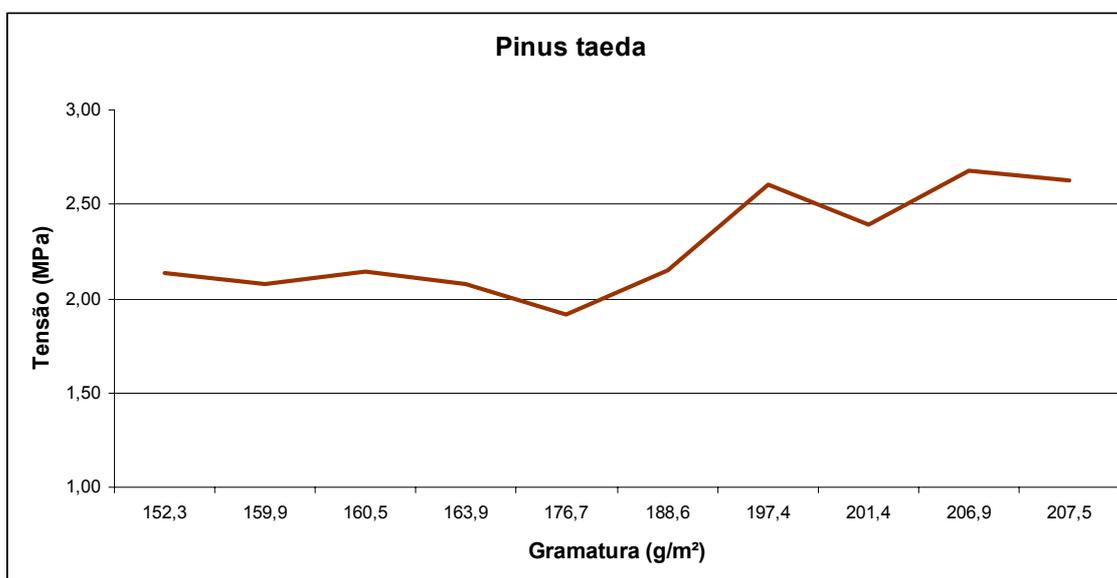


FIGURA 12 – Comportamento do *Pinus taeda* sob influência da gramatura na colagem lateral.
FONTE: O autor.

Uma explicação para a diferença de comportamento do *Pinus taeda* com as demais espécies estudadas quanto à influência da gramatura no desempenho da colagem lateral, de acordo com as análises químicas na Tabela 08, pode se dar ao

fato desta espécie apresentar uma menor quantidade de extrativos totais, em função disto, a penetração do adesivo pode ser mais pronunciada quando se aumenta a gramatura.

Este resultado segue de encontro com comentário de Vick (1999), que afirma que altas concentrações de extrativos podem afetar a penetração do adesivo na madeira.

5.2.3.4 Influência da massa específica dos painéis sobre a resistência de colagem para diferentes espécies

A Figura 13 compara o comportamento de resistência ao cisalhamento na colagem lateral dos painéis de pinus tropicais em função da massa específica de cada espécie.

De acordo com a figura, a resistência ao cisalhamento diminui conforme as espécies apresentam maiores massas específicas.

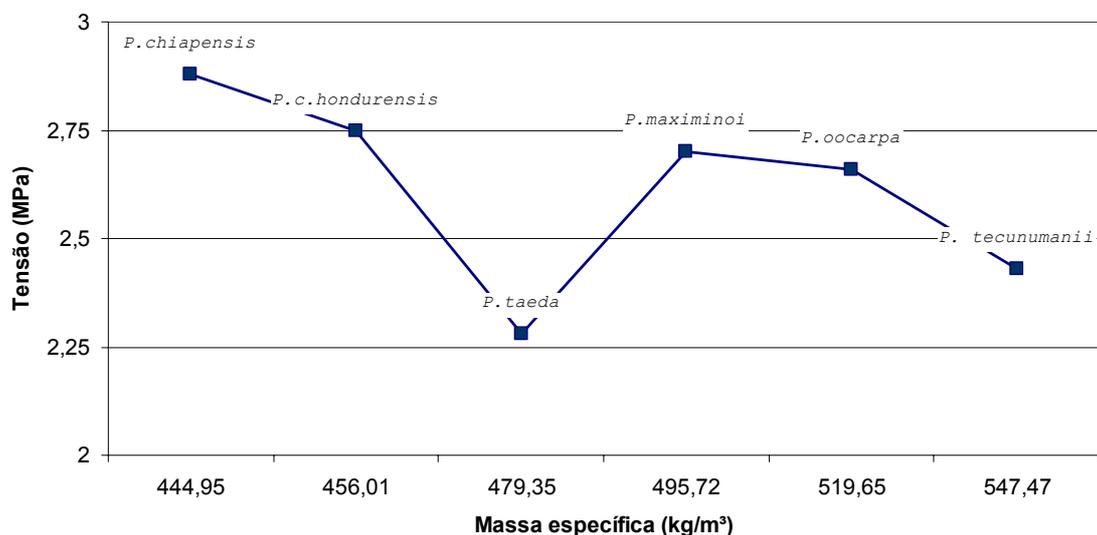


FIGURA 13 – Influência da massa específica dos painéis de pinus tropicais ao esforço de cisalhamento na linha de cola.

FONTE: O autor.

Como se pode notar na Figura 13, o desempenho da ligação adesiva foi fortemente influenciado pela massa específica das espécies de pinus tropicais, ou

seja, pela maior permeabilidade. Influência esta constatada por vários autores, Costa Tienne (2006), Iwakiri (2005), Marra (1992).

Esta relação entre resistência da linha de colagem com a massa específica das espécies estudadas podem ser explicada através de Vick e Rowell (1990) que afirmam que os adesivos PVAc geralmente apresentam bom fluxo nos lumens das células que estão expostas na superfície a ser colada, mas, dado o seu alto peso molecular, muito provavelmente não penetram as paredes celulares.

A partir da afirmação de Vick e Rowell (1990) é possível dizer que o melhor desempenho em resistência da espécie de *P. chiapensis* foi devido à melhor penetração do adesivo PVAc nos lumens das células em decorrência da menor massa específica conseqüentemente maior permeabilidade.

O mesmo não ocorre para a espécie de *P. taeda*, que apesar de apresentar massa específica intermediária em relação às espécies de pinus tropicais, outro fator provavelmente está afetando o desempenho da colagem. De acordo com resultados apontados pela Tabela 16, se os painéis produzidos com esta espécie apresentassem uma maior gramatura, muito provavelmente se enquadraria nesta relação. Portanto, a diferenciação apresentada pelo *P. taeda* pode estar diretamente correlacionado com a gramatura e não somente com a massa específica.

5.3 PROPRIEDADES DAS EMENDAS DE TOPO DOS SARRAFOS

5.3.1 Resistência à Flexão Estática

5.3.2 Pré-tratamento seco

De acordo com a Tabela 17, pode-se observar que o *P. tecunumanii* foi a espécie que apresentou a maior resistência média neste tratamento. Estatisticamente, com exceção do *P. taeda*, todas as médias das espécies são iguais, mas, quando comparados os valores absolutos, há uma diferença

considerável de quase 14% de decréscimo em resistência no mesmo grupo considerado pelo teste de tukey.

TABELA 17 – VALORES MÉDIOS DE RESISTÊNCIA À FLEXÃO ESTÁTICA [MÓDULO DE RUPTURA (MOR)] PARA AS ESPÉCIES ESTUDADAS – PRÉ-TRATAMENTO SECO.

Espécies	MOR (MPa)		F	P
<i>P. taeda</i>	33,19	a		
<i>P. chiapensis</i>	35,34	ab		
<i>P. caribaea hondurensis</i>	35,38	ab	4,76	0,0006*
<i>P. maximinoi</i>	38,58	ab		
<i>P. oocarpa</i>	40,03	b		
<i>P. tecunumanii</i>	41,16	b		

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 95% de probabilidade.

* Significativo ao nível de 99% de probabilidade.

Com relação aos requisitos da norma ASTM D5572 (1999), todas as espécies estudadas atingiram o valor de resistência mínima exigida (13,8 N/mm² ou MPa), demonstrando uma boa qualidade de colagem das emendas de topo por esforço de flexão estática. Nota-se que todas as espécies de pinus tropicais apresentaram resistência média superior à testemunha.

Quando comparados os valores de MOR da Tabela 17 com as variáveis: massa específica, teor de extrativos totais e gramatura aplicada, para explicar a possível influência destas na resistência apresentada pelas espécies, só a variável massa específica apresentou influência significativa a 99% de probabilidade, conforme mostra a Tabela 18, sendo que a variável gramatura obteve um valor de P de 0,1478 e os extrativos totais de 0,2541 não sendo significativa sua influência a 90% de probabilidade.

TABELA 18 – CORRELAÇÃO ENTRE VALORES MÉDIOS POR ESPÉCIE DE MÓDULO DE RUPTURA (MOR) E MASSA ESPECÍFICA EM FLEXÃO ESTÁTICA - PRÉ-TRATAMENTO SECO.

Espécies	MOR (MPa)	Massa específica (kg/m ³)	R ² (%)	P
<i>P. taeda</i>	33,19	556,39	97,11	0,0021*
<i>P. chiapensis</i> **	35,34	481,78		
<i>P. caribaea hondurensis</i>	35,38	581,54		
<i>P. maximinoi</i>	38,58	595,17		
<i>P. oocarpa</i>	40,03	605,82		
<i>P. tecunumanii</i>	41,16	616,85		

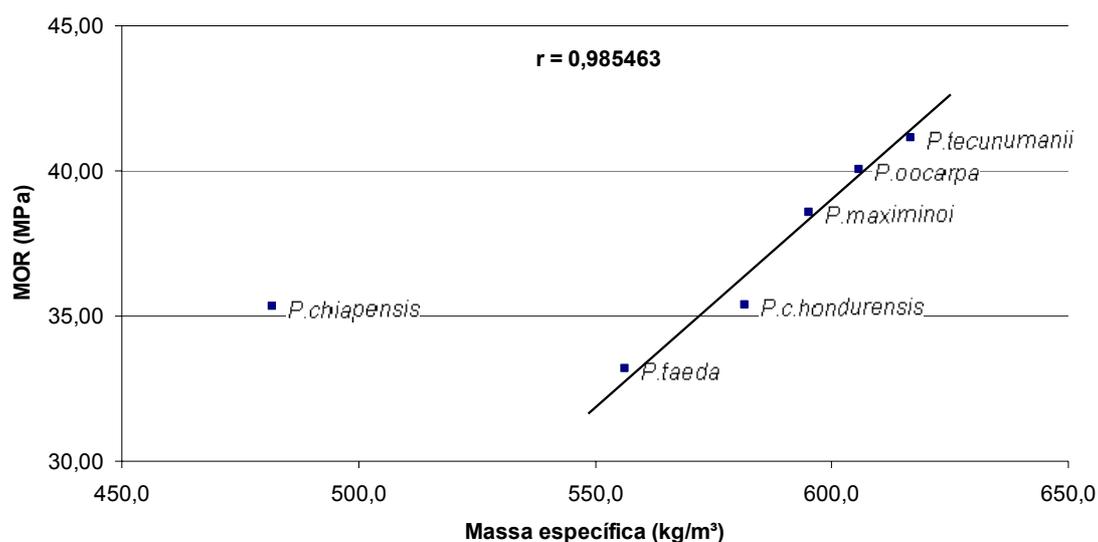
* Significativo ao nível de 99% de probabilidade.

** Resultados de P e R² desconsiderando o *P.chiapensis*.

De acordo com a Tabela 18, têm-se uma forte influência da massa específica nos valores de MOR, demonstrando que quanto maior a massa específica, maior sua resistência à flexão estática. Este comportamento é linear com um coeficiente de correlação de 0,985463, mas isto não ocorre com o *Pinus chiapensis*. De acordo com a Figura 14, pode-se notar que esta espécie não segue esta linearidade.

O que ocorreu para este comportamento distinto do *P.chiapensis* com as demais espécies foi um melhor desempenho da colagem, apresentando uma resistência superior ao *P. taeda* e semelhante ao *P.c. hondurensis* apesar de apresentar uma menor massa específica aparente, mas lembrando que estatisticamente não há diferença entre eles, conforme mostra a Tabela 17.

Nota-se então, que apesar do *P.chiapensis* apresentar o mais elevado teor de extrativos totais (TABELA 08), cabe a afirmação de Lima *et al.* (2007) que as reações de polimerização do adesivo e as reações entre adesivos e extrativos não depende somente da quantidade, mas também do tipo de extrativo.



* r considerado sem o *Pinus chiapensis*. $MOR = 328,801 + 6,96487 * MASSA \ ESPECIFICA$. Significativo ao nível de 99% de probabilidade.

FIGURA 14 – Influência da massa específica das espécies na resistência da colagem de topo – pré-tratamento seco.

FONTE: O autor.

Pode se notar conforme a Figura 14, que há uma relação linear entre massa específica aparente com o MOR. Esta situação é relatada por Vick (1999), que com o aumento da massa específica, conseqüentemente o aumento da resistência à ruptura da madeira, determine o aumento da ligação adesiva, mas o autor cita um limite de incremento de resistência em torno de 700 a 800 kg/m³, após isto a resistência tende a decrescer, pois com valores muito elevados de massa específica poderá influenciar a penetração do adesivo.

5.3.2.1 Pré-tratamento elevada temperatura

Segundo a ASTM 5572 (1999), a exposição dos corpos de prova à temperatura de 104 °C é para a finalidade de simular um ambiente de temperatura elevada que podem ser encontradas durante o transporte.

A Tabela 19 mostra em ordem crescente a resistência apresentada pelas espécies com suas respectivas classificações pelo teste de médias.

TABELA 19 – VALORES DE RESISTÊNCIA DE MÓDULO DE RUPTURA (MOR) EM FLEXÃO ESTÁTICA PARA AS DIFERENTES ESPÉCIES – PRÉ-TRATAMENTO ELEVADA TEMPERATURA.

Espécies	MOR (MPa)	F	P
<i>P. chiapensis</i>	33,76	a	
<i>P. oocarpa</i>	38,08	ab	
<i>P. taeda</i>	41,44	abc	6,29
<i>P. maximinoi</i>	43,85	bc	0,0000*
<i>P. caribaea hondurensis</i>	47,57	c	
<i>P. tecunumanii</i>	49,00	c	

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 95% de probabilidade.

* Significativo ao nível de 99% de probabilidade.

Apesar da aplicação de alta temperatura como pré-tratamento dos corpos de prova, a norma não faz nenhuma menção sobre valores mínimos de resistência e falha na madeira em ensaios de flexão estática.

De acordo com a Tabela 19, há diferença significativa entre os valores médios apresentados pelas espécies. O teste de médias mostra uma segregação para os valores de MOR entre as espécies em três grupos, com o *P. tecunumanii* o *P. maximinoi* e o *P. c. hondurensis* apresentando os maiores valores médios em relação às demais espécies, e as espécies de *P. chiapensis* e *P. oocarpa* apresentando desempenho inferior.

Quando se compara estes valores com teor de extrativos, esta variável apresenta um valor P de 0,6260, ou seja, não é a variável que mais influenciou o desempenho da colagem neste pré-tratamento.

A Tabela 20 apresenta os valores médios de MOR, massa específica e gramatura em relação à espécie e suas correlações.

TABELA 20 – CORRELAÇÃO ENTRE VALORES MÉDIOS POR ESPÉCIE DE MÓDULO DE RUPTURA (MOR), MASSA ESPECÍFICA E GRAMATURA EM FLEXÃO ESTÁTICA - PRÉ-TRATAMENTO ELEVADA TEMPERATURA.

Espécies	MOR (MPa)	Massa específica (kg/m ³)	Gramatura (g/m ²)	P	
				GraxMOR	MExMOR
<i>P. chiapensis</i>	33,76	483,77	140,49		
<i>P. oocarpa</i> *	38,08	617,09	167,46		
<i>P. taeda</i>	41,44	580,38	173,54	0,0520**	0,0069***
<i>P. maximinoi</i>	43,85	580,38	162,06		
<i>P. c. hondurensis</i>	47,57	583,32	183,24		
<i>P. tecunumanii</i>	49,00	625,72	241,37		

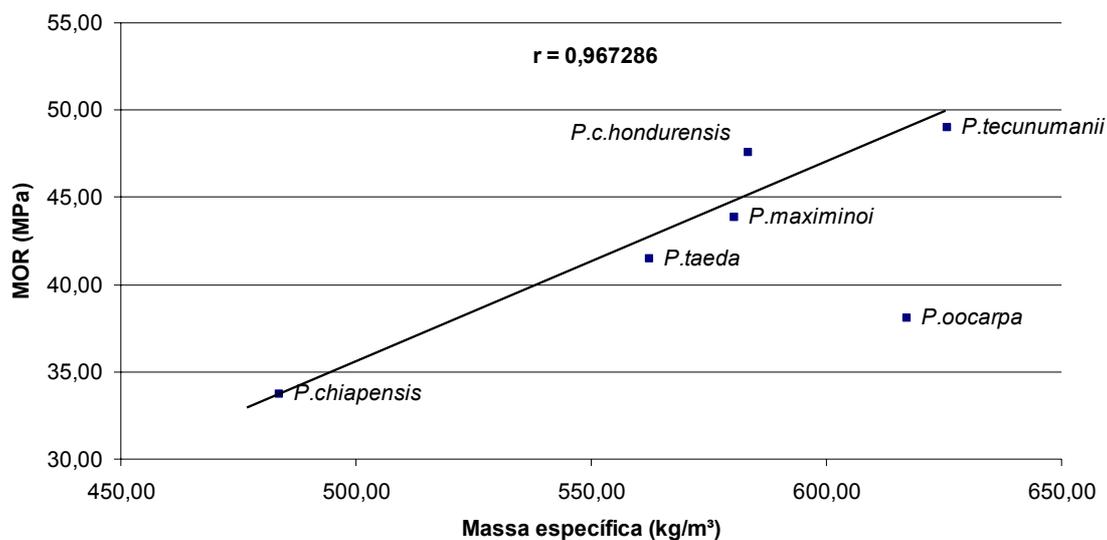
* Resultado de P desconsiderando o *P. oocarpa* para correlação entre massa específica e MOR.

** Significativo ao nível de 90% de probabilidade.

*** Significativo ao nível de 99% de probabilidade.

De acordo com a Tabela 20, os valores de resistência foram influenciados pela gramatura e pela massa específica das espécies. Nota-se que apesar de apresentarem esta influência, a massa específica foi a variável que mais afetou o desempenho de colagem de topo para este pré-tratamento, mas este valor de P de 0,0069 só é obtido com a exclusão do *Pinus oocarpa*. De acordo com as análises estatísticas esta espécie não seguiu a mesma tendência das demais (FIGURA 15).

A Figura 15 apresenta um coeficiente de correlação próximo a 0,97, indicando que existe uma forte correlação entre o MOR e a massa específica média aplicada.



MOR = -20,3992 + 0,112004*M.E. Significativo ao nível de 99% de probabilidade.

FIGURA 15 - Influência da massa específica das espécies na resistência da colagem de topo – pré-tratamento elevada temperatura.

FONTE: O autor.

Com relação aos resultados de resistência correlacionados com massa específica das espécies, eles seguem a mesma teoria sugerida por Vick (1999) citado no item 5.3.1.1, mas pode se notar desvio do *P. oocarpa*, que não seguiu esta tendência de resistência com relação à massa específica e gramatura.

Apresentando a segunda maior massa específica (*P. oocarpa*), de acordo com a Figura 15, sua resistência média esperada estaria por volta de 48 MPa, mas obteve um valor de 38 MPa. Uma explicação para este desvio do *P. oocarpa* pode estar relacionado com a alta concentração de gomas, taninos, açúcares e corantes comparadas com as demais, determinadas pela solubilidade em água fria, como mostra a Tabela 08.

Segundo afirmação feita por Carneiro *et al.* (2001), os extratos tânicos contêm, além de ingredientes fenólicos ativos, outras substâncias, principalmente açúcares e gomas de alto peso molecular. E sendo assim, (PIZZI & MITAL, 1994) referenciados pelos mesmos, citam que pesquisas mostram que, à medida que aumenta a quantidade de açúcares e gomas, a resistência da linha de cola diminui.

A gramatura neste pré-tratamento estatisticamente teve menor influência que a massa específica, mas segundo vários autores como Hounink e Salomon (1967), Pizzi (1983), Marra (1992), Nock e Richter (1978), os adesivos PVAc são

termoplásticos, ou seja, o adesivo e conseqüentemente a colagem sofre influência direta de temperaturas elevadas.

5.3.2.2 Pré-tratamento três ciclos

De acordo com a Tabela 21, os resultados médios apresentados seguem a mesma tendência do pré-tratamento a elevada temperatura, quanto à ordem crescente de resistência das espécies.

TABELA 21 – VALORES DE RESISTÊNCIA DE MÓDULO DE RUPTURA (MOR) EM FLEXÃO ESTÁTICA PARA AS DIFERENTES ESPÉCIES – PRÉ-TRATAMENTO TRÊS CICLOS.

Espécies	MOR (MPa)		F	P
<i>P. chiapensis</i>	46,42	a		
<i>P. oocarpa</i>	46,42	a		
<i>P. taeda</i>	47,81	a	7,34	0,0000*
<i>P. maximinoi</i>	54,10	ab		
<i>P. caribaea hondurensis</i>	54,39	ab		
<i>P. tecunumanii</i>	61,37	b		

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 95% de probabilidade.

* Significativo ao nível de 99% de probabilidade.

Pode se notar uma divisão em dois grupos estatisticamente iguais pelo teste de médias. A espécie de *P. tecunumanii* apresentou a maior resistência média com relação às demais espécies, mas não difere estatisticamente das espécies de *P. c. hondurensis* e do *P. maximinoi*.

Para atender os requisitos de resistência mínima da norma ASTM D5572 (1999), as espécies testadas teriam que apresentar uma resistência maior ou igual a 6,9 MPa, e de acordo com a Tabela 21, todas as espécies avaliadas satisfizeram esta condição.

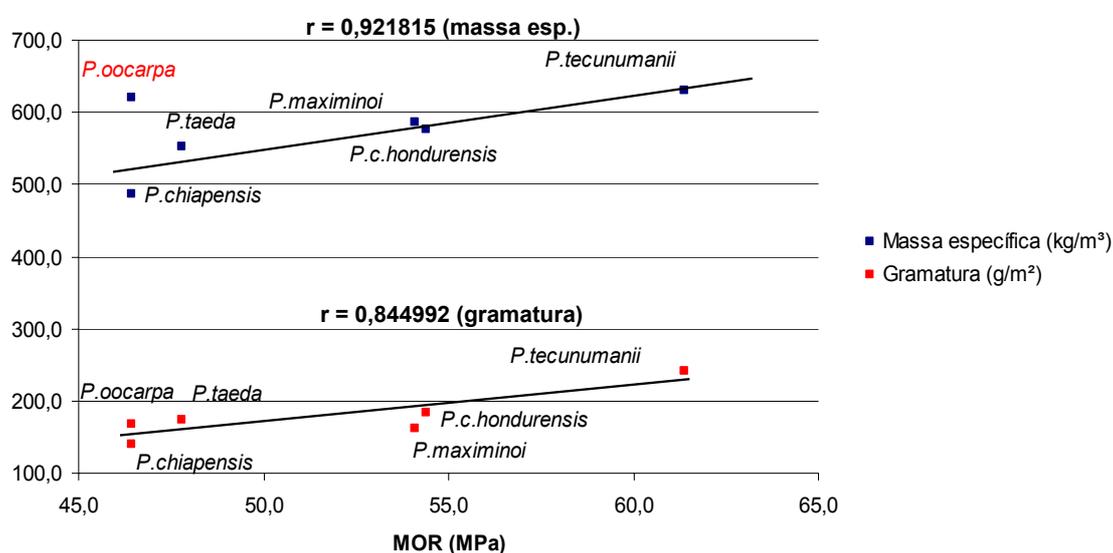
TABELA 22 – CORRELAÇÃO ENTRE VALORES MÉDIOS POR ESPÉCIE DE MÓDULO DE RUPTURA (MOR), MASSA ESPECÍFICA E GRAMATURA EM FLEXÃO ESTÁTICA - PRÉ-TRATAMENTO TRÊS CICLOS.

Espécies	MOR (MPa)	Massa específica (kg/m ³)	Gramatura (g/m ²)	P	
				GraxMOR	MExMOR
<i>P. chiapensis</i>	46,42	487,23	140,49		
<i>P. oocarpa</i> *	46,42	619,50	167,46		
<i>P. taeda</i>	47,81	553,37	173,54	0,0342**	0,0259**
<i>P. maximinoi</i>	54,10	585,53	162,06		
<i>P. c. hondurensis</i>	54,39	576,05	183,24		
<i>P. tecunumanii</i>	61,37	629,33	241,37		

* Resultado de P desconsiderando o *P. oocarpa* para correlação entre massa específica e MOR.

** Significativo ao nível de 95% de probabilidade.

A Tabela 22 evidencia a íntima relação entre MOR, massa específica e gramatura, mostrando que com o aumento da massa específica e gramatura, conseqüentemente eleva-se a resistência. O *Pinus tecunumanii* com a maior massa específica média de 629,33 kg/m³ e a maior gramatura média de 241,37 g/m² apresentou valor médio de MOR de 61,37MPa.



MOR = -7,14876 + 0,105892*MASSA ESPECÍFICA. Significativo ao nível de 95% de probabilidade.

MOR = 25,5242 + 0,147323*GRAMATURA. Significativo ao nível de 95% de probabilidade

FIGURA 16 – Influência da massa específica das espécies e gramatura na resistência da colagem de topo – pré-tratamento três ciclos.

FONTE: O autor.

Como já mencionado no pré-tratamento anterior (item 1.3.2.3), a variável teor de extrativos, com valor P de 0,8953, não demonstrou influencia significativa na

qualidade de colagem, sendo as variáveis massa específica e gramatura os fatores que mais influíram na qualidade de colagem para este pré-tratamento (TABELA 22).

De acordo com a Figura 16, o coeficiente de correlação apresentado está entorno de 0,92 e 0,85. Isto significa que há uma influencia linear forte da massa específica e gramatura média respectivamente na resistência apresentada pelas espécies.

Em contrapartida, o *Pinus oocarpa* apresentou um comportamento distinto das demais espécies em relação somente à massa específica, como mostra a Figura 16. O mesmo comportamento foi constatado no item anterior (5.3.1.1), podendo ser justificado pela maior concentração de gomas, taninos, açúcares e corantes comparadas com as demais, determinadas pela solubilidade em água fria, como mostra a Tabela 08, para este pré-tratamento.

5.3.2.3 Interações entre os pré-tratamentos

Analisando as variáveis que possa vir a influenciar o desempenho da colagem de topo, a Tabela 23 apresenta as duas variáveis massa específica e gramatura em função de cada pré-tratamento.

TABELA 23 – VALORES DE RESISTÊNCIA DAS ESPÉCIES SOB INFLUÊNCIA DA COVARIÁVEL M.E. EM FATOR DA GRAMATURA.

Pré-tratamento	Variáveis	MOR médio (MPa)	Média	P
Seco	M. E. (kg/m ³)	37,28	572,92	0,5022
	Gramatura (g/m ²)		178,02	0,1445
Elevada Temperatura	M. E. (kg/m ³)	42,28	575,48	0,3581
	Gramatura (g/m ²)		178,02	0,0338*
3 Ciclos	M. E. (kg/m ³)	51,75	575,17	0,2201
	Gramatura (g/m ²)		178,02	0,0052*

* Significativo ao nível de 95% de probabilidade.

Analisando a influência dos pré-tratamentos sob o efeito das variáveis massa específica e gramatura, de acordo com a Tabela 23 pode se observar que as duas variáveis não foram afetadas quando os corpos se encontravam em estado seco.

Quando os corpos são submetidos à alta temperatura e à umidade, a variável gramatura, ou seja, o adesivo mostrou ser influenciado pelos pré-

tratamentos, sendo que a massa específica não sofreu influência em nenhum dos três pré-tratamentos realizados.

Baseado no fato, de que, segundo vários autores como Hounink e Salomon (1967), Pizzi (1983), Marra (1992), Nock e Richter (1978), os adesivos PVAc são classificados como adesivos termoplásticos, ou seja, sofrem influência direta da temperatura, que quando alta, o adesivo tem a capacidade de voltar ao estado de gel, explicando a influência do pré-tratamento a alta temperatura que pode ter influenciado de forma direta a resistência sobre a colagem das espécies.

O adesivo PVAc de acordo com Pizzi (1983), Nock e Richter (1978), não costumam ser afetados por mudanças na umidade, mas quando expostos de forma prolongada, a água pode afetar a colagem chegando a destruir a ligação. De acordo com os resultados da Tabela 23, com relação ao pré-tratamento de três ciclos, a gramatura, ou seja, o adesivo foi influenciado pelas condições de imersão em água seguido da secagem.

A Tabela 24 mostra a influência dos pré-tratamentos na resistência à flexão estática em cada espécie com suas respectivas análises estatística.

TABELA 24 – EFEITO DOS PRÉ-TRATAMENTOS EM FUNÇÃO DAS ESPÉCIES.

Espécies	Pré tratamento	MOR médio (MPa)	F	P
<i>P. oocarpa</i>	Elev. Temp.	38,08 a	4,75	0,0123*
	Seco	40,03 ab		
	3 Ciclos	46,42 b		
<i>P. chiapensis</i>	Elev. Temp.	33,76 a	11,47	0,0001*
	Seco	35,34 a		
	3 Ciclos	46,42 b		
<i>P. maximinoi</i>	Seco	38,58 a	14,92	0,0000*
	Elev. Temp.	43,85 a		
	3 Ciclos	54,10 b		
<i>P. taeda</i>	Seco	33,19 a	16,80	0,0000*
	Elev. Temp.	41,44 b		
	3 Ciclos	47,81 c		
<i>P. caribaea hondurensis</i>	Seco	35,38 a	20,69	0,0000*
	Elev. Temp.	47,57 b		
	3 Ciclos	54,39 b		
<i>P. tecunumanii</i>	Seco	41,16 a	24,00	0,0000*
	Elev. Temp.	49,00 b		
	3 Ciclos	61,37 c		

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 95% de probabilidade.

* Significativo ao nível de 95% de probabilidade.

De acordo com os resultados expostos pela Tabela 24, os três tipos de pré-tratamento foram significativos a 95% de probabilidade, ou seja, todos influenciaram no desempenho das emendas de *finger joint*.

Para as espécies de *P. oocarpa*, *P. chiapensis* e *P. maximinoi*, não houve diferença estatística pelo teste de média entre os pré-tratamentos a seco e a elevada temperatura. Para as demais espécies esta diferença foi constatada, havendo aumento de resistência com a aplicação de alta temperatura.

Uma hipótese para explicar este incremento em resistência, pode se dar ao fato de que com a aplicação de temperatura, e o retorno do estado físico do adesivo em gel, possa ter ocorrido uma melhor penetração e umedecimento do adesivo nas cavidades vasculares da madeira e com isso, melhorando a fixação ou ancoragem do adesivo no substrato.

De acordo com a Tabela 24, em todas as espécies estudadas constatou-se um incremento de resistência quando os corpos foram submetidos ao pré-tratamento de três ciclos.

Apesar da afirmação feita por Pizzi (1983) e Nock e Richter (1978), que as adesivos PVAc não costumam ser afetados por mudanças na umidade a não ser por exposição prolongada, o que era de se esperar para o tratamento de três ciclos era a diminuição da resistência comparado com o pré-tratamento a seco.

Bandel (1991) utilizou o adesivo PVAc, com características de teor de sólidos entorno de 50%, pH entorno de 3,0, e determinou a resistência do corpos de prova segundo a norma DIN 68602. Constatou que a média de resistência a seco apresentou valor de 15,4 N/mm², a resistência dos corpos de prova úmido baixou para 2,9 N/mm² e depois de seco os corpos de prova apresentaram valor médio de resistência de 13,7 N/mm².

Resultados apresentados pela Tabela 24, confrontados com resultados obtidos por Bandel (1991), mostra que o adesivo PVAc tem a capacidade de retornar à sua forma coesiva quando expostos a umidade à um tempo curto de exposição.

A interação entre o adesivo, a madeira e condição de umidade alta seguida de secagem branda fez com que houvesse uma melhoria considerável na ligação, que várias explicações ou teorias podem ser expostas para tentar explicar o bom desempenho das espécies neste tipo de pré-tratamento. Os fatores que podem estar envolvidos são de grandeza química e/ou física tanto no substrato madeira quanto no adesivo.

Conforme os resultados apresentados, as espécies de *P. tecunumanii* e *P. c. hondurensis* apresentaram as maiores resistências quando comparada com as demais espécies em todos os pré-tratamentos aplicados para o esforço em flexão estática.

Iwakiri (2009), estudando a produção de painéis compensados utilizando estas mesmas espécies de pinus tropicais, também obteve como resultados em flexão estática o *Pinus tecunumanii* e *Pinus caribaea hondurensis* como as espécies que apresentaram as maiores resistências.

5.3.3 Resistência à Tração

5.3.3.1 Pré-tratamento seco

A Tabela 25 apresenta os valores médios de tensão e suas respectivas médias de falhas na madeira por espécie.

TABELA 25 – VALORES DE RESISTÊNCIA DE TENSÃO MÁXIMA EM TRAÇÃO PARA AS DIFERENTES ESPÉCIES – PRÉ-TRATAMENTO SECO.

Espécies	Falha na madeira (%)	Tensão (MPa)	F	P
<i>P. taeda</i>	84,2	24,54	a	
<i>P. chiapensis</i>	73,5	26,05	ab	
<i>P. maximinoi</i>	69,0	27,42	ab	
<i>P. oocarpa</i>	65,0	27,63	ab	2,85
<i>P. tecunumanii</i>	75,0	29,46	ab	0,0185*
<i>P. caribaea hondurensis</i>	77,5	30,37	b	

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 95% de probabilidade.

* Significativo ao nível de 95% de probabilidade.

De acordo com a Tabela 25, pode-se notar que as seis espécies são divididas em dois grupos estatisticamente diferentes pelo teste de médias, sendo que no extremo inferior se encontra o *P. taeda* e o outro extremo com resistência superior as demais espécies, o *P.c.hondurensis* e que somente entre estas duas espécies houve diferença estatística.

Estes valores médios apresentados cumprem com a resistência mínima exigida pela norma ASTM D5572 (1999), que determina um valor de resistência não menor que 13,8 MPa para quando os corpos de prova ensaiados seco.

O outro requisito exigido por esta norma é quanto aos valores médios de falha na madeira que não pode ser inferior a 60%. De acordo com os resultados, todas as espécies apresentaram valores superiores ao exigido, cumprindo-se então integralmente os dois quesitos estabelecidos.

Quando comparados os valores de tensão máxima da Tabela 25 com as variáveis: massa específica, teor de extrativos totais e gramatura aplicada, para explicar a possível influência destas na resistência apresentada pelas espécies, só a variável gramatura apresentou influência significativa a 99% de probabilidade, sendo que a variável massa específica obteve um valor de P de 0,3280 e os extrativos totais de 0,5869 não sendo significativa sua influência a 90% de probabilidade.

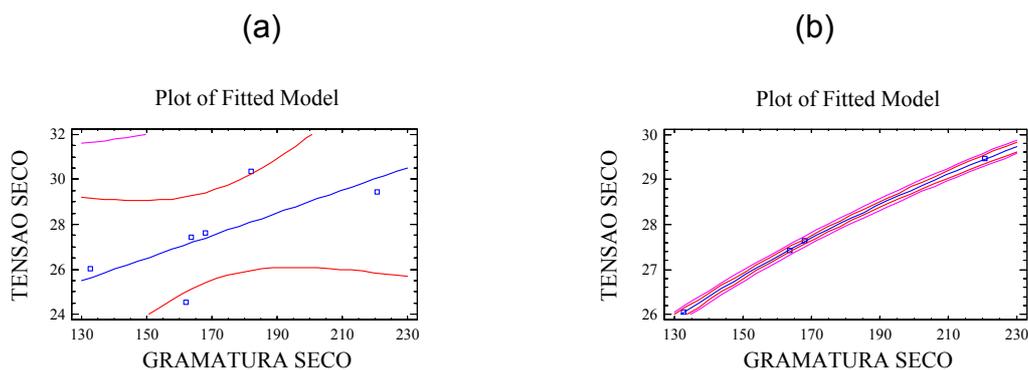
TABELA 26 – CORRELAÇÃO ENTRE VALORES MÉDIOS POR ESPÉCIE DE TENSÃO MÁXIMA E GRAMATURA EM RESISTÊNCIA À TRAÇÃO - PRÉ-TRATAMENTO SECO.

Espécies	Tensão (MPa)	Gramatura (g/m ²)	P	
			GraxTensão	R ² (%)
<i>P. taeda</i> *	24,54	162,07	0,0001**	99,98
<i>P. chiapensis</i>	26,05	132,65		
<i>P. maximinoi</i>	27,42	163,82		
<i>P. oocarpa</i>	27,63	168,15		
<i>P. tecunumanii</i>	29,46	220,69		
<i>P. c. hondurensis</i> *	30,37	181,97		

** Significativo ao nível de 99% de probabilidade.

* Resultados de P e R² desconsiderando o *P.taeda* e *P.c.hondurensis*.

Conforme a Tabela 26, um fato importante a ser destacado nesta análise é que o valor do coeficiente de determinação alcançado próximo a 100% só foi possível com a exclusão das espécies de *Pinus taeda* e o *Pinus caribaea hondurensis*, significando que as duas espécies não apresentaram o mesmo desempenho que as demais, como mostra a Figura 17 (b).



MOR = 25,5242 + 0,147323*GRAMATURA. Significativo ao nível de 95% de probabilidade
 FIGURA 17 – - Influência da gramatura do adesivo na resistência à tração para a colagem de topo – pré-tratamento seco. a) análise de regressão contendo todas as espécies estudadas. b) análise de regressão sem a presença das espécies de *P. taeda* e *P.c. hondurensis*
 FONTE: O autor.

5.3.3.2 Pré-tratamento elevada temperatura

A Tabela 27 apresenta os valores médios de tensão máxima por espécie com seus respectivos valores de comparação de médias.

TABELA 27 – VALORES DE RESISTÊNCIA DE TENSÃO MÁXIMA EM TRAÇÃO PARA AS DIFERENTES ESPÉCIES – TRATAMENTO ELEVADA TEMPERATURA.

Espécies	Número de amostras	Tensão (MPa)	F	P
<i>P. oocarpa</i>	20	24,19	7,51	0,0000*
<i>P. chiapensis</i>	20	25,22		
<i>P. taeda</i>	20	25,52		
<i>P. maximinoi</i>	20	28,90		
<i>P. caribaea hondurensis</i>	20	32,91		
<i>P. tecunumanii</i>	20	35,33		

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 95% de probabilidade.

* Significativo ao nível de 95% de probabilidade.

Conforme os resultados, a tensão média apresentada pelas espécies é dividida em dois grupos estatisticamente diferentes pelo teste de médias, sendo significativo a 95% de probabilidade.

Pode se dizer que o *P. tecunumanii* e o *P. c. hondurensis* foram as espécies que apresentaram os maiores valores de resistência média, com o restante das

espécies fazendo parte do grupo que apresentaram valores mais baixos, incluindo o *P. taeda*.

Como já discutido no item anterior (5.3.1.2), a norma não faz nenhuma menção sobre resistência mínima para este pré-tratamento.

A fim de evidenciar as características de desempenho de cada espécie, a Tabela 28 apresenta as variáveis que estatisticamente influenciaram seus valores de resistência média.

Comparando o teor de extrativos totais de cada espécie com seus respectivos valores médios de tensão máxima, esta variável apresentou um valor P de 0,7410, o que significa que não foi a variável que afetou o desempenho de colagem.

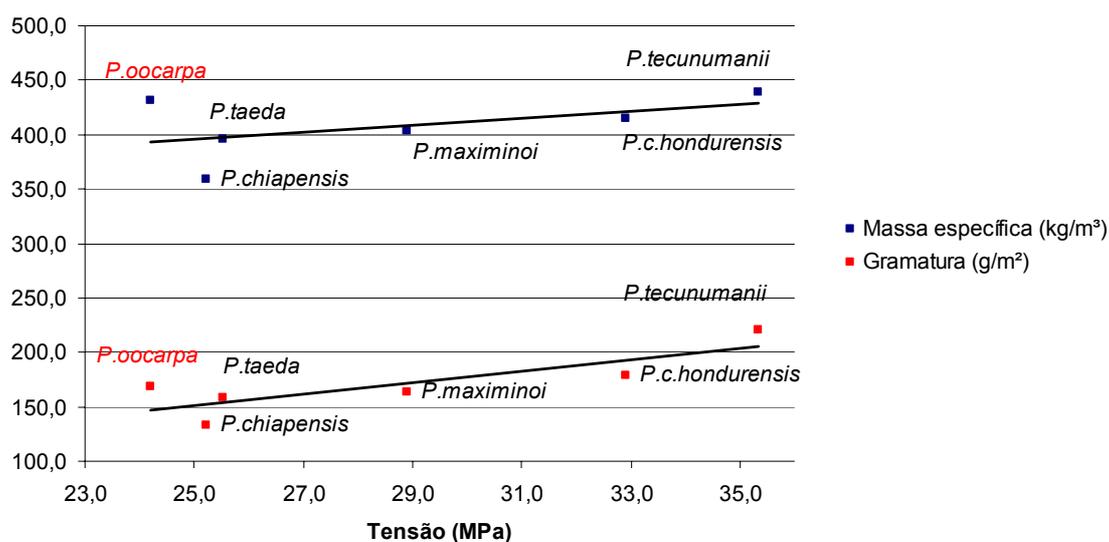
TABELA 28 – CORRELAÇÃO ENTRE VALORES MÉDIOS POR ESPÉCIE DE TENSÃO MÁXIMA, MASSA ESPECÍFICA E GRAMATURA EM TRAÇÃO - PRÉ-TRATAMENTO ELEVADA TEMPERATURA.

Espécies	Tensão (MPa)	Gramatura (g/m ²)	Massa específica aparente (kg/m ³)	P	
				GraxTensão	MExTensão
<i>P. taeda</i>	25,52	157,95	396,07		
<i>P. chiapensis</i>	25,22	132,65	359,49		
<i>P. maximinoi</i>	28,90	163,82	403,74	0,0242**	0,0427**
<i>P. oocarpa</i> *	24,19	168,15	431,87		
<i>P. c. hondurensis</i>	32,91	179,32	414,54		
<i>P. tecunumanii</i>	35,34	220,50	438,99		

** Significativo ao nível de 95% de probabilidade.

* Resultados de P e R² desconsiderando o *P. oocarpa*.

De acordo com os resultados, a variável gramatura apresentou um valor P de 0,0242 e a variável massa específica obteve um valor de P de 0,0427, com seus respectivos valores de coeficiente de correlação de 0,925 e 0,841, portanto estas duas variáveis influenciaram significativamente a 95% de probabilidade o desempenho da colagem de topo ao esforço de tração.



TENSAO = -25,7506 + 0,13744*MASSA ESPECIFICA. Significativo ao nível de 95% de probabilidade.

TENSAO = 7,75943 + 0,127707*GRAMATURA. Significativo ao nível de 95% de probabilidade

FIGURA 18 – - Influência da massa específica das espécies e gramatura na resistência da colagem de topo – pré-tratamento elevada temperatura.

FONTE: O autor.

A espécie de *P. oocarpa*, apresenta a segunda maior massa específica, de acordo com a Figura 18, sua resistência média esperada estaria por volta de 34 MPa, e terceira maior gramatura, se seguisse a mesma tendência da figura apresentaria resistência de entorno de 30 MPa, mas obteve um valor de 24 MPa. Uma explicação para este desvio pode estar relacionada com a alta concentração de gomas, taninos, açúcares e corantes comparadas com as demais, determinadas pela solubilidade em água fria, como mostra a Tabela 8, como já mencionado no item anterior (4.2.3.4).

5.3.3.3 Pré-tratamento três ciclos

A Tabela 29 apresenta valores médios de resistência a tração por espécie para o pré-tratamento de três ciclos, com suas respectivas análises estatística.

TABELA 29 – VALORES DE RESISTÊNCIA DE TENSÃO MÁXIMA EM TRAÇÃO PARA AS DIFERENTES ESPÉCIES – TRATAMENTO TRÊS CICLOS.

Espécies	Falha na madeira (%)	Tensão (MPa)	F	P
<i>P. taeda</i>	89,5	27,85	a	
<i>P. chiapensis</i>	81,0	30,48	ab	
<i>P. oocarpa</i>	57,4	30,59	ab	9,18
<i>P. maximinoi</i>	89,0	36,26	bc	0,0000*
<i>P. caribaea hondurensis</i>	92,0	38,21	c	
<i>P. tecunumanii</i>	92,5	39,23	c	

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 95% de probabilidade.

* Significativo ao nível de 95% de probabilidade.

De acordo com os resultados apresentados, os valores médios de tensão são divididos estatisticamente em três grupos distintos, tendo o *Pinus tecunumanii*, o *Pinus c. hondurensis* e o *P. maximinoi* como integrantes do grupo representados pela letra “c” que apresentaram as maiores resistências quando submetidos a este pré-tratamento.

O grupo “a”, contendo as espécies de *P. taeda*, *P. chiapensis* e *P. oocarpa*, foi o grupo que apresentou a mais baixa resistência à tração sob efeito deste pré-tratamento.

Apesar deste grupo apresentar um resultado relativamente inferior às demais espécies estudadas, considera-se um resultado satisfatório quando comparados com as exigências mínimas da norma ASTM D5572(1999), pois todas as espécies apresentaram valores acima das estipuladas, que não deve ser inferior a 6,9 MPa.

Esta norma, além dos valores de resistência mínima, faz referência também a valores mínimos de falha na madeira, sendo as espécies obrigatoriamente ter que apresentar valores maior ou igual a 30%. Conforme a Tabela 29, todas as espécies estudadas cumpriram este quesito, tendo o *P. oocarpa* apresentado a menor média de falha na madeira, com 57,4%.

Tendo em vista esta diferença estatística e absoluta de resistência entre as espécies, o teor de extrativos totais não apresentou significância estatística, ou seja, não foi o fator de influência nestes resultados, pois apresentou, quando comparado com a tensão máxima de cada espécie, um valor P de 0,5830 a 90% de probabilidade.

Quando se compara as variáveis massa específica e gramatura com os valores de tensão máxima, elas apresentam influência significativa nos valores de resistência para o pré-tratamento de 3 ciclos, conforme mostra a Tabela 30.

TABELA 30 – CORRELAÇÃO ENTRE VALORES MÉDIOS POR ESPÉCIE DE TENSÃO MÁXIMA, MASSA ESPECÍFICA E GRAMATURA EM TRAÇÃO - PRÉ-TRATAMENTO TRÊS CICLOS.

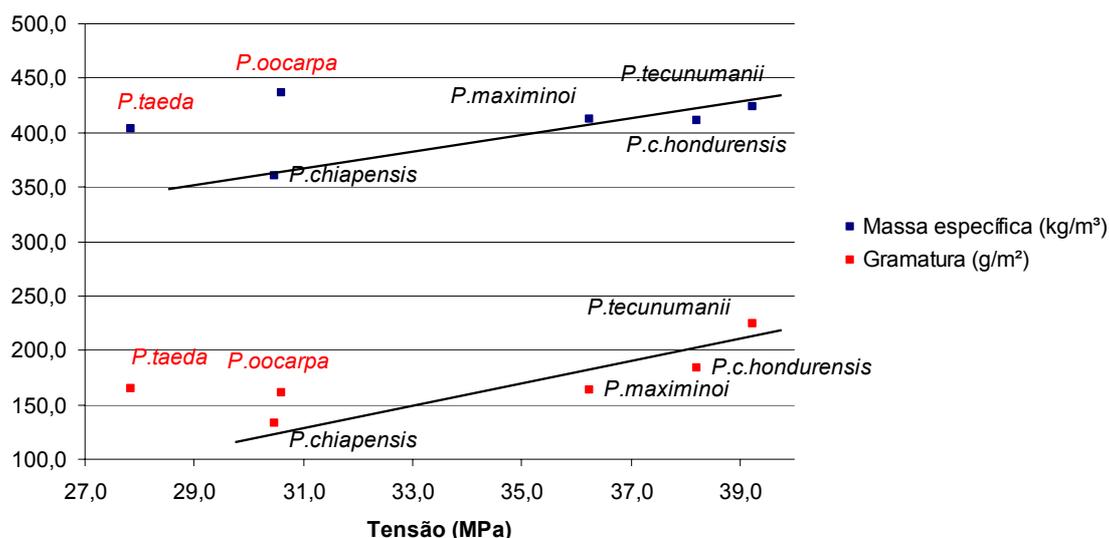
Espécies	Tensão (MPa)	Gramatura (g/m ²)	Massa específica aparente (kg/m ³)	P	
				GraxTensão	MExTensão
<i>P. taeda</i> *	27,85	164,91	403,91		
<i>P. chiapensis</i>	30,48	132,65	360,25		
<i>P. oocarpa</i> *	30,59	160,58	436,95	0,0613**	0,0295***
<i>P. maximinoi</i>	36,26	163,82	412,79		
<i>P. c hondurensis</i>	38,21	183,24	410,56		
<i>P. tecunumanii</i>	39,23	225,01	423,21		

** Significativo ao nível de 90% de probabilidade. *** Significativo ao nível de 95% de probabilidade.

* Resultados de P desconsiderando o *P.oocarpa* e *P.taeda*.

Conforme mostra a Tabela 30, a variável massa específica apresentou um valor de P menor comparado com a variável gramatura, ou seja, estatisticamente a massa específica apresenta uma maior influência, apesar destas duas influírem na resistência das espécies sob influência deste pré-tratamento.

O coeficiente de correlação determinado a partir da análise de regressão simples obtido é de 0,939 para a tensão em função da gramatura e de 0,971 para a tensão em função da massa específica, valores estes determinados sem a presença do *P. taeda* e do *P.oocarpa* que não demonstraram correlação com as variáveis testadas, como apresenta a Figura 19.



TENSAO = $-25,7506 + 0,13744 \cdot \text{MASSA ESPECIFICA}$. Significativo ao nível de 95% de probabilidade.

TENSAO = $7,75943 + 0,127707 \cdot \text{GRAMATURA}$. Significativo ao nível de 95% de probabilidade

FIGURA 19 – Influência da massa específica das espécies e gramatura na resistência da colagem de topo – pré-tratamento três ciclos.

FONTE: O autor.

5.3.3.4 Interações entre os pré-tratamentos

Analisando as variáveis que possa vir a influenciar o desempenho da colagem de topo, a Tabela 31 apresenta as duas variáveis massa específica e gramatura em função de cada pré-tratamento.

TABELA 31 – VALORES DE RESISTÊNCIA DAS ESPÉCIES AO ESFORÇO DE TRAÇÃO EM FUNÇÃO DAS VARIÁVEIS MASSA ESPECÍFICA (M.E.) E GRAMATURA.

Tratamento	Variáveis	Número de amostras	Média	F	P
Seco	M. E. (kg/m ³)	120	405,71	3,01	0,0856
	Gramatura (g/m ²)	120	171,56	15,77	0,0001*
Elevada Temperatura	M. E. (kg/m ³)	120	407,45	3,75	0,0522
	Gramatura (g/m ²)	120	170,40	36,56	0,0000*
3 Ciclos	M. E. (kg/m ³)	120	408,40	5,78	0,0179*
	Gramatura (g/m ²)	120	173,06	20,29	0,0000*

* Significativo ao nível de 95% de probabilidade.

Quando se compara as variáveis que mais foram influenciadas pelos tratamentos, a variável gramatura é o principal fator de influência em todos os três pré-tratamentos realizados. O único pré-tratamento em que a massa específica apresentou influência estatística foi de três ciclos.

A Tabela 32 mostra a influência dos pré-tratamentos na resistência à tração por espécie com suas respectivas análises estatísticas.

TABELA 32 – EFEITO DOS TRATAMENTOS EM FUNÇÃO DAS ESPÉCIES.

Espécies	Número amostras	Tratamento	Tensão média (MPa)	F	P
<i>P. oocarpa</i>	20	Elev. Temp.	24,19 a	3,00	0,0580
	20	Seco	27,63 ab		
	19	3 Ciclos	30,59 b		
<i>P. chiapensis</i>	20	Elev. Temp.	25,22 a	2,39	0,1011
	20	Seco	26,05 a		
	20	3 Ciclos	30,48 a		
<i>P. maximinoi</i>	20	Seco	27,42 a	16,25	0,0000*
	20	Elev. Temp.	28,90 a		
	20	3 Ciclos	36,26 b		
<i>P. taeda</i>	20	Seco	24,54 a	1,77	0,1796
	20	Elev. Temp.	25,52 a		
	19	3 Ciclos	27,85 a		
<i>P. caribaea hondurensis</i>	20	Seco	30,37 a	6,03	0,0042*
	20	Elev. Temp.	32,91 ab		
	20	3 Ciclos	38,21 b		
<i>P. tecunumanii</i>	20	Seco	29,46 a	15,36	0,0000*
	20	Elev. Temp.	35,34 b		
	20	3 Ciclos	39,23 b		

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 95% de probabilidade.

* Significativo ao nível de 95% de probabilidade.

Como pode ser observado na Tabela 32, houve um incremento em resistência de todas as espécies quando submetidos os corpos à condição severa de temperatura e imersão em água, mas este incremento só foi significativo estatisticamente em três espécies em particular, o *P. maximinoi*, o *P.c.hondurensis* e o *P. tecunumanii*.

Estes resultados foram diferentes quando comparados com os ensaios de flexão estática, já que para este ensaio as diferença estatística foi significativa para todas as espécies.

Quando se faz análise do próprio ensaio dos corpos ao esforço de tração, constata-se na maioria das vezes a ruptura na madeira, ou seja, a linha de cola na realidade não é rompida, e sim a própria resistência da madeira, com isso a variação de resistência é grande, pois pode ocorrer o esmagamento da madeira pelos mordentes da máquina de ensaio, gerando a diminuição significativa de sua própria resistência.

6 CONCLUSÕES

6.1 AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES DAS ESPÉCIES ESTUDADAS

Com base nas análises realizadas e nos resultados avaliados quanto às propriedades das espécies estudadas, pode-se concluir que:

- a.** A espécie de *P. taeda* apresentou o maior valor médio de pH entre as espécies estudadas, apesar disto, nenhuma espécie apresentou acidez extremamente alta ou baixa;
- b.** Os menores valores médios de concentração de compostos químicos presentes nas espécies estudadas foi apresentado pelo *P. taeda*, ao oposto, as espécies de *P. oocarpa* e *P. chiapensis* apresentaram as maiores concentrações;
- c.** A espécie de *P. chiapensis* apresentou a menor massa específica básica quando comparado com os valores médios das espécies estudadas, apresentando maiores valores, as espécies de *P. taeda* e *P. tecunumanii*;
- d.** As espécies estudadas apresentaram teor de umidade médio em torno de 14%, valor este considerado com cerca de 2% acima do recomendado pelo fabricante, mas em função de sua invariabilidade, não influenciou o processo de colagem;

6.2 AVALIAÇÃO DA COLAGEM DAS ESPÉCIES ESTUDADAS

Com base nas análises realizadas e nos resultados avaliados quanto à colagem das espécies estudadas, pode-se concluir que:

- a.** As espécies de *P. chiapensis*, *P. c. hondurensis* e *P. maximinoi* apresentaram as maiores resistências a colagem lateral. Já a espécie de *P. taeda* utilizada como testemunha, apresentou o menor valor médio;
- b.** A espécie de *P. tecunumanii* apresentou a melhor característica de resistência mecânica ao esforço de flexão estática e tração em todos os pré-tratamentos aplicados;

- c. O aumento da gramatura influenciou no aumento de resistência de colagem lateral na espécie de *P. taeda*;
- d. Na avaliação da qualidade da colagem ao esforço de flexão estática, a variável gramatura foi a que mais influenciou no desempenho da ligação adesiva quando as espécies foram submetidas aos pré-tratamentos a elevada temperatura e três ciclos. Já para o esforço de tração, a gramatura influi nos três pré-tratamentos;
- e. A menor massa específica aparente apresentada pela espécie de *P. chiapensis* influenciou significativamente no incremento em resistência e incremento em falha na madeira nos ensaios de colagem lateral;
- f. O menor valor de extrativos totais apresentado pelo *P. taeda* permitiu que com o aumento da gramatura houvesse incremento em resistência na colagem lateral;
- g. O aumento da massa específica aparente contribuiu para o aumento da resistência em flexão estática nos três pré-tratamentos e o mesmo comportamento foi constatada para a resistência a tração, mas só para os pré-tratamentos a elevada temperatura e três ciclos;
- h. A alta concentração de gomas e taninos pode ter influenciado negativamente a qualidade de colagem de topo do *P. oocarpa* quando submetido aos pré-tratamentos a elevada temperatura e três ciclos para os ensaios de flexão estática e tração;

6.3 INDICAÇÃO DAS ESPÉCIES ESTUDADAS PARA A PRODUÇÃO DE PAINÉIS COLADOS LATERALMENTE

- a. As melhores espécies tropicais indicadas para colagem lateral são espécies que apresentam menor massa específica aparente, sendo elas o *P. chiapensis*, *P. c. hondurensis*, *P. maximinoi* e *P. oocarpa*. Já para a colagem de topo, a preferência é dada para as espécies de maior massa específica aparente, sendo elas, o *P. tecunumanii*, *P. caribaea hondurensis* e o *P. maximinoi*.
- b. Como para a confecção de painéis colados lateralmente os sarrafos são unidos lateralmente e tem a possibilidade de serem unidos pelo topo, as espécies recomendadas são: o *P. maximinoi* e o *P. caribaea hondurensis*.

c. Analisando os quesitos da norma ASTM - D5572, todas as espécies cumpriram os valores mínimos exigidos tanto de falha na madeira quanto de resistência mecânica;

d. Nenhuma espécie aqui estudada cumpriu as exigências mínimas de resistência e falha na madeira para os ensaios de colagem lateral segundo a norma EN – 13353, no entanto, todas as espécies são indicadas para a produção de painéis colados lateralmente.

REFERÊNCIAS

ALBIN, R. A.; Determinacion del pH en diversas especies de los renovales de la provincial de Valdivia. Revista Bosque, v.1, n.1, p. 3-5, 1975

ALBUQUERQUE, C. E. C.; LATORRACA, J. V. F. Adesivos. Revista da Madeira, Ed. 88. Curitiba, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE (ABIMCI). Estudo setorial 2008: indústria de madeira processada mecanicamente: ano base 2007. Curitiba, 2008. 52 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE (ABIMCI). Estudo setorial 2006: indústria de madeira processada mecanicamente: ano base 2005. Curitiba, 2006. 51 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS (ABRAF). Anuário estatístico da ABRAF 2009: ano base 2008. Brasília, 2009. 120 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS (ABRAF). Anuário estatístico da ABRAF 2010: ano base 2009. Brasília, 2010. 136 p.

ASTM 5572 - Standard Specification for Adhesives Used for Finger Joints in Nonstructural Lumber Products. 17p. West Conshohocken, United States. 1999.

BANDEL, A. Adhesivos y Tecnologia del Encolado en la Industria de la Madera, 288p. Milano, 1991.

BARRICHELO, L. E. G., KAGEYAMA, P. Y., SPELTZ, R. M. BONISH, H. J.; BRITO, J. O.; FERREIRA, M. Estudos de Procedências de Pinus taeda Visando seu Aproveitamento Industrial. – IPEF, n15,. P.1-14, Piracicaba, 1977.

CAMPOS, C.I., LAHR, F.A.R., Pinus e eucalipto para a produção de painéis., Revista da Madeira, nº103, março 2007

CARNEIRO, A. C. O.; VITAL, B. R.; PIMENTA, A. S.; MORI, F. A. Reatividade dos Taninos da Casca de *Eucalyptus grandis* para a Produção de Adesivos. – Revista Cerne, Universidade Federal de Lavras, n1,. P.1-9, vol. 7. Lavras, MG, 2001.

CHEMQUEST GROUP, Disponível em:

<<http://www.chemquest.com/store/polyvinyl-acetate-european-adhesives.html>>, acessado em 28/01/2010.

DVORAK, W. S.; DONAHUE, J. K. CAMCORE Cooperative. Research Review. Department of Forestry. College of Forest Resources. North Carolina State University. 93p. North Carolina, USA, 1992.

EN 204 – Classification of Thermoplastic Wood Adhesives for Non-structural Applications. European Standard, Bruxelas 2000.

EN 205 – Adhesives – Wood Adhesives for Non-structural Applications – Determination of Tensile Shear Strength of Lap Joints. European Standard, 13p. Bruxelas 2002.

EN 322 – Painéis derivados de Madeira – Determinação do teor de umidade. European Standard (versão portuguesa), Bruxelas 2000.

EN 323 – Painéis derivados de Madeira – Determinação da massa específica. European Standard (versão portuguesa), Bruxelas 2000.

EN 13353 – Solid wood panels (SWP) – Requirements – European Standard. 11p. Bruxelas, june 2003.

EN 13354 – Solid wood panels – Bonding quality – Test Method – European Standard. 11p. Bruxelas, may 2003.

ETTORI, L. C.; SATO, A., S.; SHIMIZU, J., Y.; Variação genética em procedências e progênies mexicanas de *Pinus maximinoi*. Revista Instituto Florestal de São Paulo, v.16, n1. p 1-9, São Paulo, 2004.

FERREIRA, A. T. B.; TOMAZELLO FILHO, M. Caracterização dos Anéis de Crescimento de Árvores de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* Barr. Et Golf. por Densitometria de Raios X. Revista Scientia Florestalis. V.37, n.83, p. 287-298, Piracicaba, 2009.

FIORELLI, J., Utilização de Fibras de Carbono e de Fibras de Vidro para Reforço de Vigas de Madeira. Dissertação (Mestrado em Ciências e Engenharia de Materiais) – Instituto de Química e Física de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 2002.

FOELKEL, E; FOELKEL, C. PinusLetter. Disponível em: < http://www.celsofoelkel.com.br/pinus_08.html>, acessado em 27/04/2010. Ed. 8, Porto Alegre, RS. 2008.

FOREST PRODUCTS LABORATORY, Technical Note Number F-2, Madison, Wisconsin, USA, 1952. 2p.

FREITAS, M., L., M.; ZANATTO, A., C., S.; MORAIS, E.; LEMOS, S., V.; FERNANDES, A., C.; SEBBENN, A., M.; Teste de Procedência de Pinus caribaea var. hondurensis aos 32 anos de idade em Bebedouro-SP. Revista Instituto Florestal, São Paulo, v17. n.1 p.17-23, jun 2005.

FRIHART, C. R., Adhesive Bonding and Performance Testing of Bonded Wood Products. Journal of ASTM International, Vol. 2, nº7, July/August 2005.

GASPAR, F.; CRUZ, H.; NUNES, L.; GOMES, A. Fabrico de Estruturas Lameladas-Coladas com Madeira de Pinho Bravo Tratada em Autoclave. 5º Congresso Florestal Nacional, Viseu, 2005.

HAUBRICH, J.L.; GONÇALVES, C.; TONET, A. Adesivos Vinílicos Apresentam Soluções para Madeira. Revista da Madeira, n.103, p.66-70 Curitiba, PR, 2007.

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

IWAKIRI, S. Eucaliptus grandis Hill ex. Maiden como Fonte de Matéria-Prima para Produção de Painéis à Base de Madeira. Relatório de Pesquisa apresentado ao CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico. Curitiba, 2007.

IWAKIRI, S.; MATOS, J. L. M.; LIMA, A. J. M.; FERREIRA, E. S.; BATISTA, D. C.; ROMÃO, S. A. A. Produção de Painéis Compensados de Pinus Tropicais Colados com Resina Fenol-formaldeído. Revista Floresta, v.39, n.3, p. 669-673, Curitiba, PR, 2009.

JONES, P. D.; SCHIMLECK, L. R.; PETER, E. G. F.; DANIELS, R.F., CLARK III, E. A.; Non-destructive Estimation of Pinus taeda L. Tracheid Morphological Characteristics for Samples from a Wide Range of Sites in Georgia. Wood Science and Thecnology, p. 529-545, 2005.

KAGEYAMA, P. Y.; VENCOVSKY, R.; FERREIRA, M.; NICOLIELO, N. Variação Genética entre Procedências de Pinus oocarpa Shiede na Região de Agudos – SP. IPEF, p.77-120, Piracicaba, SP. 1977.

KLOCK, U. Qualidade da Madeira de Pinus oocarpa Shiede e Pinus caribaea Morelet var hondurensis Barr e Golf. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1989.

KOLLMANN, F. F. P.; KUENZI, E.; STAMM, A. J.; Principles of Wood Science and Thechnology II, Wood Based Materials Carolina do Norte, USA. 1975. 703p.

LOGSDON, N. B.; PENNA, J. E. Análise Comparativa entre os Coeficientes de Anisotropia Dimensional da Madeira, no Inchamento e na Retração. Disponível em: <<http://www.ufmt.br/agtrop/revista8/doc/01.doc>>, acessado em 30/07/2010. Revista Agricultura Tropical, v. 8, Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da UFMT Cuiaba, MT. 2010.

LTM. Banco de Dados. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2007.

MARCATI, C. R.; DELLA LUCIA, R. M. Comportamento do Anjico-Vermelho (Piptadenia peregrina Benth.) à Adesão com PVA (Acetato de Polivinila) e Resorcinol Formaldeído. Revista Cerne. Universidade Federal de Lavras. v.2. n. 1., Lavras MG. 1996.

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

MATTOS, R. L. G., GONÇALVES, R. M., CHAGAS, F. B das. Painéis de Madeira no Brasil: Panorama e Perspectivas. Estudo Setorial. p.121-156, n.27, Banco Nacional do Desenvolvimento (BNDES), março 2008. Rio de Janeiro.

MEDRADO, M. J. S. Cultivo de Pinus Disponível em -- < <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Pinus/CultivodoPinus/apresentacao.htm> > Acessado em 19/01/2009. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA FLORESTAS). Colombo. Editado em novembro de 2005.

MELO, J. E.; CORADIN, V. T. R.; MENDES, J. C. Classes de Densidade para Madeiras da Amazônia Brasileira. Anais 6º Congresso Florestal Brasileiro. v. 3, p. 965-699, Campos do Jordão, SP. 1990.

MENDES, L. M. Pinus spp. na Produção de Painéis de Partículas Orientadas (OSB). Tese (Doutorado em Engenharia Floresta) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2001.

MENDES, L. M.; ALBUQUERQUE, C. E. C.; IWAKIRI, S. Compensados Sarrafeados: Qualidade da Madeira, Aspectos de Produção e Aproveitamento de Resíduos. Boletim técnico. n. 39, p.50 – Editora UFLA. Universidade Federal de Lavras. Lavras, MG. 2001.

MORAES, M., L., T.; MISSIO, R., F.; SILVA, A., M.; CAMBUIM, J.; SANTOS, L., A.; RESENDE, M., D., V.; Efeito de Desbaste Seletivo nas Estimativas de Parâmetros Genéticos em Progênie de Pinus caribaea Morelet var. hondurensis . Scientia forestalis. N.74, p.55-65, junho 2007.

MORAES NETO, S. P.; DUBOC, E. Parâmetros Genéticos da Densidade Básica da Madeira de Pinus caribaea var. hondurensis. Boletim de pesquisa e desenvolvimento. Embrapa Cerrados. N. 213, p.18, Planaltina, DF, julho, 2008.

NOCK, H. P., RICHTER, H. G.; Adesão e Adesivos – Adesivos e sua aplicação na indústria madeireira. Tópicos de Tecnologia da Madeira. Universidade Federal do Paraná, 94p. , Curitiba, 1978.

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

PEREIRA, C. M. C. Estudos da Operação de Prensagem e Cura do Aglomerado de Fibras de Média Densidade (MDF). Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2002.

PEREIRA, J.; CARVALHO, L.; MARTINS, J. Determinação do Tempo de Prensagem Ótimo de Placas de Madeira Maciça por Alta-Freqüência. 5º Congresso Florestal Nacional, Viseu, 2005.

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

PLUMPTRE, R. A. Pinus caribaea Wood properties. Tropical Forestry paper, v. 2n.17. Commonwealth Forestry Institute. University of Oxford, 1984.

PRATA, J. G. Desempenho de um Sistema de Qualidade em uma Fábrica de Painéis Compensados. 101 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

RAKNES, E.; The Influence of Production Conditions on the Strength of Finger-Joints, Production, marketing and use of finger-jointed sawnwood. Forestry Sciences – p.282,. Hague, Holanda. 1982.

RECH, C. Pinus tropicais mostram evolução. Revista da Madeira. n. 67, Curitiba, PR 2002.

REIS, M. S., CARNEIRO, C. M. R., GALVÃO, A. P. M., SOBRAL Filho, M., PAIXÃO, J. C., LISBOA, C. D. J., SIQUEIRA, J. D. P. Adesão e Adesivos para Madeira – Teorias de Adesão e a Natureza das Colagens com Madeira. Série Técnica. Ministério da Agricultura, Laboratório de Produtos Florestais, 22p. Brasília, DF. 1982.

REMADE, MADEIRAS - PMVA - Produtos de Maior Valor Agregado. Disponível em <http://www.remade.com.br/br/madeira_pmva.php?num=2&title=EGP>. Acessado em 19/01/2010. Revista da Madeira. Curitiba, 2010.

REZENDE, M. A.; ARONI, A. S.; COSTA, V. E.; SEVERO, E. T. D.; LATORRACA, J. V. F. Densidade e Produtividade da Madeira de Híbrido e Seminal de Pinus caribaea. Revista Floresta e Ambiente. v.15, n. 2, 8-17 p., 2008.

ROWELL, R. M., Chemical Modification of Wood for Improved Adhesion in Composites. Wood Adhesives. USDA Forest Service, Forest Products Laboratory, Madison, USA, p.56-60. 1995

SBS. Fatos e Números do Brasil Florestal. Sociedade Brasileira de Silvicultura, 93p. São Paulo. 2008.

SELBO, M. L. Adhesive bonding of wood. Technical bulletin. U.S. Department of Agriculture. N. 1512 p. 124, Washington, D. C. 1975.

SHEERAN, S. R. Polyvinyl Alcohol and Polyvinyl Acetate in the Paper Industry. Protein and Synthetic Adhesives for Paper Coating. Tappi Monograph Series.n.9 p. 146-153. New York, 1952.

SHIMIZU, J.Y.; Cultivo de Pinus Disponível em -- < http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Pinus/CultivodoPinus/03_especies_mais_plantadas_no_brasil.htm > Acessado em 19/01/2010. . Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA FLORESTAS). Colombo.

SHIMOYAMA, V.R.S.; WIECHETECK, M. S. S. Características da Madeira e da Pasta Termomecânica de *Pinus patula* var. *tecunumanii* para a Produção de Papel Imprensa. Série técnica IPEF, v.9, n.27, p.63-80. 1993.

SUASSUNA, J. A. Cultura do Pinus: uma perspectiva e uma preocupação. Revista Brasil Florestal. N.29, Ano VIII, 1977.

TAPPI 252 - pH and electrical conductivity of hot water extracts of pulp, paper, and paperboard , 2002.

TRIANOSKI, R. Avaliação do Potencial de Espécies Florestais Alternativas, de Rápido Crescimento, para Produção de Painéis de Madeira Aglomerada. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

U.S. PRODUCTS LABORATORY. Wood handbook —Wood as an engineering material. Gen. Tech. Rep. FPL—GTR—113. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory,. 463 p. Madison: U.S. 1999.

VEIGA, R.A.A., OLIVEIRA NETO, O.J., JORGE, W.J.; SOUZA, F.G.A.; CARVALHO, C.M. Aspectos Sócio-Econômicos do Desenvolvimento Florestal Brasileiro Através de Incentivos Fiscais – Revista floresta, v6., n.1, Curitiba, 1975.

VICK, C. B. Adhesive Bonding of Wood Materials. U.S. PRODUCTS LABORATORY. Wood handbook —Wood as an engineering material. Gen. Tech. Rep. FPL—GTR—113. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory,. Chapter 9. 463 p. Madison: U.S. 1999.

VICK, C. B.; ROWELL, R. M. Adhesive Bonding of Acetylated Wood. Int. J. Adhesion and Adhesives. V.10, p.263-272. Madison, USA. 1990.

WRIGHT, J. A. Variation in wood properties of *Pinus oocarpa* and *Pinus patula* ssp. *tecunumanii* provenances at six sites. Silvae genetica. V.39, n.1, 1990.

ZANGIÁCOMO, A. L. Emprego de Espécies Tropicais Alternativas na Produção de Elementos Estruturais de Madeira Laminada Colada. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos - USP, São Carlos, 2003.