

EDVÁ OLIVEIRA BRITO

A VIABILIDADE DE UTILIZAÇÃO DE ESPÉCIES DE PINUS PARA A  
PRODUÇÃO DE CHAPAS DE COMPOSIÇÃO ESTRUTURAIIS "WAFERBOARDS"

Dissertação submetida à consideração da Comissão Examinadora, como requisito parcial para a obtenção do título de "Mestre em Ciências - M.Sc." no Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná.

CURITIBA

1984



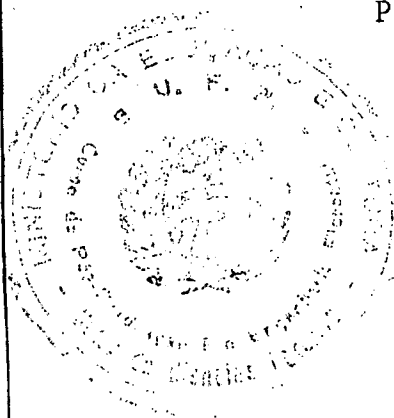
## PARECER

Os membros da Comissão Examinadora designada pelo Colegiado do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado apresentada pelo candidato EDVÁ OLIVEIRA BRITO, sob o título "A VIABILIDADE DE UTILIZAÇÃO DE ESPÉCIES DE PINUS PARA A PRODUÇÃO DE CHAPAS DE COMPOSIÇÃO ESTRUTURAIIS "WAFERBOARDS" para obtenção do grau de Mestre em Ciências Florestais - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, área de concentração TECNOLOGIA E UTILIZAÇÃO DE PRODUTOS FLORESTAIS, após haver analisado o referido trabalho e arguido o candidato, são de parecer pela "APROVAÇÃO" da Dissertação, completando assim os requisitos necessários para receber o grau e o Diploma de Mestre em Ciências Florestais. Observação: O critério de avaliação da Dissertação e defesa da mesma a partir de novembro de 1980 é apenas APROVADA ou NÃO APROVADA.

Curitiba, 26 de setembro de 1984.

Professor José Carlos Franque, M.Sc  
Primeiro Examinador

Professor Pedro Paulo de Lalor Imbiriba, M.Sc  
Segundo Examinador



Professor Sidon Keinert Junior, DR.  
Presidente.

Aos meus pais EVANI e JURACI  
pelo seu incansável estímulo e apoio

e aos meus irmãos

EDNO

ELDA

ELBA

DEDICO

## AGRADECIMENTOS

Ao Professor Dr. Sidon Keinert Junior, pela orientação e incentivo durante a elaboração deste trabalho.

Aos co-orientadores Profs. João Carlos Moreschi e Nadir Silva Castro, pela sua valiosa contribuição.

A Coordenação do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, pela aceitação no referido curso.

A CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal do Ensino Superior e às Universidades Federais do Mato Grosso e Paraná, pela concessão de bolsa de estudo.

Aos funcionários do Curso de Engenharia Florestal, especialmente aqueles da Secretaria de Pós-Graduação, do Laboratório de Tecnologia de Madeira, da Marcenaria, da Biblioteca do Setor de Ciências Agrárias, e ao laboratorista Durval Ribeiro de Souza pela indispensável colaboração nos trabalhos de laboratório.

A todos aqueles que emprestaram a sua amizade e apoio durante a realização deste curso, especialmente ao camarada Delmar Antonio Bressan.

## BIOGRAFIA

EDVÁ OLIVEIRA BRITO, filho de Evani Bonfin de Brito e Juraci de Oliveira Brito, nasceu em Frutal, Estado de Minas Gerais, em 03 de abril de 1957.

Realizou os estudos de primeiro grau (primário e ginásio) respectivamente, no Grupo Escolar Gomes da Silva, em Frutal-MG e no Instituto de Educação Estadual "Francisco Marques Pinto" em Nova Granada-SP. Nesta última instituição também cursou o segundo grau.

Iniciou os estudos de graduação em março de 1977, no Curso de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá-MT, vindo receber o grau de Engenheiro Florestal em janeiro de 1981.

Em julho de 1981, ingressou no Curso de Pós-graduação em Engenharia Florestal, área de concentração Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais, nível de mestrado, da Universidade Federal do Paraná, em Curitiba-PR.

Em abril de 1984 foi contratado como Professor visitante pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, junto ao Instituto de Florestas, onde trabalha até a presente data.

## SUMÁRIO

	<u>LISTA DE FIGURAS</u> .....	
	<u>LISTA DE TABELAS</u> .....	
	<u>RESUMO</u> .....	
	<u>BREVE HISTÓRICO</u> .....	
1	<u>INTRODUÇÃO</u> .....	1
1.1	OBJETIVOS .....	3
2	<u>REVISÃO DA LITERATURA</u> .....	5
2.1	MÓDULO DE RUPTURA E ELASTICIDADE .....	5
2.2	INCHAMENTO EM ESPESSURA E ABSORÇÃO DE ÁGUA .....	8
2.3	EXPANSÃO LINEAR .....	14
2.4	RESISTÊNCIA DA LIGAÇÃO INTERNA .....	15
2.5	ARRANCAMENTO DE PARAFUSO .....	18
3	<u>MATERIAL E MÉTODOS</u> .....	19
3.1	LOCALIZAÇÃO E CARACTERÍSTICAS DO POVOAMENTO ...	19
3.2	AMOSTRAGEM E COLETA DO MATERIAL .....	20
3.2.1	Matéria prima .....	20
3.2.2	Densidade da madeira .....	21
3.3	CÁLCULO DA DENSIDADE .....	22
3.4	FORMAÇÃO DE PARTÍCULAS .....	23
3.5	SECAGEM DAS PARTÍCULAS .....	26
3.6	DETERMINAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE DAS PARTÍCULAS...	28
3.7	ARMAZENAGEM E MEDIÇÃO DAS PARTÍCULAS .....	28
3.8	MANUFATURA DAS CHAPAS .....	30

3.8.1	Quantidade de partículas .....	30
3.8.2	Aplicação de resina .....	30
3.8.3	Formação do colchão .....	30
3.8.4	Prensagem .....	32
3.9	AMOSTRAGEM E TESTES DAS CHAPAS .....	35
3.9.1	Flexão estática .....	35
3.9.2	Absorção de água e inchamento em espessura ..	38
3.9.3	Expansão linear .....	38
3.9.4	Ligação interna .....	38
3.9.5	Arrancamento de parafuso .....	40
3.10	ANÁLISE ESTATÍSTICA .....	40
4	<u>RESULTADOS E DISCUSSÃO</u> .....	43
4.1	DENSIDADE DA MADEIRA .....	43
4.2	OBTENÇÃO DE PARTÍCULAS .....	44
4.3	PROPRIEDADES DAS CHAPAS DE PARTÍCULAS .....	44
4.3.1	Flexão estática .....	44
4.3.1.1	Valores reais .....	44
4.3.1.2	Análise de covariância .....	48
4.3.2	Expansão linear (EL) .....	56
4.3.3	Inchamento em espessura e absorção de água ..	61
4.3.3.1	Inchamento em espessura (IE) .....	61
4.3.3.2	Aumento em peso .....	71
4.3.4	Ligação interna (LI) .....	79
4.3.5	Resistência ao arrancamento de parafuso (AP).	87
5	<u>CONCLUSÕES E SUGESTÕES</u> .....	94
	<u>SUMMARY</u> .....	100
	<u>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</u> .....	101

## LISTA DE FIGURAS

1	ESQUEMA DE INSTALAÇÃO DAS PARCELAS .....	19
2	SECCIONAMENTO DO TRONCO .....	21
3	CONFECÇÃO DOS CORPOS DE PROVA PARA A DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE DA MADEIRA .....	22
4	ESQUEMA DE CONFECÇÃO DOS BLOCOS .....	23
5	FORMADOR DE PARTÍCULAS TIPO DISCO .....	24
6	VISUALIZAÇÃO DAS PARTÍCULAS COM DETALHES .....	25
7	PENEIRA MECÂNICA .....	26
8	HOMOGENEIZAÇÃO DAS PARTÍCULAS .....	27
9	SECAGEM DAS PARTÍCULAS .....	27
10	BALANÇA PARA DETERMINAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE ....	29
11	FORMAÇÃO DO COLCHÃO, EM PRIMEIRO PLANO. AO FUNDO O CILINDRO PARA APLICAÇÃO DE RESINA .....	31
12	DISPOSIÇÃO DAS PLACAS DE ALUMÍNIO E ESPAÇADORES..	32
13	PRENSA HIDRÁULICA DE UMA ABERTURA .....	34
14	SALA DE ACLIMATAÇÃO .....	34
15	ESQUEMA DE CONFECÇÃO DOS CORPOS DE PROVA .....	36
16	AMOSTRAGEM PARA O TESTE DE LIGAÇÃO INTERNA .....	39
17	TENDÊNCIAS OBSERVADAS ENTRE A RELAÇÃO MÓDULO DE RUPTURA x DENSIDADE DA CHAPA, PARA DOIS NÍVEIS DE RESINA .....	46

18	TENDÊNCIAS OBSERVADAS ENTRE A RELAÇÃO MÓDULO DE ELASTICIDADE x DENSIDADE DA CHAPA, PARA DOIS NÍVEIS DE RESINA .....	47
19	MÓDULO DE RUPTURA (ANÁLISE DE COVARIÂNCIA) - MÉDIAS AJUSTADAS .....	51
20	MÓDULO DE RUPTURA (ANÁLISE DE COVARIÂNCIA) - INFLUÊNCIA DAS ESPÉCIES .....	53
21	MÓDULO DE RUPTURA (ANÁLISE DE COVARIÂNCIA) - INFLUÊNCIA DA DENSIDADE DE CHAPA E CONTEÚDO DE RESINA .....	54
22	MÓDULO DE ELASTICIDADE (ANÁLISE DE COVARIÂNCIA) - MÉDIAS AJUSTADAS .....	55
23	MÓDULO DE ELASTICIDADE (ANÁLISE DE COVARIÂNCIA) - INFLUÊNCIA DAS ESPÉCIES .....	57
24	MÓDULO DE ELASTICIDADE (ANÁLISE DE COVARIÂNCIA) - INFLUÊNCIA DA DENSIDADE DE CHAPA E CONTEÚDO DE RESINA .....	58
25	TENDÊNCIAS OBSERVADAS ENTRE A RELAÇÃO EXPANSÃO LINEAR x DENSIDADE DE CHAPA, PARA DOIS NÍVEIS DE RESINA .....	59
26	EXPANSÃO LINEAR (ANÁLISE DE COVARIÂNCIA) - MÉDIAS AJUSTADAS .....	62
27	EXPANSÃO LINEAR (ANÁLISE DE COVARIÂNCIA) - INFLUÊNCIA DAS ESPÉCIES .....	63
28	EXPANSÃO LINEAR (ANÁLISE DE COVARIÂNCIA) - INFLUÊNCIA DA DENSIDADE DE CHAPA E CONTEÚDO DE RESINA .....	64
29	TENDÊNCIAS OBSERVADAS ENTRE A RELAÇÃO INCHAMENTO EM ESPESSURA x DENSIDADE DA CHAPA, PARA DOIS NÍVEIS DE RESINA .....	67

30	INCHAMENTO EM ESPESSURA (ANÁLISE DE COVARIÂNCIA) - MÉDIAS AJUSTADAS .....	69
31	INCHAMENTO EM ESPESSURA (ANÁLISE DE COVARIÂNCIA) - INFLUÊNCIA DAS ESPÉCIES .....	70
32	INCHAMENTO EM ESPESSURA (ANÁLISE DE COVARIÂNCIA) - INFLUÊNCIA DA DENSIDADE DE CHAPA, DO CONTEÚDO DE RESINA E DO TEMPO DE IMERSÃO .....	72
32	TENDÊNCIAS OBSERVADAS ENTRE A RELAÇÃO ABSORÇÃO DE ÁGUA x DENSIDADE DA CHAPA, PARA DOIS NÍVEIS DE RESINA .....	73
34	ABSORÇÃO DE ÁGUA (ANÁLISE DE COVARIÂNCIA) - MÉDIAS AJUSTADAS .....	76
35	ABSORÇÃO DE ÁGUA (ANÁLISE DE COVARIÂNCIA) - INFLUÊNCIA DAS ESPÉCIES .....	78
36	ABSORÇÃO DE ÁGUA (ANÁLISE DE COVARIÂNCIA) - INFLUÊNCIA DA DENSIDADE DE CHAPA, DO CONTEÚDO DE RESINA E DO TEMPO DE IMERSÃO .....	80
37	TENDÊNCIAS OBSERVADAS ENTRE A RELAÇÃO LIGAÇÃO INTERNA x DENSIDADE DA CHAPA, PARA DOIS NÍVEIS DE RESINA .....	81
38	LIGAÇÃO INTERNA (ANÁLISE DE COVARIÂNCIA) - MÉDIAS AJUSTADAS .....	84
39	LIGAÇÃO INTERNA (ANÁLISE DE COVARIÂNCIA) - INFLUÊNCIA DAS ESPÉCIES .....	85
40	LIGAÇÃO INTERNA (ANÁLISE DE COVARIÂNCIA) - INFLUÊNCIA DA DENSIDADE DE CHAPA E CONTEÚDO DE RESINA .....	86
41	TENDÊNCIAS OBSERVADAS ENTRE A RELAÇÃO RESISTÊNCIA AO ARRANCAMENTO DE PARAFUSO x DENSIDADE DA CHAPA, PARA DOIS NÍVEIS DE RESINA .....	88

42	RESISTÊNCIA AO ARRANCAMENTO DO PARAFUSO (ANÁLISE DE COVARIÂNCIA) - MÉDIAS AJUSTADAS .....	91
43	RESISTÊNCIA AO ARRANCAMENTO DO PARAFUSO (ANÁLISE DE COVARIÂNCIA) - INFLUÊNCIA DAS ESPÉCIES .....	92
44	RESISTÊNCIA AO ARRANCAMENTO DO PARAFUSO (ANÁLISE DE COVARIÂNCIA) - INFLUÊNCIA DA DENSIDADE DE CHA-PA E CONTEÚDO DE RESINA .....	93

LISTA DE TABELAS.

1	CODIFICAÇÃO DAS TORAS .....	20
2	DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E DADOS DE MANUFATURA..	33
3	PROPRIEDADES EXIGIDAS PARA CHAPA DE PARTÍCULAS...	37
4	DENSIDADE MÉDIA DA MADEIRA .....	43
5	DIMENSÕES DE PARTÍCULAS .....	45
6	PROPRIEDADES DAS CHAPAS - MÓDULO DE RUPTURA .....	49
7	PROPRIEDADES DAS CHAPAS - MÓDULO DE ELASTICIDADE.	50
8	PROPRIEDADES DAS CHAPAS - EXPANSÃO LINEAR .....	60
9	PROPRIEDADES DAS CHAPAS - INCHAMENTO EM ESPESSU- RA .....	66
10	PROPRIEDADES DAS CHAPAS - ABSORÇÃO DE ÁGUA (% PE- SO) .....	75
11	PROPRIEDADES DAS CHAPAS - LIGAÇÃO INTERNA .....	82
12	PROPRIEDADES DAS CHAPAS - ARRANCAMENTO DE PARAFU- SO .....	90

## RESUMO

Foram confeccionadas chapas de partículas que se caracterizaram pelo uso de partículas com espessura e comprimento controlados, maiores que aquelas usadas nas chapas convencionais. A matéria-prima foi proveniente de três espécies de *Pinus*, isto é, *P. taeda*, *P. elliottii* e *P. patula*, com 17 anos respectivamente. As chapas, num total de 30 para cada espécie, foram prensadas a quente, com temperatura de 160°C e pressão de 35 kg/cm<sup>2</sup>. As densidades nominais foram de 0,60 e 0,75 g/cm<sup>3</sup> para chapas com 1,3 cm de espessura. A resina usada foi fenol-formaldeído (FF) em dois níveis, 4 e 8 por cento (peso/peso). As chapas foram avaliadas pelos seguintes testes: Flexão estática (Módulo de Ruptura (MOR) e Módulo de Elasticidade (MOE)), Estabilidade Dimensional (Expansão Linear (EL), Inchamento em Espessura (IE e Absorção de Água (AA), Ligação Interna (LI) e Resistência ao Arrancamento de Parafuso (RAP). Os valores mínimos e máximos obtidos, considerando-se as três espécies, foram os seguintes: MOR = 245,16 e 550,18 kg/cm<sup>2</sup>, MOE = 52017 e 105503 kg/cm<sup>2</sup>; EL = 0,036 e 0,109%; IE = (2hs) 23,09 e 59,41% (24hs) 30,16 e 65,33%; AA = (2hs) 34,73 e 112,49%, (24hs) 49,18 e 122,07%; LI = 9,32 e 24,49 kg/cm<sup>2</sup> e RAP = 130,2 e 269,8 kg. Esses resultados obtidos foram considerados excelentes, uma vez que corresponderam e não raramente ultrapassaram os valores mínimos exigidos pela norma comercial CS 236-66, normalmente utilizada nos EUA para este tipo de chapa. Cabe uma ressalva para o teste Inchamento em Espessura que à primeira vista parece ser muito elevado, mas deve-se considerar que as condições foram bastante drásticas, isto é, imersão em água por 2 e 24 horas, sem nenhum tratamento superficial para proteção das chapas.

## BREVE HISTÓRICO

A palavra "wafer" apareceu pela primeira vez em uma patente emitida para Clark & Mottet em 1954, Estados Unidos, para a qual, o requerimento foi registrado em maio de 1949. Entretanto, a sua primeira aplicação comercial foi realizada em Sandpoint, Idaho, em 1955, pela companhia Pack River Lumber. A próxima aplicação comercial do processo se deu no Canadá em Hudson Bay, Saskatchewan. A construção de uma indústria de "waferboard" para a Wizewood Ltd. foi completada no final de 1961. A comercialização do produto com a marca registrada "aspenite" entrou em operação oficialmente em 1962. Esta indústria foi adquirida pela McMillan Bloedel Ltd. em 1965 que a transformou na primeira indústria de "waferboard" comercialmente viável no mundo.

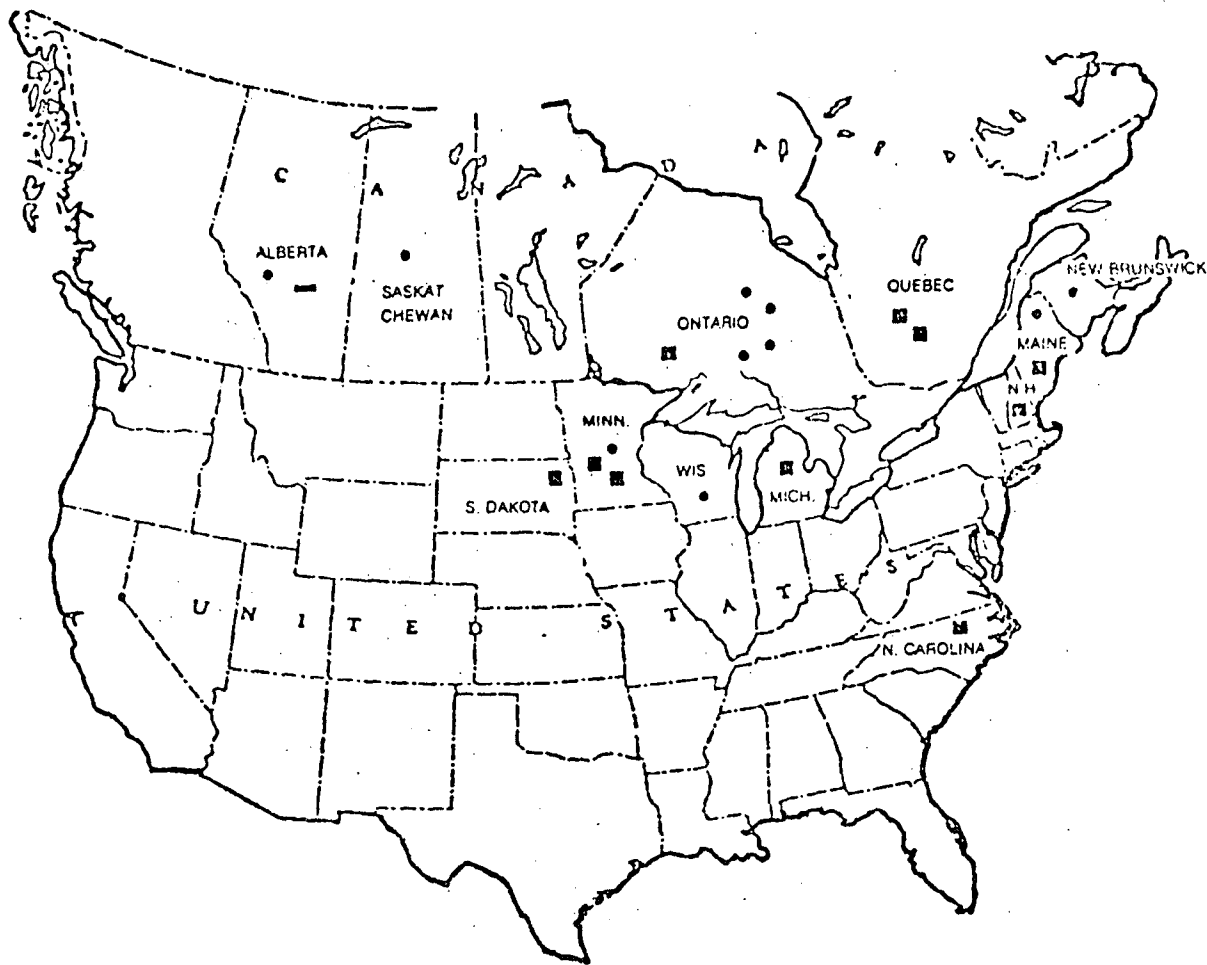
Em 1969 a família Malette, em Timmins, Ontario, começou a trabalhar na segunda indústria de "waferboard" no mundo, que desenvolveu a Waferboard Corporation Ltd. Esta indústria, baseada nos princípios de Moeltner, produziu uma chapa de três camadas com partículas de dimensões e espessuras distintamente diferentes nas camadas superficiais e camadas do núcleo, com melhoras no produto resultante, tais como rigidez e resistência à flexão, assim como na estabilidade dimensional.

Acompanhando o exemplo da Waferboard Corporation Ltd. outras indústrias foram construídas na seqüência: Blandin (1973), MacMillan (1975), Weldwood (1975), Great Lakes Paper (1975), Alberta Aspen (1976), Northwood (1979) e Louisiana Pacific (1979). Durante o ano de 1979 pelo menos 12 projetos adicionais de "waferboard" foram anunciados no Canadá e Estados Unidos da América.

Voltando-se para os produtos "waferboards" convencionais da primeira geração, pode-se resumir que as onze indústrias em operação (1980) produzem cerca de 1.250.000 metros cúbicos de "waferboard", as quais, na maioria, são atualmente feitas no Canadá, mas dois-terços são consumidos nos EUA.

Uma boa visualização das indústrias de "waferboards" em operação e em construção, até o ano de 1980, com as suas respectivas capacidades de produção, pode ser visto na Figura a seguir.

A INDÚSTRIA DE "WAFERBOARD" ATUAL E FUTURA



- Fechada, provavelmente provisoriamente
- Indústrias existentes
- Em construção ou anunciada

Indústrias em operação 10/1/80	Capacidade*
MacMillan Bloedel Hudson Bay, Sask.	13,94
MacMillan Bloedel Thunder Bay, Ont.	10,68
Great Lakes Forest Products Ltd. Thunder Bay, Ont.	11,61
Weldwood of Canada Longlac, Ont.	10,22
Weldwood of Canada Slave Lake, Alta. (closed) <sup>1</sup>	8,83
Waferboard Corp. Timmons, Ont.	6,50
Northwood Pulp & Timber Ltd. Chatham, N.B.	14,86

Indústrias em operação 10/1/80 (cont.)	Capacidade
B.C. Forest Products Ltd. (Blandin Wood Products) Grand Rapids, Minn.	8,83
Louisiana-Pacific Corp. Hayward, Wisc.	12,08
Georgia-Pacific Corp. Woodland, Maine	15,33
<b>CAPACIDADE TOTAL</b>	<b>112,88</b>

Indústrias em construção ou planejadas	Capacidade*
Weldwood of Canada Slave Lake, Alta. <sup>1</sup>	2,32
Potlatch Corp. Hibbing, Minn. (OSB)	13,94
Potlatch Corp. Bemidji, Minn. (OSB)	13,94
B.C. Forest Products Ltd. (Blandin Wood Products) Grand Rapids, Minn. <sup>2</sup>	13,94
Northwood Pulp & Timber Ltd. Bemidji, Minn.	14,86
Normick Perron, Inc. La Sarre, Que.	6,97
Millet Ltd. Trois Rivers, Que.	9,29
La Freniere Chableau, Ont.	9,29
Georgia-Pacific Corp. Dudley, N.C. <sup>3</sup>	18,58
Elmendorf Board Corp. Clermont, N.H. (OSB)	7,06
Weyerhaeuser Corp. Grayling, Mich. (OSB)	19,97
Diamond International Maine	11,15-13,94
Louisiana-Pacific Corp. Maine	planejada
B.H. Development Corp. Hill City, S. Dak.	9,29
Great Northern Co. Maine	adiada
<b>TOTAL ADICIONAL</b>	
<b>CAPACIDADE DE "WAFERBOARD"</b>	<b>77,11</b>
<b>TOTAL PLANEJADO</b>	
<b>CAPACIDADE DE "OSB" <sup>4</sup></b>	<b>73,49</b>

\* Em milhões de metros quadrados (base 0,95 cm).

<sup>1</sup> Weldwood do Canadá está remodelando e expandindo esta indústria.

<sup>2</sup> Reflete a expansão planejada.

<sup>3</sup> Georgia-Pacific está produzindo "com-ply" nesta indústria, um painel composto com o núcleo orientado entre faces de lâminas.

<sup>4</sup> Total incluindo várias indústrias capazes de produzir compostos com faces laminadas e outros tipos de painéis.

## 1 INTRODUÇÃO

As chapas de partículas, de maneira geral, são definidas como o produto de aglutinação de pequenas partículas de madeira, normalmente com o uso de resinas sintéticas, sob pressão e temperatura por um determinado tempo.

Neste trabalho foi fabricado um tipo especial de chapa de partículas conhecido como "waferboard". Este produto caracteriza-se pela utilização de partículas consideradas grandes (estas partículas possuem dimensões intermediárias, entre os cavacos e flocos especificados na tabela de elementos primários da madeira, publicada por MARRA *et alii*<sup>21</sup>), quando comparadas com os processos convencionais, com comprimento e espessura controlados, e o adesivo fenol-formaldeído. Esse aumento nas dimensões das partículas e o emprego de um adesivo resistente à água, tem possibilitado melhoras substanciais em resistência tanto mecânica como à umidade. Essa elevação de qualidade tem chegado a tal ponto, que este tipo de chapa está ocupando espaços no mercado dos EUA e Canadá, onde até a poucos anos só eram utilizados compensados e madeira serrada, como material estrutural\*. A resistência das chapas "wafers" situa-se, na maioria das vezes, em torno dos valores médios

\* Termo empregado para materiais que devem apresentar resistências mecânicas suficientes para suportar cargas quando em uso.

das resistências entre o sentido transversal e paralelo à grã encontrados para compensados, considerando-se a mesma espessura de chapa. Esta deficiência porém, poderá ser corrigida com um aumento relativamente pequeno na espessura da chapa, somando-se ainda a vantagem que esta resistência é igualmente distribuída por toda a chapa. Outro aspecto importante a ser observado é a variabilidade que se pode obter em termos das dimensões finais do produto, o que não acontece com o compensado.

Um fator que merece destaque é aquele relacionado aos custos do produto final. Aqui, mais uma vez as chapas "wafers" apresentam-se favoráveis em relação ao compensado. Pois, apesar do custo da resina fenólica ser relativamente elevado, os níveis empregados na fabricação dessas chapas são considerados baixos, devido ao aumento na dimensão das partículas e o conseqüente diminuição na área superficial específica. Por outro lado, as fontes de matéria-prima são as mais variadas possíveis, compreendendo resíduos de serraria e exploração florestal, árvores provenientes de desbastes e espécies de baixo valor comercial, de maneira geral. Por estas fontes serem de características impróprias para a maioria dos usos na indústria florestal, tornam-se pouco competitivas, o que possibilita custos bastante acessíveis. Adicionalmente, os custos de transporte são amenizados, uma vez que boa parte dessa matéria prima já se encontra na indústria, no caso de resíduos, e a parte, proveniente de árvores de baixo valor comercial, normalmente podem ser encontrada próxima às indústrias. O mesmo não acontece com a indústria de madeira serrada e compensados, pois estas indústrias necessitam de madeira de

boa qualidade, já bastante escassa e distantes da indústria.

Pelas razões expostas acima, as chapas "wafers" estão tendo boa aceitação nos mercados dos EUA e do Canadá, onde normalmente são utilizadas como material estrutural ou semi-estrutural. A sua maior aplicação tem sido na indústria da construção civil, para inúmeras finalidades como assoalho, cobertura de tetos, forros, revestimento de paredes tanto interior como exterior, etc. Graças a esse desempenho, as pesquisas em torno dessas chapas tem aumentado muito nos últimos anos e boa parte dos tecnologistas da madeira, na América do Norte, estão otimistas quanto ao desenvolvimento futuro deste produto.

No Brasil, este tipo de chapa ainda não é fabricado, existindo somente as chapas convencionais usualmente denominadas de "aglomerados". Por esta razão, procurou-se elaborar este trabalho com o propósito de fornecer subsídios técnico-científico e procurar chamar a atenção para os possíveis benefícios que as chapas "wafers" poderão trazer ao País, tanto na indústria da construção civil como na indústria moveleira, entre outras.

### 1.1 OBJETIVOS

Este trabalho foi desenvolvido com os seguintes objetivos:

- Estudar a viabilidade da utilização de três espécies de *Pinus*, *P. taeda*, *P. elliottii* e *P. patula*, com 17 anos de idade e ocorrência no sul do Brasil, para a fabricação de chapas de partícula "waferboards".

Determinar as propriedades físicas e mecânicas das chapas produzidas, para dois níveis de resina fenol-formaldeído (4 e 8 por cento - peso/peso) e dois níveis de densidade de chapa (0,60 e 0,75 g/cm<sup>3</sup>).

- Estabelecer as melhores combinações entre as variáveis acima mencionadas, espécie, nível de resina e densidade de chapa.

- Produzir chapas de partículas com valores de resistência elevados e possíveis aplicações estruturais.

- Analisar comparativamente os resultados obtidos com os valores estabelecidos pela norma comercial americana CS 236-66 para chapas de partícula.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1 MÓDULO DE RUPTURA E ELASTICIDADE

O módulo de ruptura (MOR) e o módulo de elasticidade de (MOE) são dois parâmetros normalmente determinados no teste de flexão estática. Estes valores são de grande importância, pois dão uma boa idéia da resistência do material, constituindo-se na prática, de grande aplicação na classificação de materiais.

MALONEY<sup>20</sup> define o MOR como a resistência limite do produto sob teste e o MOE como a dureza do material.

A influência da densidade da chapa sobre o MOE e o MOR é bem definida na literatura. STEWART & LEHMANN<sup>18</sup> em seu trabalho sobre chapas de flocos feitos a partir de quatro espécies de folhosas, observou que o MOR e o MOE aumentaram linearmente com o aumento da densidade de chapa, e que para espécies de madeira mais densas, mais baixos serão o MOR e o MOE em relação as menos densas. A partir da análise de regressão observou-se que para uma densidade de chapa de  $0,64 \text{ g/cm}^3$  e densidade da espécie de  $0,45 \text{ g/cm}^3$ , uma alteração de  $0,016 \text{ g/cm}^3$  na densidade de chapa produziu 4,7 e 5,4 por cento de alteração no MOE e MOR, enquanto uma alteração equivalente na densidade da espécie produziu 1,3 e 1,1 por cento de decréscimo no MOE e MOR. Segundo RICE & CAREY<sup>26</sup>, os valores mais altos de MOR e MOE foram obtidos com o aumento da densidade de

chapa, entretanto, não verificou nenhuma tendência clara de dependência sobre a densidade da madeira. Mas, que pareceu existir uma leve tendência do MOR e MOE decrescerem com o aumento da densidade da madeira. Ainda segundo este mesmo autor, isto está de acordo com o conceito de razão de compactação (densidade superficial da chapa/densidade total da chapa) mais alta levando à maior densificação superficial. LARMORE<sup>15</sup> verificou que a densidade da madeira utilizada na fabricação das chapas influenciou o MOE. A madeira com densidade mais baixa, possibilitou um valor mais alto para o MOE. Chapas de alta densidade tiveram valores mais altos de MOE do que as de baixa densidade. Um aumento no MOE com a diminuição da densidade da madeira foi observado por KEINERT<sup>14</sup> quando utilizou espécies de *Eucalyptus* com densidades de 0,50 e 0,59 g/cm<sup>3</sup>. Observou ainda que o MOE e o MOR aumentaram quando a densidade de chapa foi aumentada. HSE<sup>12</sup> produziu chapas de flocos de 9 espécies de folhosas encontradas em sítios de *Pinus* no sul dos EUA. Neste trabalho notou que o MOR aumentou com a densidade de chapa e diferiu significativamente com a espécie de madeira utilizada. O efeito da espécie, foi principalmente, devido à grande variação na densidade da madeira. Espécies de baixa densidade permitiram a inclusão de um grande volume de flocos de madeira na chapa, resultando em ganho de resistência pelos flocos adicionais e pelo melhor contato entre os mesmos. Segundo este mesmo autor, o efeito da densidade da chapa e da madeira pode ser melhor expressado pela razão de compressão (razão entre a densidade da chapa e a densidade da madeira). Tanto o MOR como o MOE aumentaram proporcionalmente ao aumento da razão de compressão. VITAL et alii<sup>30</sup>, por sua vez, verificaram que o MOR e o MOE aumentaram linear-

mente com o aumento na densidade de chapa e da madeira. Chapas com a mesma densidade tiveram MOR e MOE mais altos para razão de compressão mais alta do que para chapas com razão de compressão mais baixa. LEHMANN & SCHAFFER<sup>19</sup> observaram que uma alteração unitária na densidade do painel resultou em uma alteração de  $14 \text{ kg/cm}^2$  no MOR e  $1750 \text{ kg/cm}^2$  no MOE, de maneira diretamente proporcional. A elevação das propriedades de resistência em MOR e MOE com o aumento da densidade de chapa, pode ainda, ser verificada em vários trabalhos (GATCHELL et alii<sup>8</sup>, VITAL & WILSON<sup>31</sup>, LEHMANN<sup>18</sup>, SOBRAL<sup>27</sup>, CRUZ<sup>6</sup>, SUCHSLAND<sup>29-30</sup>).

Outro fator que exerce influência relativamente marcante nas propriedades finais de chapas de partícula é a quantidade e tipo de resina utilizada. BURROWS<sup>4</sup> estudou a influência de alguns fatores sobre a eficiência da resina em chapas de flocos. Ele observou que o MOR foi sensível ao conteúdo de resina. Um aumento no conteúdo de resina de 2 para 6 por cento resultou num aumento do MOR. POST<sup>24</sup> por sua vez, encontrou apenas um pequeno efeito do nível de resina sobre o MOR. KEINERT<sup>14</sup> avaliou as propriedades de quatro tipos de chapas de partículas. Observou que, quando o nível de resina foi aumentado de 4 para 8 por cento, o MOE aumentou significativamente ao nível de 1 por cento de probabilidade para chapas "wafer" e de fibra. O mesmo não aconteceu para chapas de flocos e "sliver". PRICE & LEHMANN<sup>25</sup> analisaram as propriedades de chapas feitas de espécies com baixa e alta densidades. Verificaram no primeiro caso, que aumentando o conteúdo de resina de 5 para 8 por cento, o MOR aumentou em média de 15 por cento para uma razão de compressão mais baixa e 10 por cento para

\* Sliver - partículas de madeira, quadradas ou retangulares, com comprimento, no sentido da grã, sendo igual ou superior a quatro vezes a espessura (KEINERT<sup>14</sup>).

uma razão de compressão mais alta. Um aumento do conteúdo de resina nas chapas não aumentou o MOE médio tanto quanto o MOR médio. O aumento no MOE foi de 7,4 por cento e o aumento no MOR foi de 12 por cento. Quando as chapas foram feitas de espécies de alta densidade, o aumento do conteúdo de resina de 5 para 8 por cento resultou em um aumento do MOR de 18 por cento. Ainda segundo PRICE & LEHMANN<sup>25</sup>, o conteúdo de resina afetou significativamente o MOE, mas os painéis com o conteúdo de resina de 8 por cento também foram mais densos do que aqueles com 5 por cento de resina. As chapas com alto conteúdo de resina tiveram um módulo específico (MOE/densidade) 8 por cento mais alto do que painéis com baixo conteúdo de resina. HSE<sup>13</sup> avaliou painéis de folhosas com variações no conteúdo de resina de 2, 4, 6, 8 e 10 por cento. Todas as propriedades de resistência aumentaram substancialmente quando o conteúdo de resina aumentou de 2 para 8 por cento; quando o conteúdo de resina aumentou de 8 para 10 por cento, o MOR e o MOE aumentaram apenas levemente.

A influência do conteúdo de resina sobre as propriedades das chapas ainda pode ser verificada nos trabalhos desenvolvidos por RICE & CAREY<sup>26</sup>, LEHMANN<sup>17</sup>, CRUZ<sup>6</sup>, POST<sup>23</sup>, MOSLEMI<sup>21</sup>, HAYGREEN & GERJEJANSEN<sup>10</sup>.

## 2.2 INCHAMENTO EM ESPESSURA E ABSORÇÃO DE ÁGUA

As chapas de partículas quando expostas à umidade sofrem grandes alterações, destacando-se entre elas o inchamento em espessura. A magnitude dessa propriedade tem sido um fator limitante na utilização desse produto. Por esta razão, grandes esforços têm sido desprendidos com o intuito de sanar esse problema ou pelo menos minimizá-lo.

HALLIGAN & SCHNIEWIND<sup>9</sup> testaram chapas de 1,60 cm com vários pesos específicos e conteúdos de resina, preparadas com flocos de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco (Douglas Fir). O inchamento foi medido após a acondicionamento a 13 - 97% de UR. O inchamento em espessura aumentou com o aumento do peso específico e decresceu com o aumento do conteúdo de resina, tanto para uréia formol como fenol formaldeído. Resultados semelhantes foram observados por RICE & CAREY<sup>26</sup>, onde chapas com 9% de resina fenólica incharam menos do que aquelas com 6%, e a diferença aumentou com a continuidade de imersão. Já o inchamento mais alto associado com chapas mais densas, pareceu ser atenuado com o prolongamento da imersão, aumentando mais ainda para o conteúdo de resina mais baixo (6%). STEWART & LEHMANN<sup>30</sup> utilizando flocos de 4 espécies de folhosas, verificaram ocorrência de uma interação entre a densidade da espécie e a densidade do painel. LEHMANN<sup>17</sup> estudou a influência da umidade sobre as propriedades dimensionais de vários tipos de chapas. Para isto utilizou os testes de imersão sob vácuo e pressão (OD-VPS), exposição a umidades relativas de 30, 50 e 90% e imersão em água durante 24 horas e 30 dias. Verificou que a estabilidade em espessura, em todos os testes de exposição à umidade foi primariamente dependente do conteúdo de resina. As chapas com maior conteúdo de resina foram mais estáveis. Observou ainda que as chapas de maior densidade quando comparadas com as de menor densidade exibiram menor inchamento e absorção de água no teste de imersão em água por 24 horas e incharam mais nos testes de imersão em água por 30 dias e imersão sob vácuo e pressão. Isto era esperado uma vez que a taxa de difusão mais baixa no material

de densidade mais alta não permitir atingir a umidade de equilíbrio no teste de imersão por 24 horas. Entretanto, nenhum efeito significativo estatisticamente foi estabelecido entre a densidade de chapa e o inchamento em espessura. Da mesma forma que LEHMANN<sup>17</sup>. RICE & CAREY<sup>27</sup> encontraram uma tendência geral de redução em inchamento quando aumentou o conteúdo de resina. Porém, o mesmo não pode ser dito com relação à densidade do painel. Eles notaram que chapas de densidade mais alta geralmente incham mais para conteúdos de resina de baixo a médio, ou seja, 4 a 6,5%. Outro trabalho foi desenvolvido por LEHMANN<sup>18</sup> com o objetivo de estudar a estabilidade dimensional em chapas de flocos. Parte das chapas foi exposta a umidades relativas variando entre 30 e 90% e a outra parte foi imersa em água sob vácuo e pressão. Ele concluiu que a densidade da chapa e o conteúdo de resina não tiveram efeito sobre a estabilidade do painel até 80% de UR. Entre 80 e 90% de UR, ocorreu uma grande alteração no inchamento em espessura, especialmente para o conteúdo de resina de 2%, enquanto que 4 e 8% de resina forneceram maior estabilidade. A densidade do painel não teve efeito para este nível de umidade. Em contraste com a exposição à UR tanto a densidade como o conteúdo de resina afetaram a estabilidade dimensional na imersão sob vácuo e pressão (OD-VPS). Inchamentos menores foram obtidos com 8% de resina e ligeiramente maiores para 4%. Um grande acréscimo foi evidente para 2% de resina. Chapas com alta densidade e 2% de resina tiveram pouca estabilidade enquanto que para 4 e 8% a densidade não teve efeito. Uma variação na espessura de 6 a 11% foi verificada por LARMORE<sup>15</sup> quando submeteu chapas de partículas a uma temperatura de 27°C e 80% UR, em

seguida recondicionando na mesma temperatura a uma umidade relativa de 30%. Ele notou uma sensível redução na espessura para os níveis de resina mais altos. Nenhuma relação aparente foi observada entre a densidade da madeira e a espessura da chapa. KEINERT<sup>14</sup> trabalhou com vários tipos de chapas de partícula a partir de *Eucalyptus*. Segundo ele, não houve nenhuma relação clara entre inchamento em espessura e densidade de chapa, assim como para a densidade das espécies. Em geral o inchamento em espessura decresceu quando o nível de resina foi aumentado. O mesmo resultado foi encontrado por SOBRAL<sup>29</sup> com relação à densidade do painel, utilizando o teste de imersão em água por 24 horas. PRICE & LEHMANN<sup>26</sup> observaram que aumentando o conteúdo de resina (3%) para chapas de baixa densidade, houve um decréscimo no inchamento em espessura de 2,7, 4,0 e 7,6% para os testes de UR de 30 a 90%, imersão em água por 24 horas, e imersão sob vácuo e pressão (OD-VPS), respectivamente. Para chapas de alta densidade, a redução no inchamento foi de 2,9; 4,1 e 10% para os testes acima na mesma ordem. Como pode ser visto até agora, são vários os testes utilizados para a determinação do inchamento em espessura de chapas de partículas. Os resultados variam de acordo com o teste utilizado. Isto pode ser verificado mais uma vez no trabalho de HSE<sup>12</sup>. Ele utilizou o teste de umidade relativa variando de 50 a 90% (UR), o teste de ebulição por 5 horas e o teste de imersão sob vácuo e pressão (OD-VPS). O teste de ebulição consistentemente resultou no maior inchamento em espessura, seguido pelo teste de imersão sob vácuo e pressão e finalmente a UR de 50 a 90%. Nos testes de ebulição e imersão, o inchamento em espessura aumentou para todas as espécies utili-

zadas quando a densidade do painel aumentou. No teste de UR de 50-90%, foi pouca a diferença na estabilidade em espessura entre as densidades dos painéis de 0,63 e 0,71 g/cm<sup>3</sup>. O inchamento em espessura aumentou ligeiramente quando a densidade do painel aumentou. Para verificar a estabilidade dimensional de chapas de partícula de folhosas exóticas VITAL *et alii*<sup>34</sup> utilizaram o teste de UR variando de 30-90%, 50 a 90% e imersão em água por 24 horas. Segundo eles, nenhuma relação linear foi estabelecida entre inchamento em espessura e a densidade de chapa. Quando cada tipo de chapa foi considerado separadamente, a densidade teve algum efeito sobre a quantidade de inchamento, mas que a relação pareceu estar intimamente relacionada à espécie e não foi constante de teste para teste. Quando a mesma espécie foi considerada, ainda segundo VITAL, um aumento na densidade de chapa causou um decréscimo no inchamento em espessura e para todas as combinações de espécies, a razão de compactação mais alta (1,6) fez com que houvesse uma menor absorção de água do que para a razão de compactação mais baixa (1,2). ROFFOEL & RAUCH<sup>28</sup> estudaram o inchamento em espessura de chapas de partículas com densidades variando de 0,51 a 0,94 g/cm<sup>3</sup>, utilizando o teste de imersão em água em uma temperatura de 20°C. Eles observaram um decréscimo em absorção mas um aumento em inchamento em espessura quando a densidade de chapa aumentou. SUCHSLAND<sup>33</sup>, determinou o inchamento em espessura de dez chapas de partículas comerciais sob ciclos de umidade relativa e imersão em água, onde estabeleceu nenhuma correlação entre densidade de chapa e inchamento em espessura. Segundo ele, a taxa de inchamento

em espessura foi inicialmente menor do que a taxa de absorção de água, o que indica o inchamento interno. Quando o conteúdo de umidade aumentou, a taxa de inchamento foi maior do que a taxa de absorção de água, o que foi atribuído às rupturas internas das camadas menos densas do núcleo.

Até agora o inchamento tem sido considerado de uma maneira global. Entretanto, alguns autores estudaram o inchamento de acordo com as fontes causadoras, ou seja, o inchamento devido à própria estrutura da madeira, também conhecido como inchamento reversível ou recuperável, e o inchamento devido à liberação de tensões de prensagem, usualmente denominado de inchamento irreversível ou irrecuperável. Testes cíclicos realizados por BROWN *et alii*<sup>3</sup> com chapas de flocos de *Pinus virginiana* e *Pinus ponderosa* e com chapas de fibras de Douglas fir (*Pseudotsuga menziesii*) indicaram que impregnando o material com fenol formaldeído e, em menor grau, com um polímero termoplástico, reduziu e em alguns casos eliminou o inchamento irreversível e reduziu o inchamento reversível. Segundo ele, o grau de cada tipo de inchamento é afetado pela densidade e pelo tipo de adesivo e que um aumento na densidade é normalmente associado com um aumento no inchamento total. SUCHSLAND<sup>31</sup> mediu o inchamento reversível e irreversível de chapas de partícula comercial. O inchamento aumentou com a densidade para cada 1 por cento de alteração no conteúdo de umidade.

Analisando os trabalhos expostos, verificá-se claramente que o aumento no conteúdo de resina reduz o inchamento em espessura. Todavia, o efeito da densidade não é tão claro.

Mas de uma maneira geral pareceu prevalecer a tendência do inchamento aumentar com o aumento da densidade de chapa.

### 2.3. EXPANSÃO LINEAR

A alteração dimensional linear comporta-se de maneira semelhante à espessura, embora a magnitude dessa alteração seja consideravelmente menor (MOSLEMI<sup>22</sup>). LEHMANN & HEFTY<sup>16</sup> estudaram estabilidade dimensional de chapas feitas de uma mistura de flocos de *Pseudotsuga menziesii*, utilizando o teste de umidade relativa e imersão em água. Segundo eles, o conteúdo de resina e a densidade da chapa não tiveram nenhum efeito sobre a expansão linear para o teste de umidade relativa variando de 30 a 90%. Contrastando com esses resultados, tanto o conteúdo de resina como a densidade do painel afetaram a expansão linear no teste de imersão sob vácuo e pressão. Para os maiores níveis de resina a estabilidade foi maior. Estabilidade mais baixa ocorreu somente para as chapas de alta densidade com 2% de resina. Em outros trabalhos desenvolvidos por LEHMANN<sup>17-18</sup> foi constatado mais uma vez a eficiência do conteúdo de resina na melhora da estabilidade dimensional. Entretanto, HAYGREEN & GERJEJANSEN<sup>11</sup> notaram ser muito pouco a influência causada pelo aumento do conteúdo de resina sobre as propriedades dimensionais. Para tanto, ele utilizou chapas "wafer" inicialmente com 3 por cento de resina fenólica, acrescentando posteriormente 7 por cento de um impregnante de origem fenólica. Os testes utilizados foram um ciclo de umidade relativa de

50-90 por cento e imersão sob vácuo e pressão. Segundo KEINERT<sup>14</sup>, nenhuma relação clara existiu entre a expansão linear e a densidade de chapa, como também para a densidade das espécies. E que, não houve diferença em expansão linear para os diferentes níveis de resina nas chapas "wafer". No que diz respeito à densidade de chapa, resultados semelhantes aos de KEINERT foram encontrados por SOBRAL<sup>29</sup> e VITAL et al.<sup>34</sup>. PRICE & LEHMANN<sup>26</sup> também não encontraram uma relação definida entre a expansão linear e a razão de compressão das chapas, assim como para o conteúdo de resina. HSE<sup>12</sup>, produziu chapas de flocos a partir de 9 espécies de folhosas. Estudando a estabilidade dimensional verificou que em média, espécies de baixa densidade foram ligeiramente mais estáveis do que aquelas de alta densidade. Chapas de alta densidade expandiram mais do que as de densidade mais baixa. Resultados semelhantes foram obtidos por STEWART & LEHMANN<sup>29</sup> e LARMORE<sup>15</sup>.

De acordo com o exposto acima, pode-se concluir que não há uma relação clara entre as variáveis estudadas e a expansão linear.

#### 2.4 RESISTÊNCIA DA LIGAÇÃO INTERNA

A resistência da ligação interna (LI) tem sido considerada como um dos melhores parâmetros para medir a adesão entre partículas RICE & CAREY<sup>27</sup>. Esta propriedade é considerada por alguns fabricantes como uma medida de qualidade (AKERS<sup>1</sup>) e de quão bem o painel foi colado (MALONEY<sup>20</sup>).

STEWART & LEHMANN<sup>30</sup> produziram chapas de partícula a partir de 4 espécies de folhosas para as quais estudaram as propriedades

de resistência e dimensionais. Segundo estes autores, a ligação interna aumentou com o aumento da densidade do painel, mas não foi relacionada à densidade da espécie. Observando-se os resultados apresentados por RICE & CAREY<sup>27</sup>, verifica-se que tanto a densidade de chapa como o conteúdo de resina influenciaram positivamente na ligação interna. Da mesma forma, LEHMANN<sup>17</sup> obteve um aumento na ligação interna com o aumento do conteúdo de resina. As chapas utilizadas no teste foram feitas de flocos de *Pseudotsuga menziesii*, com três níveis de resina, 3, 6 e 9 por cento. A ligação interna foi semelhante para as duas densidades de chapas empregadas 0,60 g/cm<sup>3</sup> e 0,68 g/cm<sup>3</sup>. RICE & CAREY<sup>27</sup> determinaram a ligação interna para as chapas de *Betula lenta*, *Liquidambar styraciflua*, *Liriodendron tulipifera* e *Tilia heterophylla*, variando a densidade de chapa e o conteúdo de resina. Segundo eles, houve uma tendência geral da ligação interna aumentar com o aumento do conteúdo de resina e densidade de chapa. Entretanto, não foi clara a dependência da ligação interna com relação a densidade da madeira. Vários outros autores obtiveram uma melhora da ligação interna com o aumento do conteúdo de resina (BURROWS<sup>4</sup>, MOSLEMI<sup>22</sup>, GATCHELL et alii<sup>8</sup>, PRICE & LEHMANN<sup>26</sup>). KEINERT<sup>14</sup> estudou vários tipos de chapas utilizando *Eucalyptus grandis* e *E. robusta* com dois níveis de resina uréia, 8 e 12 por cento. Para as chapas "wafer" não foi verificado influência da densidade da madeira bem como do nível de resina. Contudo, houve uma tendência da ligação interna aumentar com o aumento da densidade de chapa. Algumas considerações foram feitas por HSE<sup>13</sup> sobre a ligação interna. Segundo ele, um aumento no conteúdo de resina de 2 para 8 por cento proporcionou um aumento nesta

propriedade. Porém quando o conteúdo de resina aumentou de 8 para 10 por cento a ligação interna decresceu. Sua explicação é que isto se deu devido ao excesso de umidade introduzido pelo conteúdo de resina adicional, resultando em condições inferiores de colagem. O limite mais baixo do conteúdo de resina para produzir uma ligação adequada, segundo HSE, foi em torno de 4 por cento. Ainda de acordo com este autor, a ligação interna para as espécies mais densas foi significativamente mais baixa do que para as outras espécies, o que se deu graças à melhor compactação das espécies menos densas e o maior contato entre flocos. HSE<sup>12</sup> desenvolveu um outro trabalho para determinar as propriedades de chapas de flocos utilizando 9 espécies de folhosas. Neste trabalho ele verificou que a ligação interna aumentou com a densidade do painel. E, da mesma forma que no trabalho anterior, a ligação interna foi significativamente mais baixa para as espécies mais densas. Estes resultados podem ser verificados também nos trabalhos desenvolvidos por SOBRAL<sup>29</sup>, com relação à densidade de chapa e PRICE & LEHMANN<sup>26</sup> com relação à densidade da madeira. HSE<sup>12</sup> observou ainda, que a ligação interna aumentou com o aumento da razão de compressão. Resultados semelhantes foram encontrados por VITAL et al.<sup>34</sup>. Segundo eles a ligação interna geralmente aumentou com o aumento na densidade de chapa. E que as chapas de mesma densidade mas com razão de compressão baixa alcançaram melhor ligação interna do que aquelas de alta razão de compressão. No seu entender, isto pode ser devido ao aumento do esmagamento e danos causados aos flocos para um nível de compressão alto.

Das observações expostas pode-se concluir que houve uma tendência geral da ligação interna aumentar para os maiores níveis de densidade da chapa e conteúdo de resina. Entretanto, para a densidade da madeira a relação normalmente foi inversa, isto é, para as densidades mais altas foram menores os valores de ligação interna.

## 2.5 ARRANCAMENTO DE PARAFUSO

A resistência ao arrancamento de parafuso (RAP) é uma propriedade que não tem sido comumente estudada. Nem por isso ela deixa de ser importante, uma vez que em certas aplicações especiais a RAP torna-se de grande valor (MOLESMI<sup>22</sup>).

Algumas observações foram feitas por POST<sup>25</sup> sobre a RAP em chapas de flocos. Segundo ele somente uma ligeira melhora nesta propriedade pode ser esperada pelo aumento do conteúdo de resina. Da mesma forma, MOSLEMI<sup>22</sup> afirma que a RAP parece ser influenciada de uma maneira positiva pelo aumento do conteúdo de resina. No trabalho desenvolvido por ECKELMAN<sup>7</sup>, a densidade de chapa foi um bom indicador de RAP. AKERS<sup>1</sup> relata também, que a RAP é diretamente relacionada à densidade de chapa. NEBDAL<sup>23</sup>, por sua vez, descreve em seu trabalho que a RAP não foi claramente relacionada à densidade de chapa.

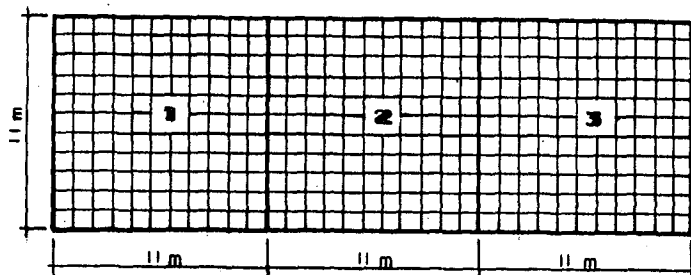
A RAP, de uma maneira geral, tendeu a melhorar com o aumento da densidade de chapa e o conteúdo de resina. Essa tendência, provavelmente ocorreu devido ao melhor contato e união entre as partículas. Entretanto, deve-se ressaltar que esta relação não é muito bem definida na literatura.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERÍSTICAS DO POVOAMENTO

A madeira utilizada neste trabalho foi obtida de árvores do gênero *Pinus*, plantadas em parcelas experimentais no ano de 1965, na Estação de Pesquisas Florestais da Universidade Federal do Paraná, localizada no município de Rio Negro-PR, a 100 km ao sul de Curitiba pela BR-116. O espaçamento inicial foi de 1,00 x 1,00 m, perfazendo um total de 121 árvores para cada parcela. Estas parcelas sofreram sucessivos desbastes, de tal maneira que no período da coleta, restavam cerca de 50% das árvores iniciais. Foram três número de parcelas, sendo uma para cada espécie, ou seja, *Pinus taeda*, *Pinus elliottii* e *Pinus patula*. A disposição das parcelas pode ser vista na Figura 1 abaixo.

FIGURA 1 - ESQUEMA DE INSTALAÇÃO DAS PARCELAS



Parcela 1 - *P. patula*

Parcela 2 - *P. taeda*

Parcela 3 - *P. elliottii*

### 3.2 AMOSTRAGEM E COLETA DO MATERIAL

#### 3.2.1 Matéria prima

A amostragem das árvores foi seletiva, escolhendo-se aquelas com fuste reto e livre de defeitos, uma vez que as parcelas eram de pequenas dimensões e as árvores da bordadura, com características diferentes das demais, serem de grande representatividade. Depois de selecionadas 5 árvores por espécie (número mínimo recomendado pela COPANT - Comissão Panamericana de Normas Técnicas), procedeu-se a derrubada, sendo feito em seguida, medições do comprimento e diâmetro de cada uma. O diâmetro e a altura médias para as três espécies foram de 22,46 cm e 22,64 m, respectivamente. Estas árvores foram seccionadas em toras de 1,30 m de comprimento, sendo codificadas como segue:

- a) a espécie pela letra inicial;
- b) a árvore por algarismos arábicos;
- c) a posição da tora no tronco pelas letras do alfabeto (ver TABELA 1).

De cada árvore foram selecionadas 6 toras, sendo duas da base, duas da parte central e duas do topo. Essa distribuição visou abranger as variações comumente encontradas na madeira em função da sua posição no tronco.

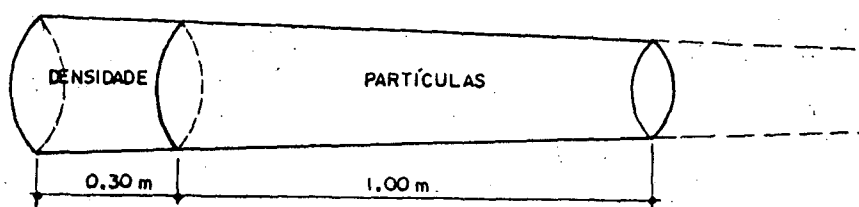
TABELA 1 - CODIFICAÇÃO DAS TORAS

ESPECIE	Nº ÁRVORE	POSIÇÃO NO TRONCO
<i>Pinus taeda</i> (T)	1, 2, ..., 5	A, B, C .....
<i>Pinus elliottii</i> (E)	1, 2, ..., 5	A, B, C .....
<i>Pinus patula</i> (P)	1, 2, ..., 5	A, B, C .....

Em seguida as toras selecionadas foram reduzidas para as dimensões de 0,30 m e 1,00 m, de tal forma que a parte menor, destinada para a determinação da densidade da madeira, ficasse sempre localizada na porção inferior da tora e a parte maior, destinada para a confecção de partículas, localizada na parte superior (Fig. 2).

FIGURA 2 - SECCIONAMENTO DO TRONCO

a. Porção inferior; b. porção superior



sentido base-topo da árvore

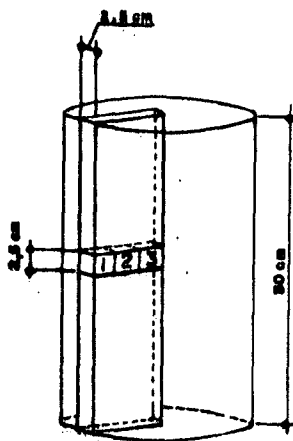
### 3.2.2 Densidade aparente da madeira

A metodologia utilizada para a determinação da densidade aparente teve como objetivo principal abranger, ao máximo, as variações dessa propriedade que são comuns dentro de uma mesma árvore, entre árvores de uma mesma espécie e principalmente, entre espécies distintas. Por essa razão, foram amostradas todas as árvores coletadas para cada uma das espécies, levando-se em consideração as possíveis variações da madeira no sentido longitudinal e transversal do tronco.

Das partes destinadas à obtenção da densidade aparente, descritas no capítulo anterior, foram retiradas pequenas amostras com 2,5 cm de largura e 2,5 cm de espessura, e o comprimento compreendendo toda a extensão casca-medula na tora, que

estava em função do diâmetro destas. Estas amostras foram subdivididas em 3 partes iguais no comprimento, obtendo-se assim os corpos de prova pretendidos (Fig. 3). Foram obtidos 3 corpos de prova por torete, 18 por árvore e 90 por espécie.

FIGURA 3 - CONFECÇÃO DOS CORPOS DE PROVA PARA A DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE DA MADEIRA



Os corpos de prova foram acondicionados em uma sala de aclimação até alcançarem a umidade de equilíbrio de 12%. As condições da sala estavam de acordo com o recomendado pela ASTM, ou seja, umidade relativa de  $65 \pm 1\%$  e temperatura de  $20 \pm 3^{\circ}\text{C}$ .

### 3.3 CÁLCULO DA DENSIDADE

O peso dos corpos de prova foi determinado em uma balança elétrica com precisão de um centésimo de grama. Para a obtenção do volume, tomou-se as dimensões dos corpos de prova com o auxílio de um relógio deflectômetro, com precisão de um centésimo de milímetro. De posse desses dados, determinou-se então a densidade aparente através da seguinte fórmula:

$$D_{(12\%)} = \frac{P_{(12\%)}}{V_{(12\%)}}$$

onde,

$D_{12}$  = densidade aparente ( $\text{g}/\text{cm}^3$ );

$P_{12}$  = peso (g);

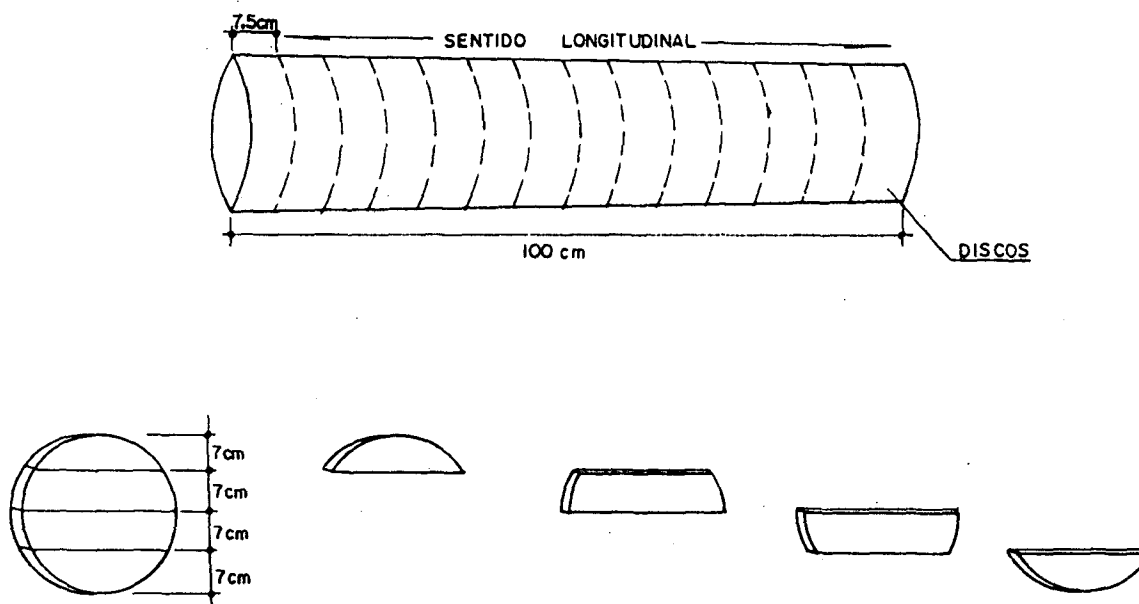
$V_{12}$  = volume ( $\text{cm}^3$ );

$D_{12}$ ,  $P_{12}$  e  $V_{12}$  = determinações obtidas para as amostras da madeira com 12% de umidade de equilíbrio.

### 3.4 FORMAÇÃO DE PARTÍCULAS

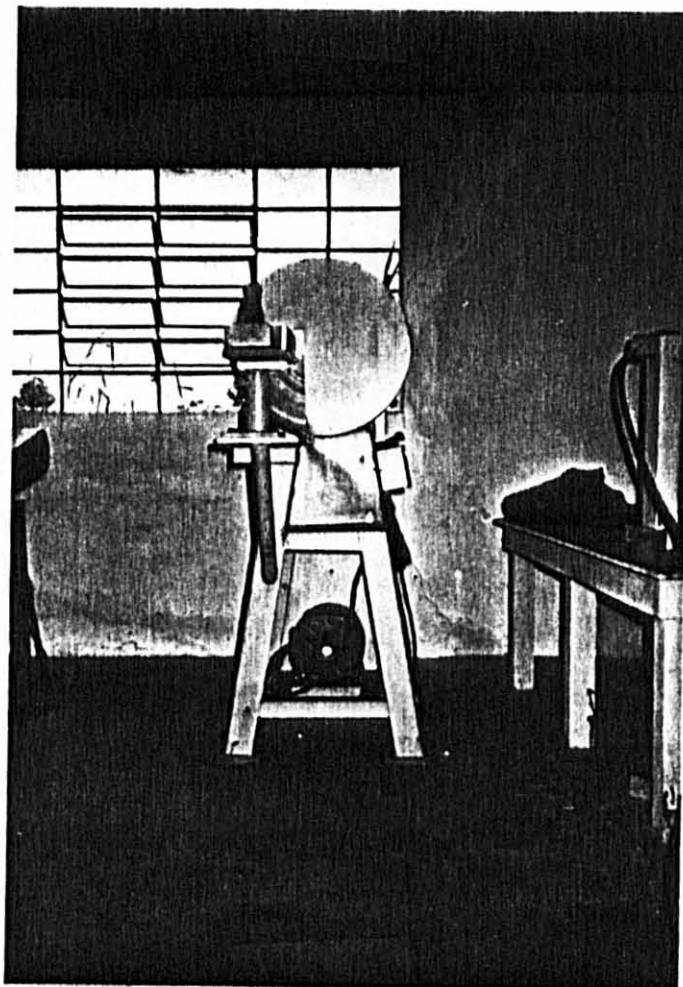
A parte da tora destinada à confecção de partículas foi transformada, em discos de 0,075 m de espessura os quais, posteriormente, foram cortados em distâncias de 0,07 m no sentido da largura. Desta forma produziu-se pequenos blocos com largura e espessura definidos e o comprimento variando em função do diâmetro da tora (Fig. 4).

FIGURA 4 - ESQUEMA DE CONFECÇÃO DOS BLOCOS



Os blocos assim obtidos foram transformados em partículas, em um picador tipo disco, que pode ser visualizado na Figura 5.

FIGURA 5 - FORMADOR DE PARTÍCULAS TIPO DISCO



Neste trabalho foi obtida uma geometria de partículas definida, ou seja, a do tipo "wafers". As dimensões nominais das partículas foram as seguintes: espessura de 0,0762 cm e comprimento de 3,175 cm no sentido da grã. A largura não foi controlada. Uma visualização dessas partículas poderá ser obtida pela Figura 6.

FIGURA 6(a) - VISUALIZAÇÃO DAS PARTÍCULAS COM DETALHES

1. Largura da partícula - sentido transversal à grã
2. Comprimento da partícula - sentido paralelo à grã

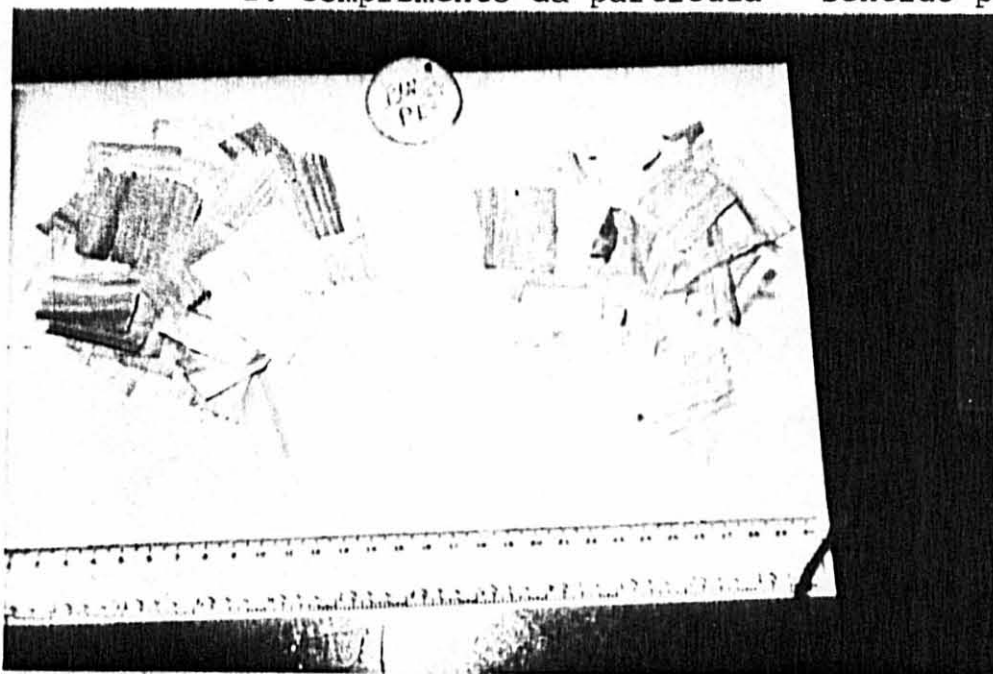
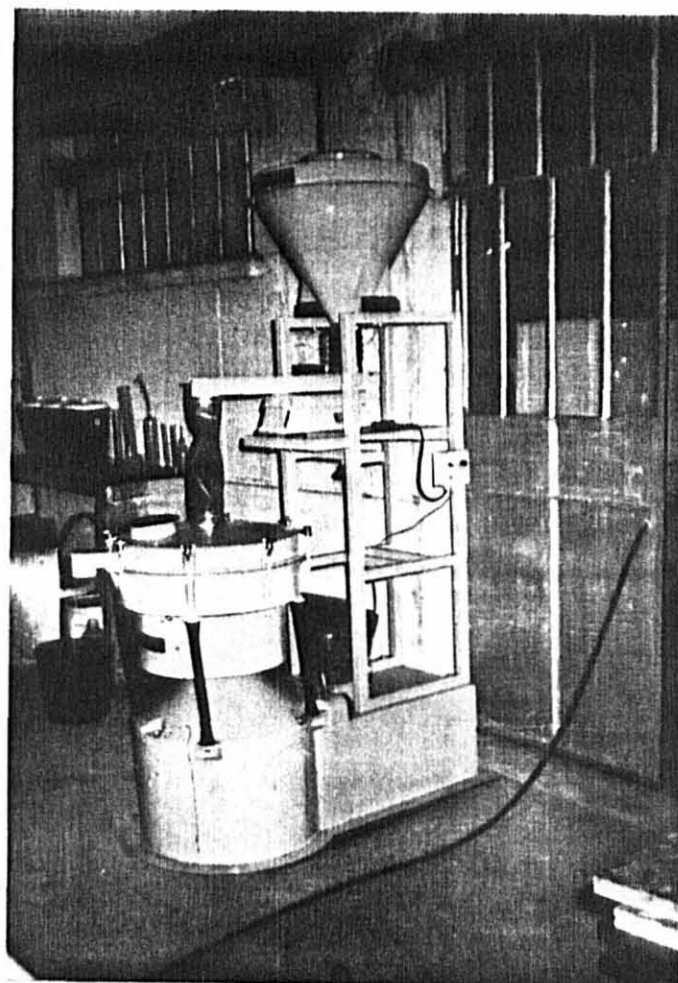


FIGURA 6 (b) - PARTÍCULAS ARMAZENADAS APRESENTANDO COMPRIMENTOS CONSTANTES E LARGURAS VARIÁVEIS



As partículas, depois de confeccionadas, foram classificadas em uma peneira mecânica com malhas de 10 mesh , a fim de eliminar-se os finos (Fig. 7).

FIGURA 7 - PENEIRA MECÂNICA



### 3.5 SECAGEM DAS PARTÍCULAS

Antes da secagem propriamente dita, foi feita uma homogeneização das partículas provenientes de uma mesma espécie (Fig. 8). Em seguida, essas partículas foram colocadas em um cilindro adaptável a uma estufa de secagem convencional, onde procedeu-se a secagem (Fig. 9).

FIGURA 8 - HOMOGENEIZAÇÃO DAS PARTÍCULAS

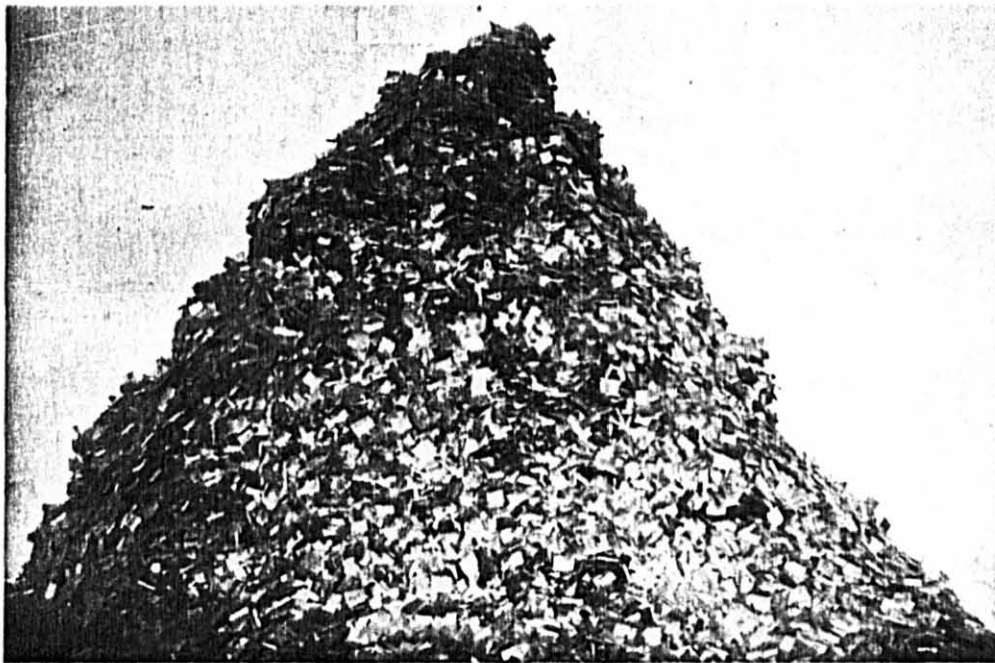
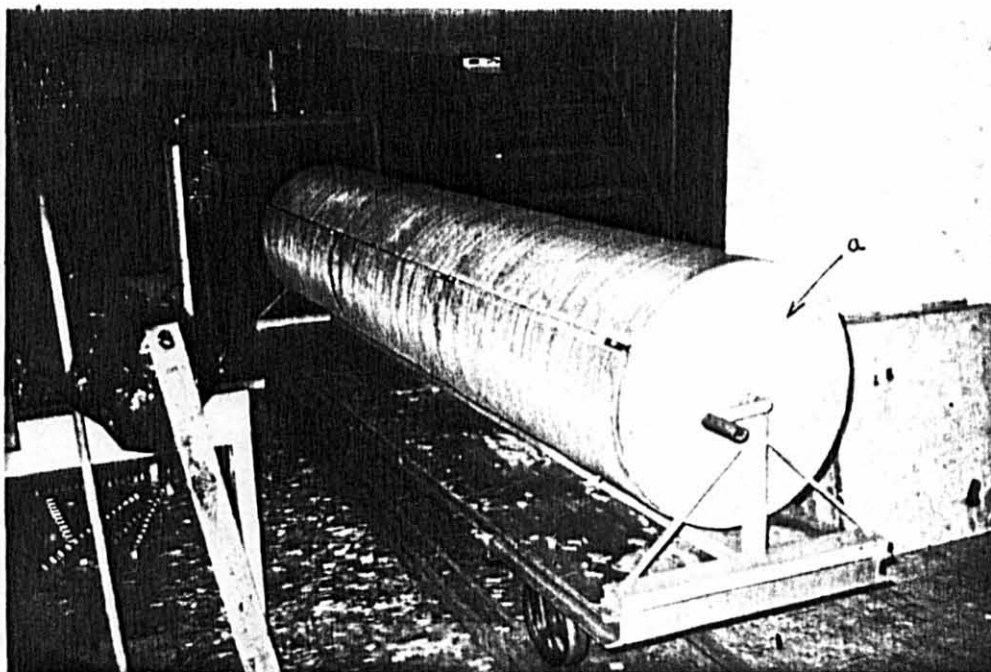


FIGURA 9 - SECAGEM DAS PARTÍCULAS

a. Cilindro contendo as partículas



Em intervalos mais ou menos regulares era executada uma rotação manual no cilindro de forma a misturar as partículas secas das extremidades com aquelas ainda úmidas mais internas. A temperatura utilizada foi constante, de 80°C. O tempo de secagem médio foi de 17 horas, estando em função do teor de umidade das partículas.

### 3.6 DETERMINAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE DAS PARTÍCULAS

O teor de umidade a ser obtido no final da secagem foi de 5%. Para esta determinação foi utilizada uma balança de umidade, à base de luz infra-vermelha (Fig. 10). Amostras de 5 g de partículas eram retiradas, manualmente, e ao acaso, no decorrer da secagem e levadas à balança onde permaneciam até perder toda a umidade e estabilizar-se em peso. Então fazia-se a leitura em uma escala graduada e aplicava-se na seguinte fórmula:

$$P' = \frac{P \times 100}{100 - P}$$

onde,

$P'$  = teor de umidade das partículas (%);

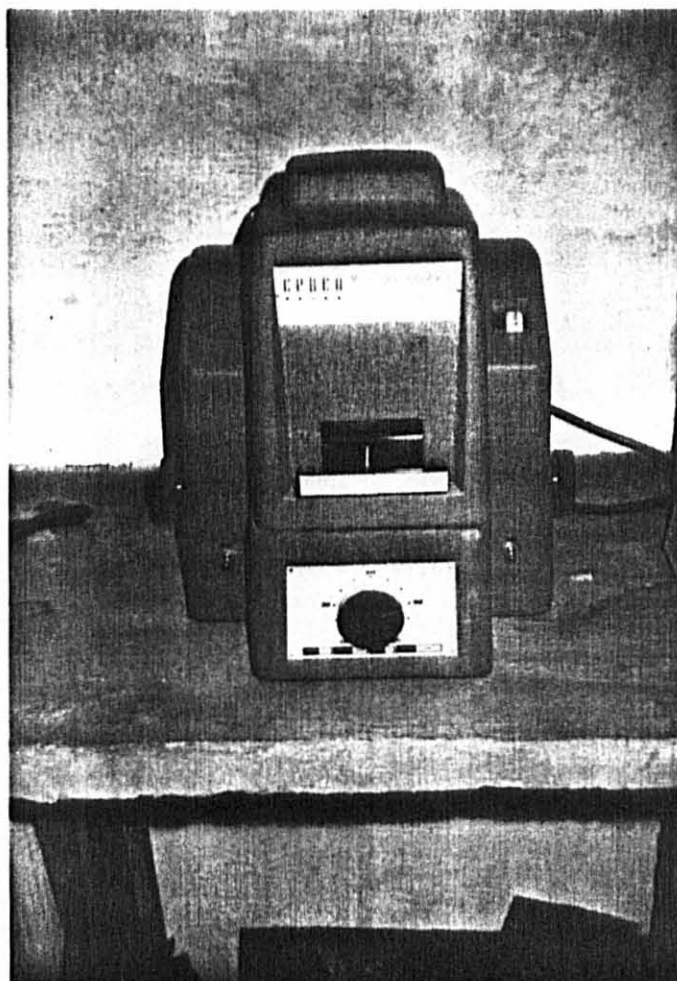
$P$  = peso perdido em relação ao peso unicial (unidades).

### 3.7 ARMAZENAGEM E MEDIÇÃO DAS PARTÍCULAS

Após a secagem, as partículas foram armazenadas em sacos plásticos até o momento da confecção das chapas, para evitar a troca de umidade com o ambiente.

Numa próxima etapa, selecionou-se aleatoriamente 100 partículas de cada espécie que foram devidamente dimensiona-

FIGURA 10 - BALANÇA PARA DETERMINAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE



das. O comprimento e a largura foram determinados com um paquímetro e a espessura com um micrômetro, ambos com precisão de centésimos de milímetro.

### 3.8 MANUFATURA DAS CHAPAS

#### 3.8.1 Quantidade de partículas

A quantidade de partículas a ser utilizada na manufatura das chapas foi determinada em função das densidades das chapas a serem alcançadas e das dimensões das chapas (Tabela 2). Como as partículas estavam com um teor de umidade em torno de 5%, efetuou-se uma correção para a determinação do peso de partículas necessário.

#### 3.8.2 Aplicação de resina

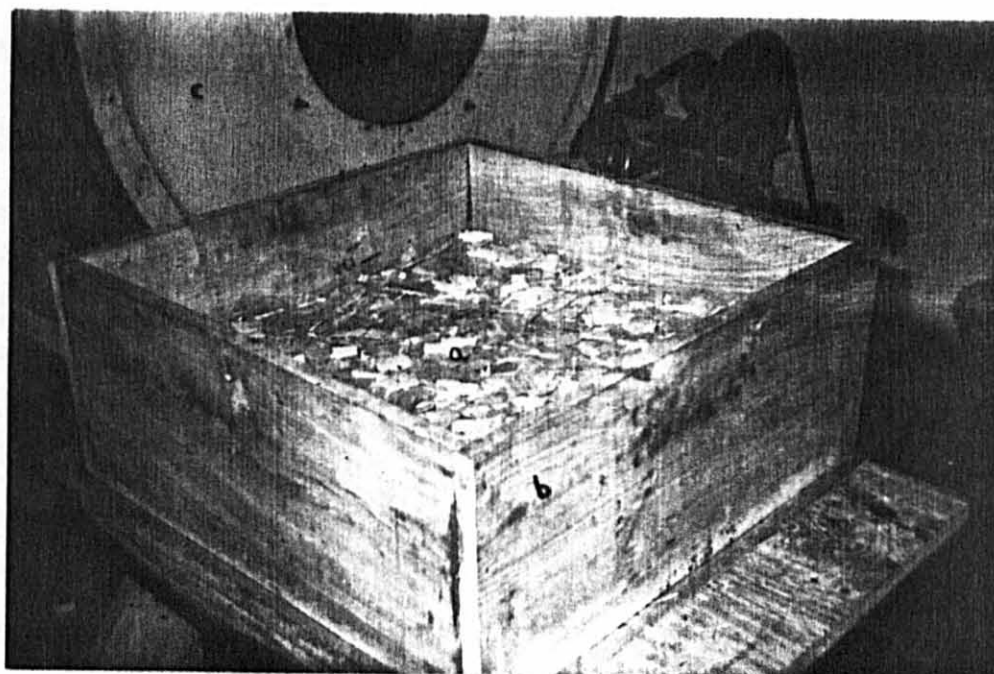
Quantidades apropriadas de partículas foram colocadas em um cilindro rotatório, onde a resina fenólica era aplicada por pulverização de maneira uniforme (Fig. 11). A resina utilizada foi fenol-formaldeído, com 50% de sólidos nos níveis indicados na TABELA 2.

#### 3.8.3 Formação do colchão

As partículas impregnadas de resina foram retiradas manualmente do cilindro e distribuídas, de maneira a mais uniforme possível, em caixas formadoras de 55 x 55 cm, sobrepostas a lâminas de alumínio planas e de superfícies lisas (Fig. 11). Em seguida realizou-se uma pré-prensagem manual para uma melhor acomodação das partículas no colchão. Terminada a pré-prensagem a caixa formadora foi retirada quando

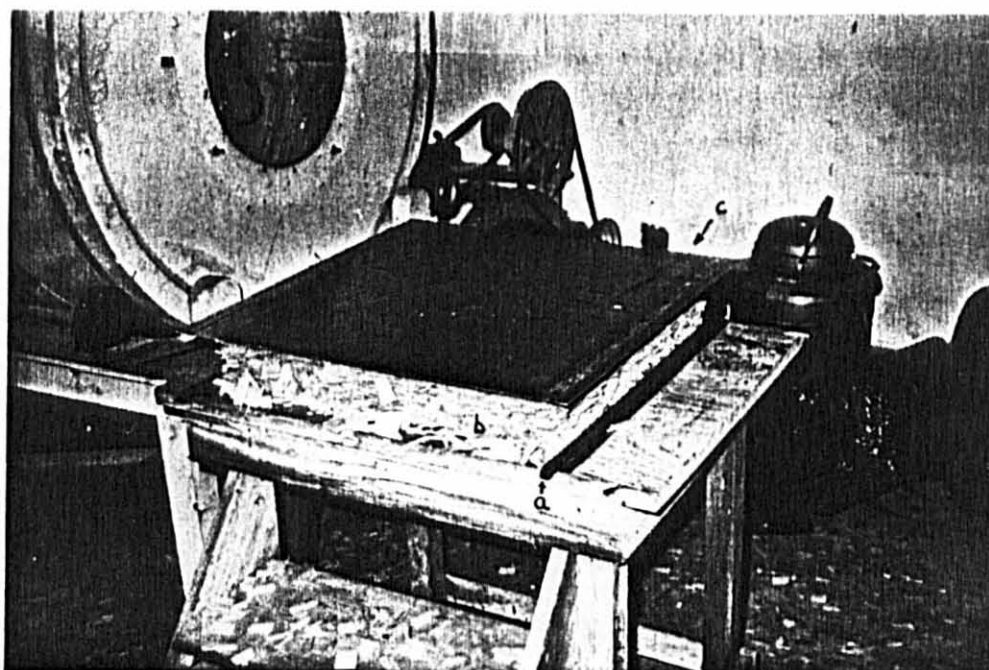
FIGURA 11 - FORMAÇÃO DO COLCHÃO, EM PRIMEIRO PLANO. AO FUNDO  
CILINDRO PARA APLICAÇÃO DE RESINA

a. Colchão de partículas; b. caixa formadora;  
c. cilindro.



então, colocou-se outra lâmina de alumínio sobre o colchão e os espaçadores de 1,3 cm de espessura entre as duas lâminas metálicas (Fig. 12) estando assim, o material, pronto para a prensagem.

FIGURA 12 - DISPOSIÇÃO DAS PLACAS DE ALUMÍNIO E ESPAÇADORES  
a. Espaçadores metálicas; b. colchão de partículas; c. lâminas metálicas.



#### 3.8.4 Prensagem

As chapas foram prensadas a quente com pressão perpendicular à superfície das mesmas. Para isto foi utilizado uma prensa hidráulica, marca Siempelkamp, com uma abertura, ou seja, de dois pratos, sendo o inferior móvel e o superior fixo (FIG. 13). O ciclo de prensagem e as demais variáveis estão contidas na TABELA 2.

Depois de prensadas, as chapas foram aclimatadas em uma sala com temperatura de  $20 \pm 3^{\circ}\text{C}$  e umidade relativa de  $65 \pm 1\%$  (Fig. 14).

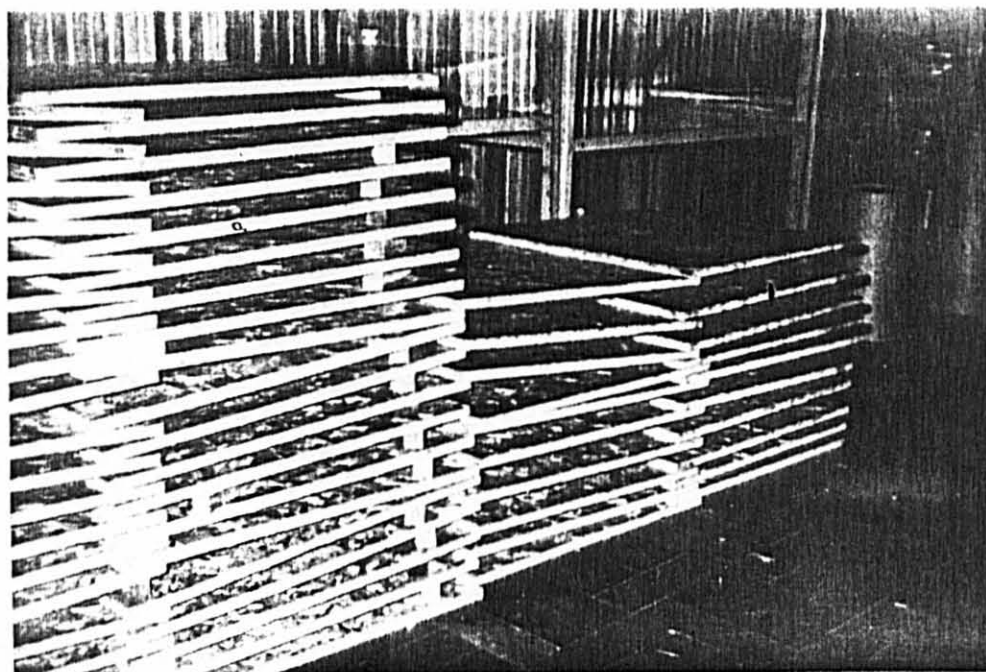
TABELA 2 - DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E DADOS DE MANUFATURA

ESPÉCIES	<i>Pinus taeda</i>		<i>Pinus elliottii</i>		<i>Pinus patula</i>	
Densidades nominais das chapas (g/cm <sup>3</sup> )	0,60	0,75	0,60	0,75	0,60	0,75
Conteúdo de resina (%)	4	8	4	8	4	8
Temperatura dos pratos de prensa (°C)	160		160		160	
Conteúdo de umidade da massa antes da prensagem (%)	13,22		10,83		11,77	
Pressão (Kg/cm <sup>2</sup> )	35		35		35	
Tempo médio do fechamento da prensa (seg.)	1,74		2,33		1,94	
Tempo de prensagem (min.)	7,95		7,83		7,96	
Espessura das chapas (cm)	1,3		1,3		1,3	
Repetições	5		5		5	

FIGURA 13 - PRENSA HIDRÁULICA DE UMA ABERTURA  
a. prato inferior; b. prato superior



FIGURA 14 - SALA DE ACLIMATAÇÃO  
a. Chapas de partículas



### 3.9 AMOSTRAGEM E TESTES DAS CHAPAS

A confecção dos corpos de prova provenientes das chapas de partículas obedeceu ao esquema da Figura 15, cujas dimensões foram aquelas especificadas pelas normas relativas a cada teste, descritas nos capítulos subsequentes. Os corpos de prova, após a confecção, foram acondicionados em uma sala de aclimatação (com  $65 \pm 1\%$  de umidade relativa e  $20 \pm 3^{\circ}\text{C}$  de temperatura) até atingirem o teor de umidade de equilíbrio, quando então foram pesados para posterior determinação da densidade e do conteúdo de umidade.

Neste estudo, as propriedades das chapas foram avaliadas pelos seguintes testes:

- flexão estática (Módulo de ruptura e elasticidade);
- expansão linear;
- absorção de água e inchamento em espessura;
- ligação interna;
- arrancamento de parafuso.

Os testes de natureza mecânica foram realizados em uma máquina universal de teste, dotada de relógio registrador de carga e gráfico analítico.

Os resultados obtidos neste estudo foram comparados aos valores mínimos exigidos pela norma comercial CS 236-66 (Tabela 3).

#### 3.9.1 Flexão estática

No teste de flexão estática foram determinados o módulo de ruptura (MOR) e o módulo de elasticidade (MOE). Os corpos de prova para este fim foram confeccionados segundo a seção 12 da norma ASTM D 1037, perfazendo um total de 240

FIGURA 15 - ESQUEMA DE CONFEÇÃO DOS CORPOS DE PROVA  
( dimensões em cm )

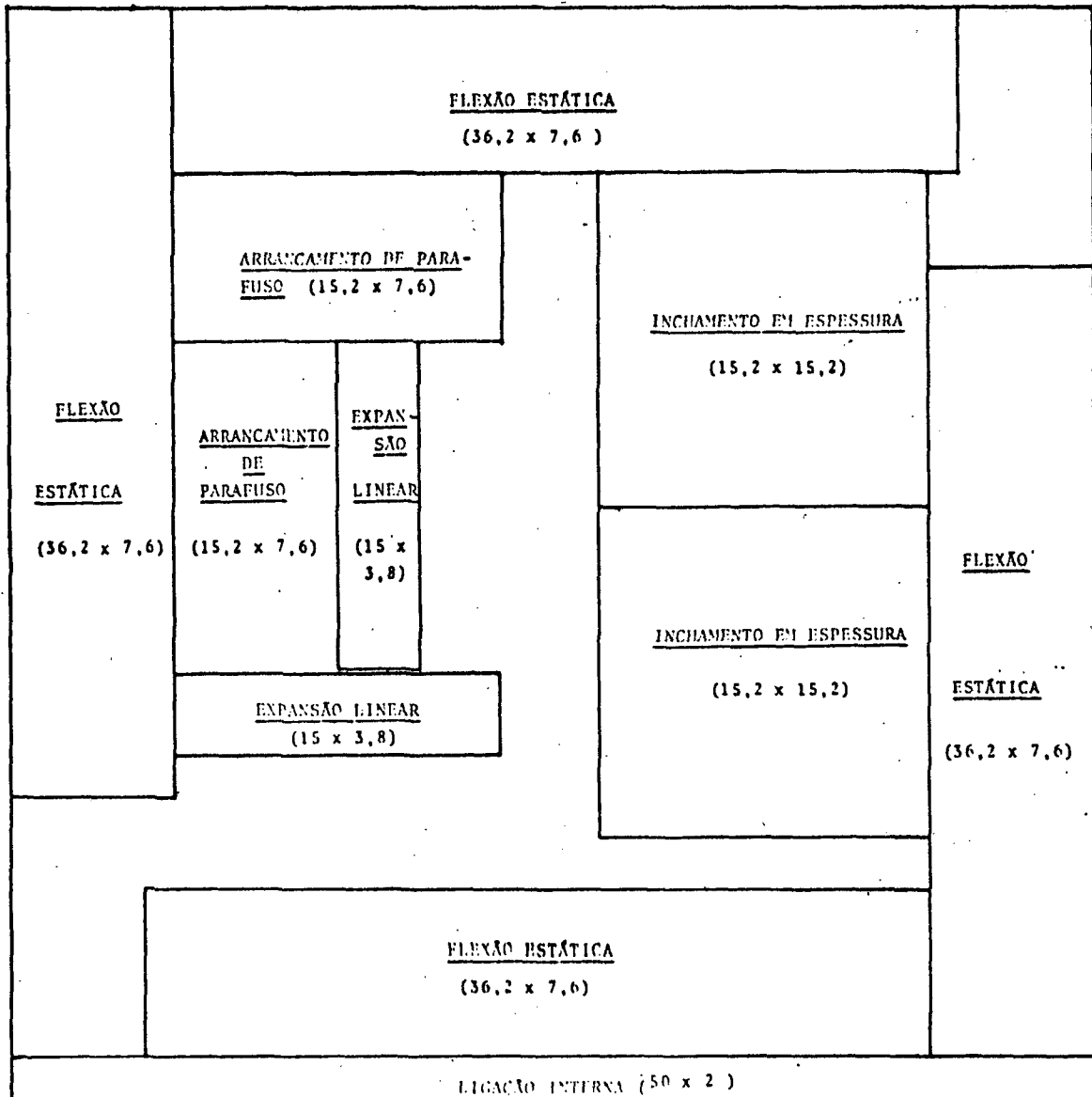


TABELA 3 - PROPRIEADES EXIGIDAS PARA CHAPAS DE PARTÍCULAS

TIPO (USO)	DENSIDADE média min.	CLASSE <sup>3</sup> média min.	MÓDULO DE	MÓDULO DE	LIGAÇÃO	EXPANSÃO	AFRANCAMENTO DE	
			RUPTURA (Kg/cm <sup>2</sup> ) média min.	ELASTICIDADE (Kg/cm <sup>2</sup> ) média min.	INTERNA (Kg/cm <sup>2</sup> ) média min.	(%) média max.	FACE (média min.)	PARAFUSO BORD. (média min.)
1 <sup>1</sup>	A (alta densidade, 0,80 g/cm <sup>3</sup> e acima)	1	168	24500	14	0,55	204,12	-----
		2	238	24500	9,8	0,55	-----	-----
	B (média densidade, entre 0,60 e 0,80 g/cm <sup>3</sup> )	1	112	24500	4,9	0,35	102,06	72,38
		2	168	28000	4,2	0,30	102,06	90,72
	C (baixa densidade, 0,60 g/cm <sup>3</sup> e abai- xo)	1	56	10500	1,4	0,30	56,70	-----
		2	98	17500	2,1	0,30	79,38	-----
2 <sup>2</sup>	A (alta densidade, 0,80 g/cm <sup>3</sup> e acima)	1	168	24500	8,75	0,55	204,12	-----
		2	238	35000	28,0	0,55	226,80	158,76
	B (média densidade, entre 0,60 e 0,80 g/cm <sup>3</sup> )	1	126	17500	4,55	0,35	102,06	72,58
		2	175	31500	4,2	0,25	113,40	90,72

<sup>1</sup> Tipo 1 - Chapa de partícula (geralmente feita com resina uréia-formaldeído) adequada para aplicações interiores.

<sup>2</sup> Tipo 2 - Chapa de partícula feita com resina durável e altamente resistente à umidade e calor (geralmente resina fenólica) adequada para aplicações interiores e certas aplicações exteriores quando assim classificadas.

<sup>3</sup> Classe - classificações de resistência baseadas nas propriedades dos painéis corretamente produzidos.

FONTE: CS 236-66

amostras. Os testes propriamente ditos foram executados segundo as seções 11, 13-18, parágrafos 20.1 e 20.2 da seção 20, da mesma norma.

### 3.9.2 Absorção de água e inchamento em espessura

Neste teste foram determinados a absorção de água, expressa em peso, e o inchamento em espessura, expresso em percentagem. Um total de 120 corpos de prova foram confeccionados segundo a seção 101, e testados segundo as seções 100, 102-106, da ASTM D 1037.

### 3.9.3 Expansão linear

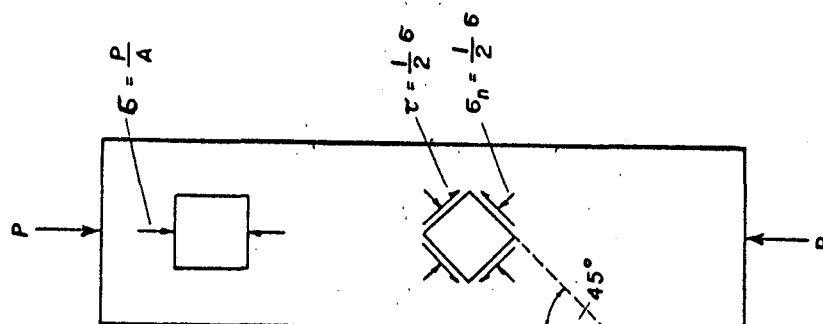
Os corpos de prova foram confeccionados de acordo com a seção 108 da ASTM D 1037, perfazendo um total de 120 amostras. O acondicionamento foi feito inicialmente numa umidade relativa de 47%, utilizando-se solução salina de tiocianato de potássio; posteriormente estes mesmos corpos de prova foram acondicionados em uma umidade relativa de 93%, obtida com solução salina de monoânionio fosfato. As demais condições foram as mesmas estabelecidas pela ASTM D 1037, seções 107, 109, 110.

### 3.9.4 Ligação interna

Para este teste foi retirada uma amostra de 2,5 cm de largura abrangendo toda a extensão de uma das margens de cada chapa amostrada. Essa amostra foi montada posteriormente entre chapas compensadas de 20 milímetros e cortadas de tal maneira, que o plano do seu eixo central ficasse num ângulo de  $45^{\circ}$  (Fig. 16) e fornecesse o cisalhamento máximo

FIGURA 16 - AMOSTRAGEM PARA O TESTE DE LIGAÇÃO INTERNA

A - ORIENTAÇÃO DA TENSÃO DO CISCALHAMENTO MÁXIMA  
NA AMOSTRA SOB COMPRESSÃO



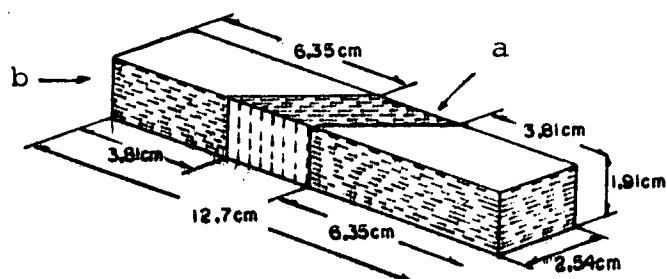
$P$  = carga aplicada

$\sigma$  = tensão

$\tau = \sigma/2$  = tensão de cisalhamento máxima

B - DIMENSÕES DO CORPO DE PROVA PARA O TESTE  
DE COMPRESSÃO

- chapa de partícula a ser testada, com inclinação de  $45^\circ$
- chapa compensada, utilizada como suporte



quando fosse submetido a uma força de compressão. O número total de corpos de prova testados foi de 240.

O método empregado neste trabalho foi desenvolvido por SUCHSLAND<sup>33</sup> e foi utilizado por apresentar uma correlação muito alta ( $r = 0,917$ ) com o teste padrão de ligação interna, como também, por ser bastante prático.

### 3.9.5 Arrancamento de parafuso

Os corpos de prova foram confeccionados de acordo com o parágrafo 6.21 da seção 62 da ASTM D 1937, perfazendo um total de 60 unidades. Como a espessura original da chapa era de 1,3 cm e a norma recomendasse a introdução do parafuso a uma profundidade de 1,7 cm, cada corpo de prova foi composto de duas unidades sobrepostas, atingindo desta maneira, a espessura de 2,6 cm, satisfazendo então as recomendações da norma. O parafuso utilizado foi o de nº 10, com 0,48 cm de diâmetro e 2,53 cm de comprimento. Para a introdução do parafuso, correspondendo a 72% do diâmetro do parafuso. A metodologia utilizada foi a recomendada pelas seções 61, 63, 65-67 da ASTM D 1037.

### 3.10 ANÁLISE ESTATÍSTICA

As condições controladas no processo de fabricação das chapas nesta pesquisa, conforme consta na TABELA 2, foram: três espécies de madeira, duas densidades de chapas e dois níveis de resina fenólica. As demais condições do processo foram mantidas constantes. Uma demonstração mais clara da estrutura experimental pode ser resumida na tabela a seguir:

		DENSIDADE DA CHAPA (g/cm <sup>3</sup> )			
		0,60		0,75	
ESPÉCIE DA MADEIRA	NÍVEL DA RESINA(%)				
	P. Leode				
P. Elliottii					
P. patula					

Desta forma, obteve-se doze tratamentos, com 5 repetições cada.

A densidade das chapas de partículas deve ser mantida padrão para efeito de comparação das diversas propriedades. Porém, é conhecida a dificuldade em encontrá-la com precisão durante o processo de fabricação, e sua variação é decorrência de fatores como a descontinuidade da sua estrutura e os espaços vazios.

Em virtude das variações da densidade expostas acima, houve a necessidade de se ajustar as médias dos tratamentos. A fim de se obter o controle da densidade, foi utilizada uma análise de covariância onde a densidade de cada corpo de prova foi considerada como covariável. As análises de covariância foram feitas comparando-se:

- a) as médias das espécies, 2 a 2, fixando-se os níveis de resina e densidade da chapa;
- b) as médias de cada espécie, fixando os níveis de resina e variando as densidades;
- c) as médias de cada espécie, fixando os níveis de densidade e variando os níveis de resina.

Os testes foram realizados a um nível de 99% de probabilidade. As análises foram efetuadas utilizando-se um computador marca HEWLETT PACKARD-85\*.

\* A citação da marca registrada, não significa endosso pelo pesquisador.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 DENSIDADE DA MADEIRA

A densidade é uma propriedade física bem correlacionada com a maioria das propriedades mecânicas da madeira. Por esta razão, determinou-se as densidades aparentes das três espécies estudadas, relacionadas abaixo, para permitir a determinação das possíveis correlações dessas espécies com as propriedades finais das chapas de partículas.

As densidades médias encontradas para as três espécies de *Pinus* bem como seus respectivos desvios padrões e variâncias estão indicadas na TABELA 4.

TABELA 4 - DENSIDADE MÉDIA DA MADEIRA

ESPÉCIE	$D_m$	$\sigma$	$\sigma^2$
<i>Pinus taeda</i>	0,44	0,068	$4,64 \times 10^{-3}$
<i>Pinus elliottii</i>	0,47	0,050	$2,7 \times 10^{-3}$
<i>Pinus patula</i>	0,42	0,062	$3,83 \times 10^{-3}$

$D_m$  = densidade média ( $g/cm^3$ )

$\sigma$  = desvio padrão

$\sigma^2$  = variância

## 4.2 OBTENÇÃO DE PARTÍCULAS

As dimensões de partículas constam na Tabela 5. Pode-se observar nesta tabela que as dimensões das partículas de *P. taeda* e *P. patula* foram praticamente iguais, enquanto que as de *P. elliottii* foram ligeiramente menores. Uma possível explicação pode estar relacionada com o lenho da madeira. Quando os blocos de madeira eram pressionados contra as facas do picador, notava-se que o lenho tardio de *P. elliottii* oferecia maior resistência ao corte do que as outras espécies, acarretando um certo grau de esfacelamento das partículas, possivelmente por apresentar uma diferença mais acentuada entre a madeira do lenho tardio e juvenil do que as outras espécies.

## 4.3 PROPRIEDADES DAS CHAPAS DE PARTÍCULAS \*

### 4.3.1 Flexão estática

4.3.1.1 Valores reais - no teste de flexão estática verificou-se que um aumento na densidade da chapa acarretou um consequente aumento nos valores do MOE e MOR. Da mesma forma, os conteúdos de resina fenólica mais elevados proporcionaram maiores valores para o MOR, de maneira clara (Fig. 17). Apesar da relação ser semelhante para o MOE, aqui cabe uma consideração especial, qual seja, as chapas provenientes de *P. patula* forneceram valores que se destacaram das demais chapas, de tal forma que mesmo aquelas com 4% de resina foram superiores às de *P. elliottii* e *P. taeda* com 8% de resina (Fig. 18). Isto ocorreu, provavelmente, pelo fato do *P. patula* apresentar

\* Os resultados parciais obtidos nesta pesquisa foram apresentados previamente pelo prof. orientador no I Seminário sobre Processamento e Utilização de Madeiras de Reflorestamento e divulgados na Revista Silvicultura, n. 34, 1984.

TABELA 5 - DIMENSÕES DE PARTÍCULAS

ESPÉCIE	C	$\sigma$	$\sigma^2$
<i>Pinus taeda</i>	3,59	0,46	0,21
<i>Pinus elliottii</i>	3,48	0,57	0,33
<i>P. patula</i>	3,60	0,52	0,28

ESPÉCIE	L	$\sigma$	$\sigma^2$
<i>Pinus taeda</i>	2,05	1,31	1,71
<i>Pinus elliottii</i>	1,57	0,78	0,61
<i>Pinus patula</i>	1,75	1,04	1,09

ESPÉCIE	E	$\sigma$	$\sigma^2$
<i>Pinus taeda</i>	0,53	0,26	0,07
<i>Pinus elliottii</i>	0,45	0,22	0,05
<i>Pinus patula</i>	0,52	0,21	0,04

C = comprimento médio (cm)

L = largura média (cm)

E = espessura média (mm)

$\sigma$  = desvio padrão

$\sigma^2$  = variância

FIGURA 17 - TENDÊNCIAS OBSERVADAS ENTRE A RELAÇÃO MÓDULO DE RUPTURA x DENSIDADE DA CHAPA, PARA DOIS NÍVEIS DE RESINA

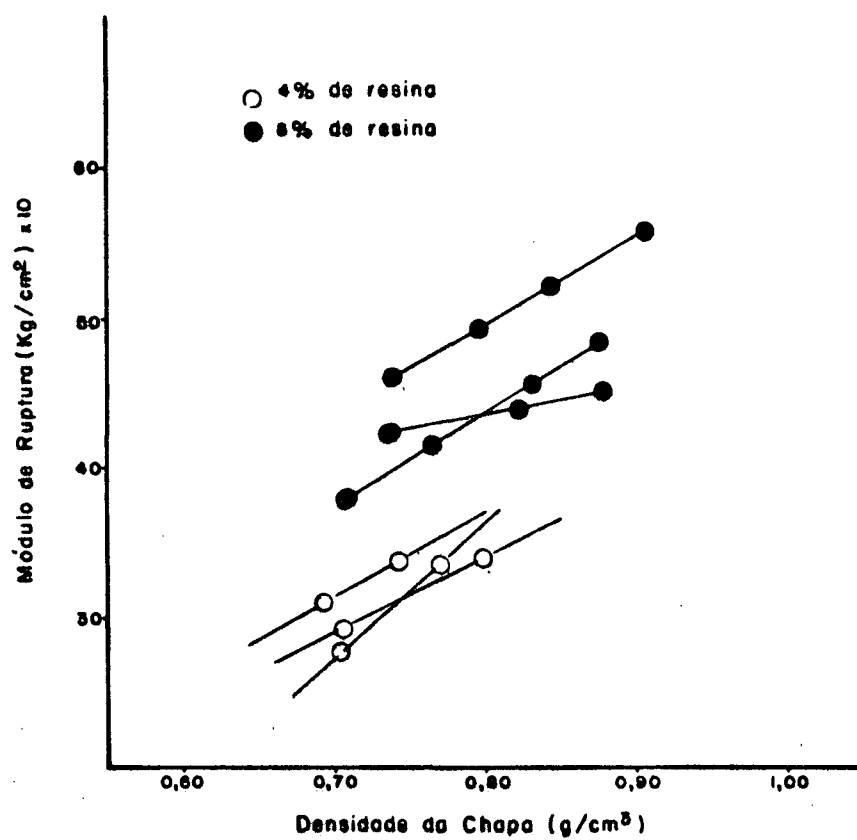
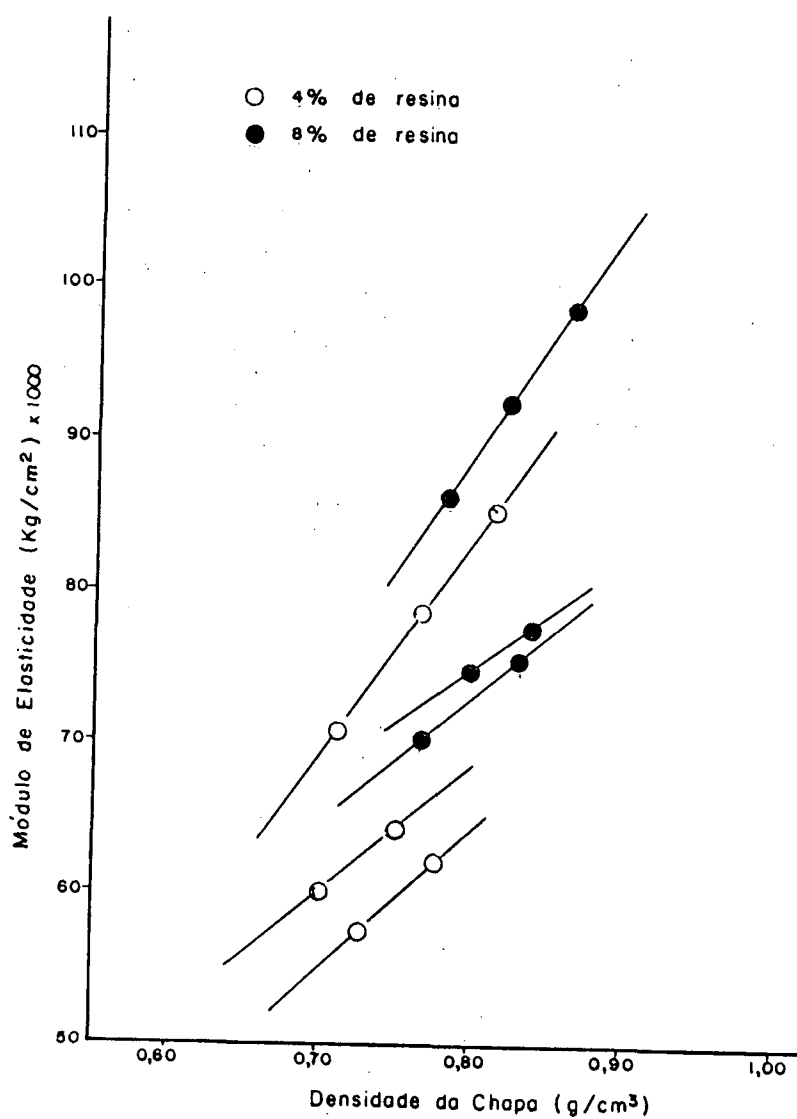


FIGURA 18 - TENDÊNCIAS OBSERVADAS ENTRE A RELAÇÃO MÓDULO DE ELASTICIDADE x DENSIDADE DA CHAPA, PARA DOIS NÍVEIS DE RESINA



menor densidade e com isto, possibilitar uma maior razão de compressão (densidade de chapa/densidade da madeira), elevando-se desta forma, os valores de resistência. Os resultados encontrados para MOR e MOE estão de conformidade com a literatura, onde foram bem definidos.

Neste estudo, os valores médios de MOR variaram de 280,81 a 484,22 Kg/cm<sup>2</sup> para *Pinus taeda*, de 245,16 a 448,94 Kg/cm<sup>2</sup> para *P. elliottii* e de 268,73 a 559,18 Kg/cm<sup>2</sup> para *P. patula* (TABELA 6). Os valores médios do MOE, por sua vez, variaram de 55153 a 79541 Kg/cm<sup>2</sup> para *P. taeda*, de 52017 a 80735 Kg/cm<sup>2</sup> para *P. elliottii* e de 63423 a 105503 Kg/cm<sup>2</sup> para *P. patula* (TABELA 7). Todos estes resultados superaram em muito o estabelecido na norma comercial CS 236-66 (TABELA 3), definindo bem as características estruturais deste tipo de chapa.

#### 4.3.1.2 Análise de covariância

##### a) Módulo de ruptura

Após o ajuste das médias para verificar a influência da espécie, notou-se que o MOR não apresentou uma tendência bem definida, apesar de que ocorreu uma ligeira predominância em diminuir com o aumento da densidade das espécies (FIG. 19).

Quando procedeu-se o teste de significância ao nível de  $\alpha = 0,01$ , verificou-se em poucos casos a existência de diferença significativa devido ao efeito das espécies que ocorreu entre *P. patula* e *P. taeda* ao nível de 8% de resina fenólica e 0,60 g/cm<sup>3</sup> de densidade, entre *P. patula* e *P. elliottii* ao nível de 8% de resina e 0,75 g/cm<sup>3</sup> de densidade e entre *P. taeda* e *P. elliottii* ao nível de 4% de resina e 0,60 g/cm<sup>3</sup> de

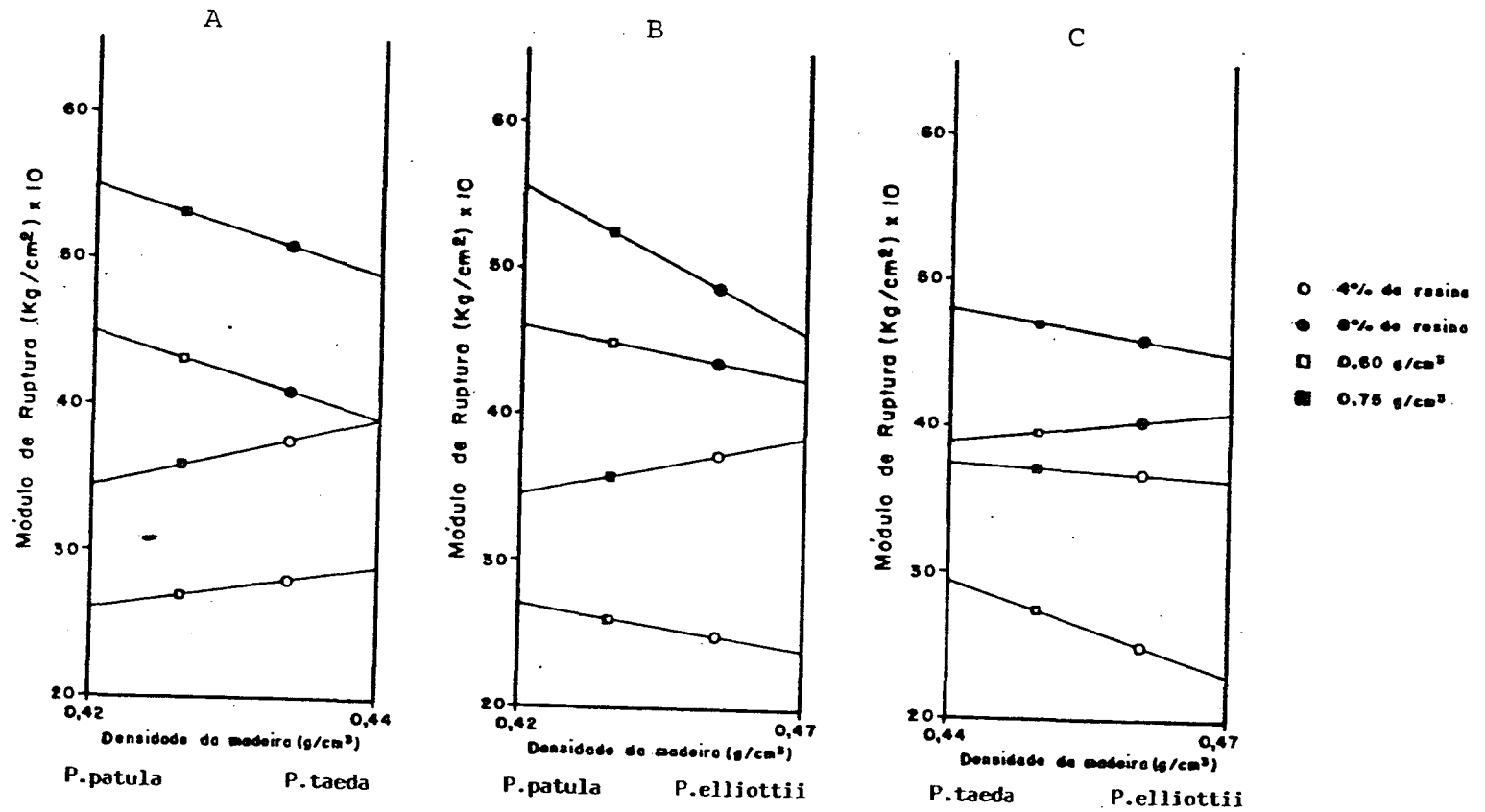
TABELA 6 - PROPRIEDADES DAS CHAPAS - MÓDULO DE RUPTURA (VALORES MÉDIOS)

ESPECIE	<i>Pinus taeda</i>				<i>Pinus elliottii</i>				<i>Pinus patula</i>			
	4		8		4		8		4		8	
Nível de resina (%)												
Densidade das chapas (g/cm <sup>3</sup> )	0,64	0,80	0,71	0,88	0,67	0,81	0,74	0,88	0,65	0,85	0,74	0,91
MOR (Kg/cm <sup>2</sup> )	281,81	371,98	380,06	484,22	245,16	370,52	423,32	448,94	268,73	363,90	461,68	559,18
Médias Ajust.	292,60	383,75	391,24	487,22	236,37	377,35	422,11	452,79	266,74	345,32	456,71	552,32
Conteúdo de umidade	11,39	10,14	11,30	9,33	10,14	9,69	10,15	9,45	10,15	9,32	9,50	9,11

TABELA 7 - PROPRIEDADES DAS CHAPAS - MÓDULO DE ELASTICIDADE (VALORES MÉDIOS)

ESPÉCIE	<i>Pinus taeda</i>				<i>Pinus elliottii</i>				<i>Pinus patula</i>			
	4		8		4		8		4		8	
Nível de resina (%)												
Densidade das chapas (g/cm <sup>3</sup> )	0,64	0,80	0,71	0,88	0,67	0,81	0,74	0,88	0,66	0,85	0,74	0,91
MOE (Kg/cm <sup>2</sup> )	55153	68573	65573	79541	52017	65273	70668	80735	63423	90736	80111	105503
Médias Ajust.	56493	68668	67361	80040	51117	66731	69850	81826	62982	88956	79141	103963
Conteúdo de umidade	11,39	10,14	11,30	9,33	10,14	9,69	10,15	9,45	10,15	9,32	9,50	9,11

FIGURA 19 - MÓDULO DE RUPTURA (ANÁLISE DE COVARIÂNCIA) - MÉDIAS AJUSTADAS



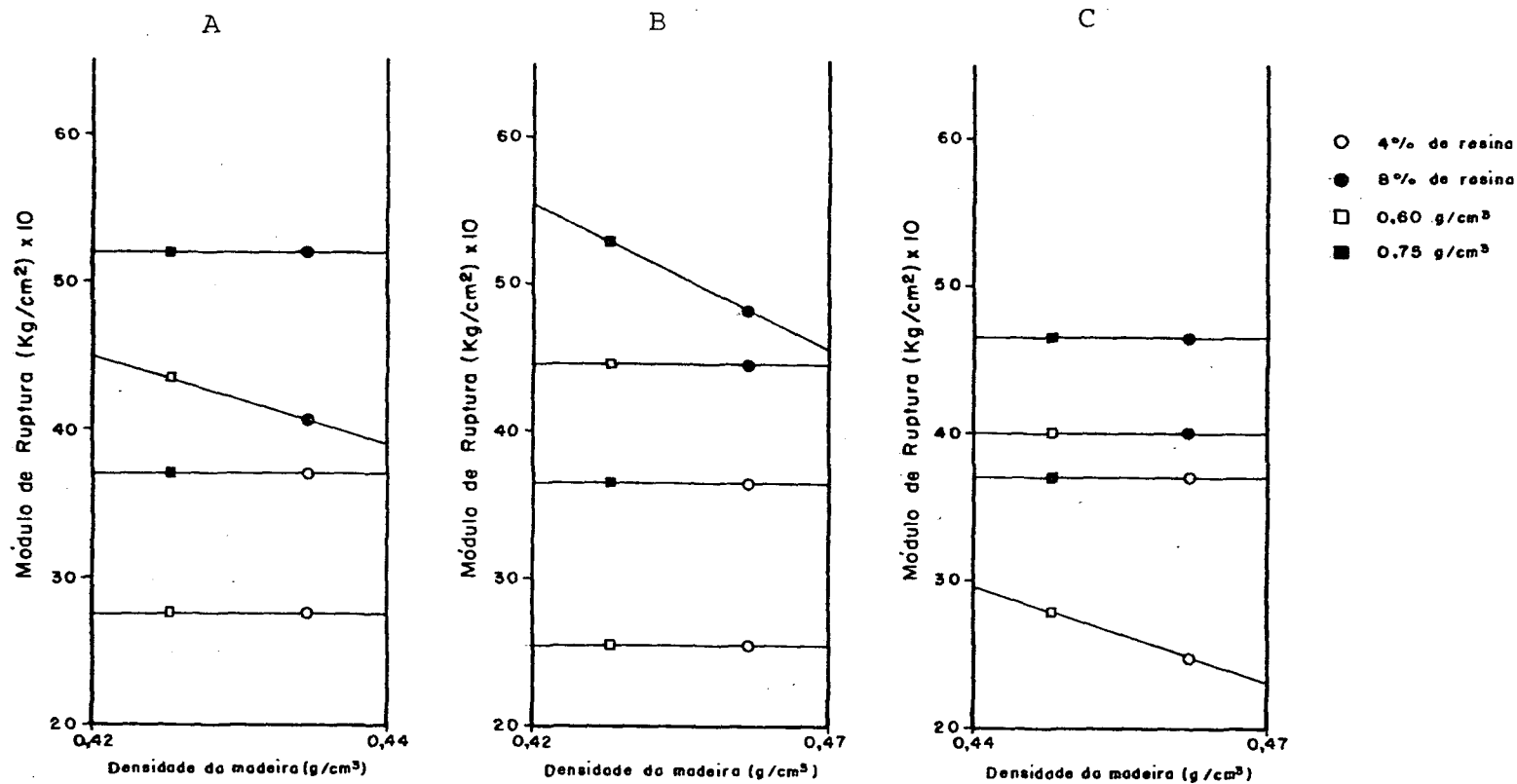
densidade, e nesses casos, a tendência foi do MOR diminuir com o aumento da densidade da espécie (FIG. 20).

Posteriormente, o teste foi feito para verificar a influência da densidade de chapa e do conteúdo de resina. Pode-se verificar a partir dos resultados, que esses tratamentos comportaram-se de maneira semelhante quando as comparações foram entre *P. patula* e *P. taeda* e entre *P. patula* e *P.elliottii* (FIGS. 21 a-b), onde a densidade de chapa não teve influência sobre o MOR; o conteúdo de resina, por outro lado, proporcionou diferença significativa entre todas as médias comparadas acima. Uma pequena variação ocorreu quando comparou-se *P.taeda* e *P.elliottii* (Fig. 21c). Neste caso, houve diferença devido ao aumento no conteúdo de resina de 4 para 8% para as chapas com  $0,60 \text{ g/cm}^3$  de densidade, não havendo para aquelas com  $0,75 \text{ g/cm}^3$  de densidade. Outra diferença significativa observada foi devido às diferenças de densidade da chapa de  $0,60$  e  $0,75 \text{ g/cm}^3$  para um mesmo conteúdo de resina, ou seja 8%. Para o conteúdo de resina de 4% a variação na densidade da chapa não causou efeito significativo.

#### b) Módulo de elasticidade (MOE)

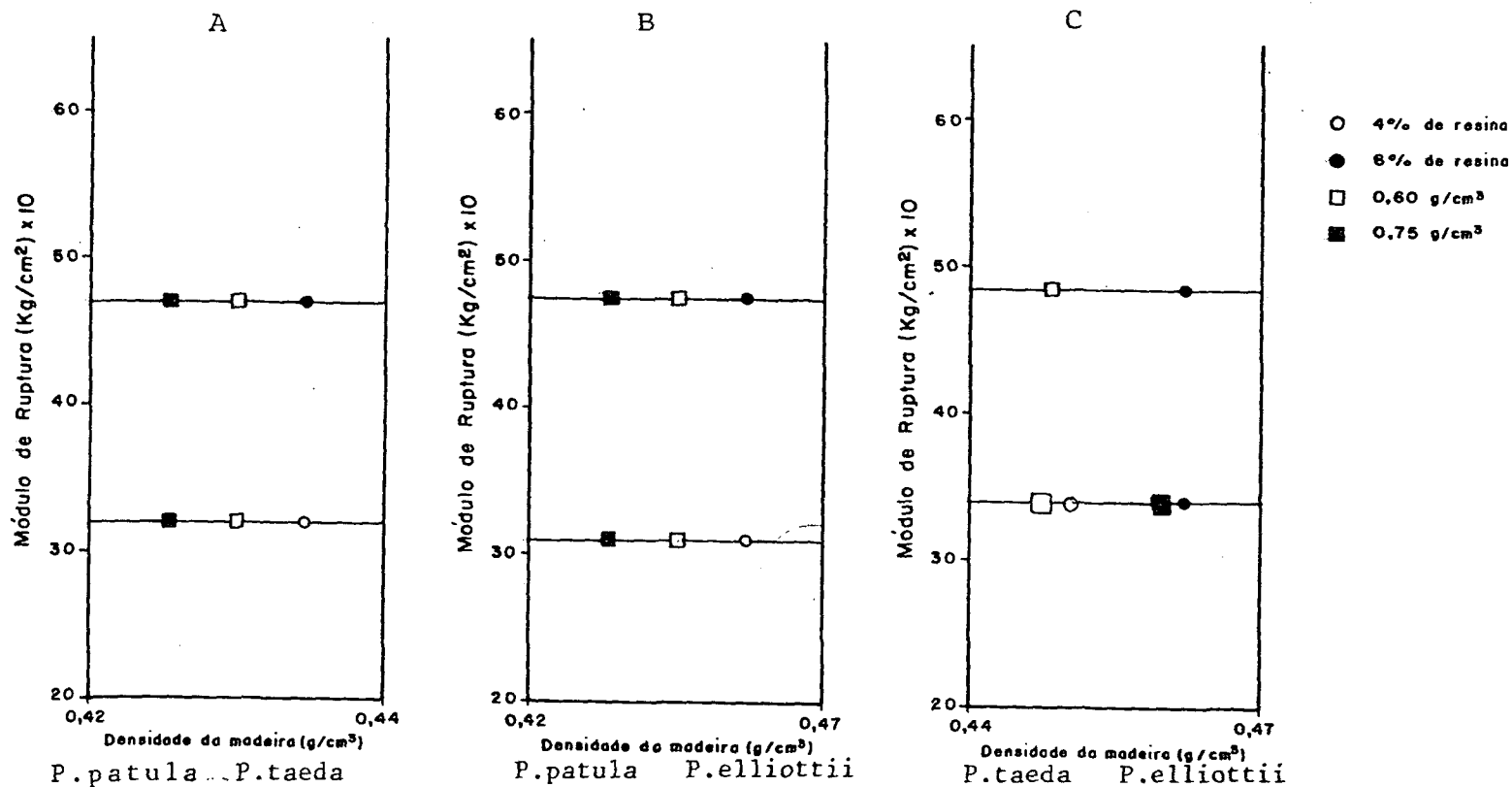
O módulo de elasticidade foi ajustado em função da densidade de chapa para permitir a comparação entre os efeitos das espécies. Numa primeira análise verificou-se que o aumento na densidade da espécie tem como consequência uma diminuição do MOE (FIG. 22 a-b). Uma pequena variação ocorreu quando a comparação foi entre *P.taeda* e *P.elliottii*, para 8% de resina, onde a relação foi inversa. É possível que devido à pequena diferença dos efeitos dessas duas espécies, elevando-se o conteúdo de resina, conseqüentemente eleva-se o teor de umidade, au-

FIGURA 20 - MÓDULO DE RUPTURA (ANÁLISE DE COVARIÂNCIA) - INFLUÊNCIA DAS ESPÉCIES



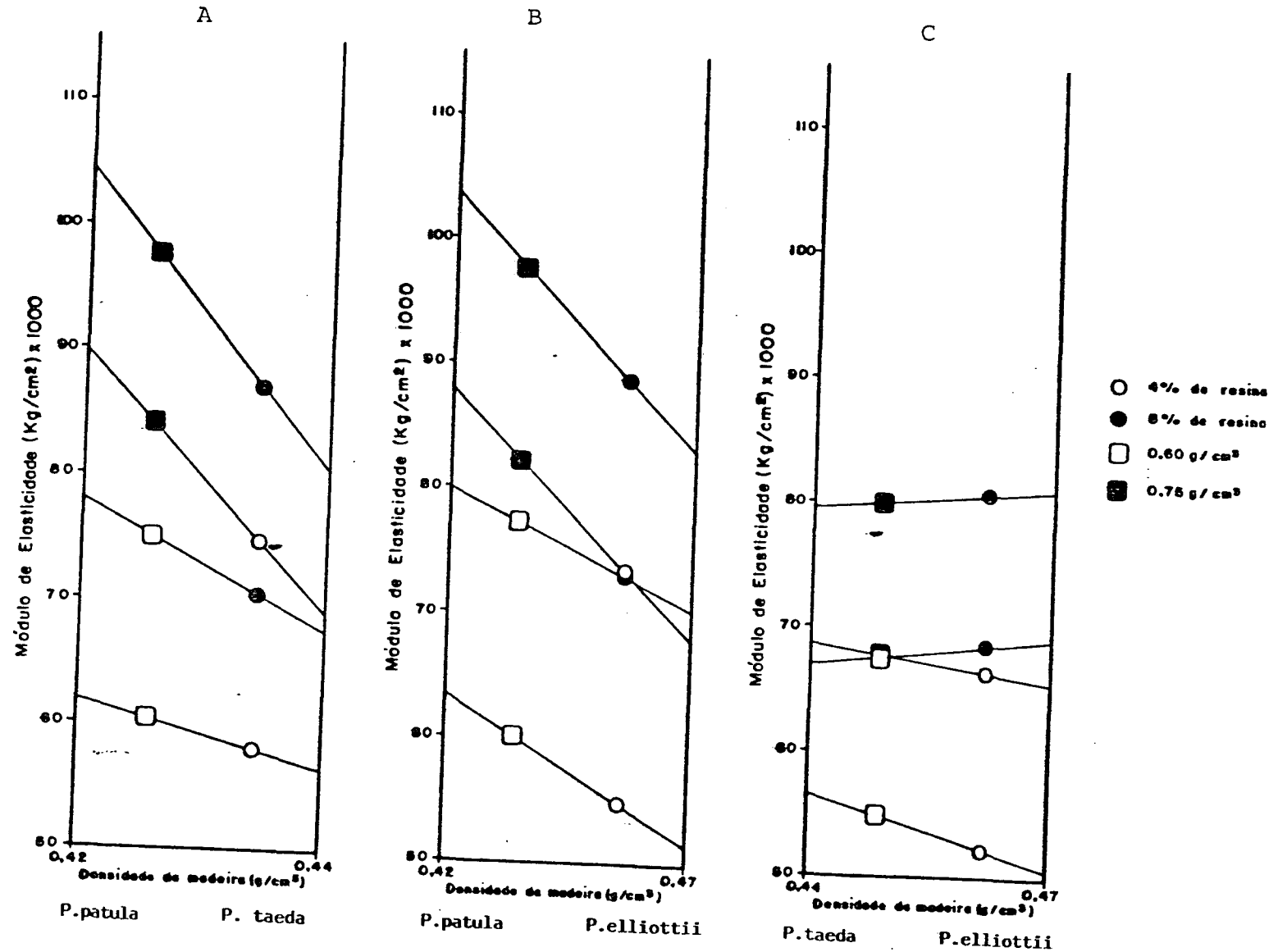
Obs.: As linhas horizontais indicam a inexistência de diferença significativa ao nível de 99% de probabilidade.

FIGURA 21 - MÓDULO DE RUPTURA (ANÁLISE DE COVARIÂNCIA) - INFLUÊNCIA DA DENSIDADE DE CHAPA E CONTEÚDO DE RESINA



Obs.: As médias dos tratamentos que não apresentaram diferença significativa ao nível de 99% de probabilidade, foram agrupadas em uma única reta.

FIGURA 22 - MÓDULO DE ELASTICIDADE (ANÁLISE DE COVARIÂNCIA) - MÉDIAS AJUSTADAS



mentando em contrapartida a razão de compactação e com isso o MOE (FIG. 22c).

As médias ajustadas de MOE foram comparadas para verificar se os efeitos das espécies foram significantes ao nível de  $\alpha = 0,01$ . Pode-se observar que somente houve diferença onde estava presente o *Pinus patula*, com 8% de resina (FIGS. 23 a-b), onde, devido a uma melhor colagem, evidenciou-se o efeito das espécies, apesar da densidade das espécies serem bastante próximas. O efeito das espécies não foram significantes para os demais casos.

Quando a densidade de chapa e o conteúdo de resina foram testados, verificou-se a inexistência de diferença significativa devido ao efeito desses tratamentos, ao nível de 99% de probabilidade (FIG. 24).

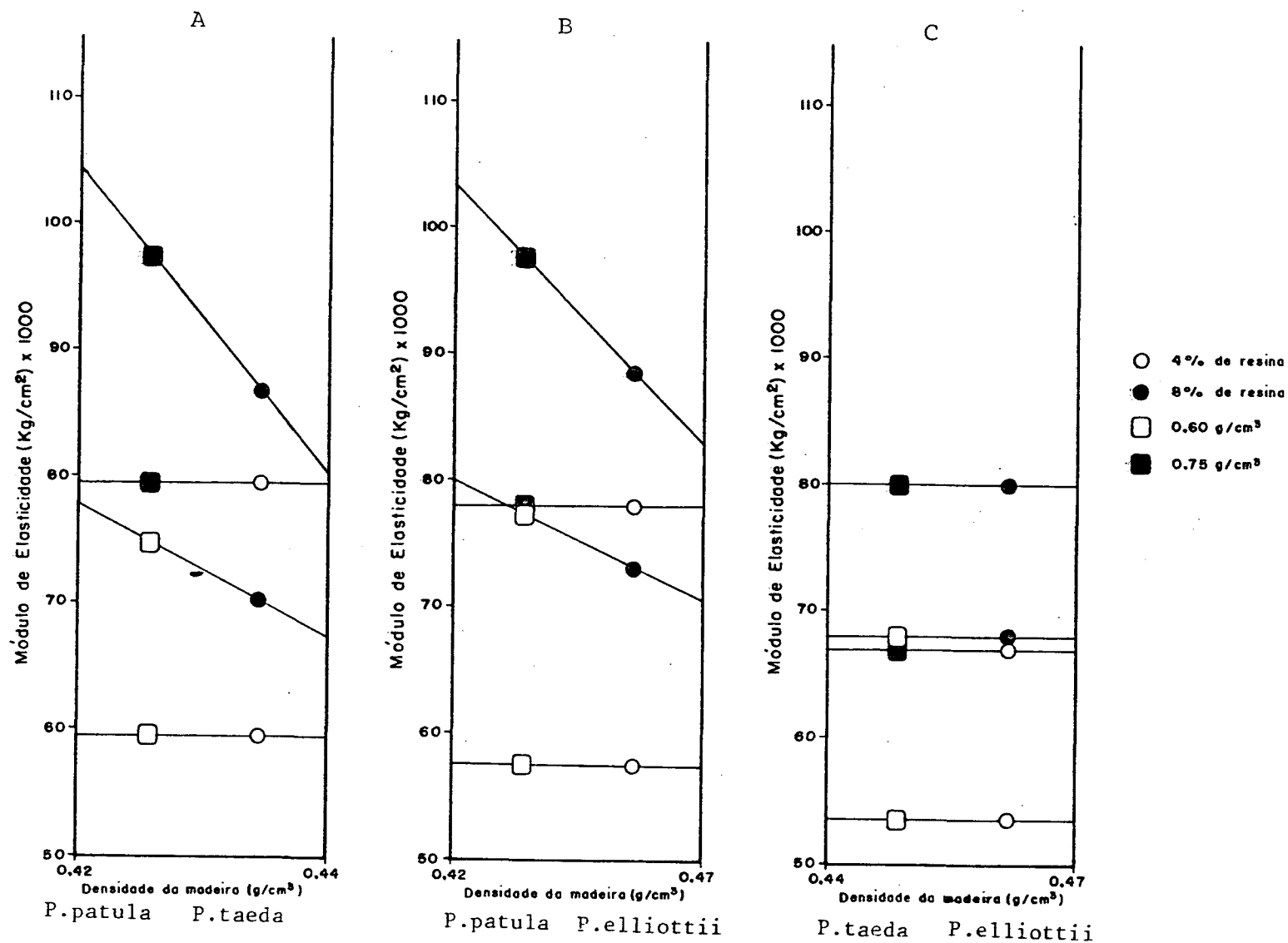
#### 4.3.2 Expansão linear (EL)

##### a) Médias Reais

A expansão linear ganha dimensões em importância quando as chapas são confeccionadas com propósitos estruturais. Este parâmetro não é bem definido na literatura, onde as relações com as variáveis, como a densidade de chapa, conteúdo de resina e densidade da espécie, são distintas para cada autor, sendo poucos os casos de concordância. Os resultados encontrados neste estudo não fugiram à regra, pois as relações obtidas também não foram claras (FIG. 25). O efeito das espécies pareceu exercer uma influência ligeiramente mais evidente, onde o *P.taeda* apresentou os valores mais altos de expansão linear, seguido em ordem decrescente pelo *P.elliottii* e *P.patula* (TABELA 8).

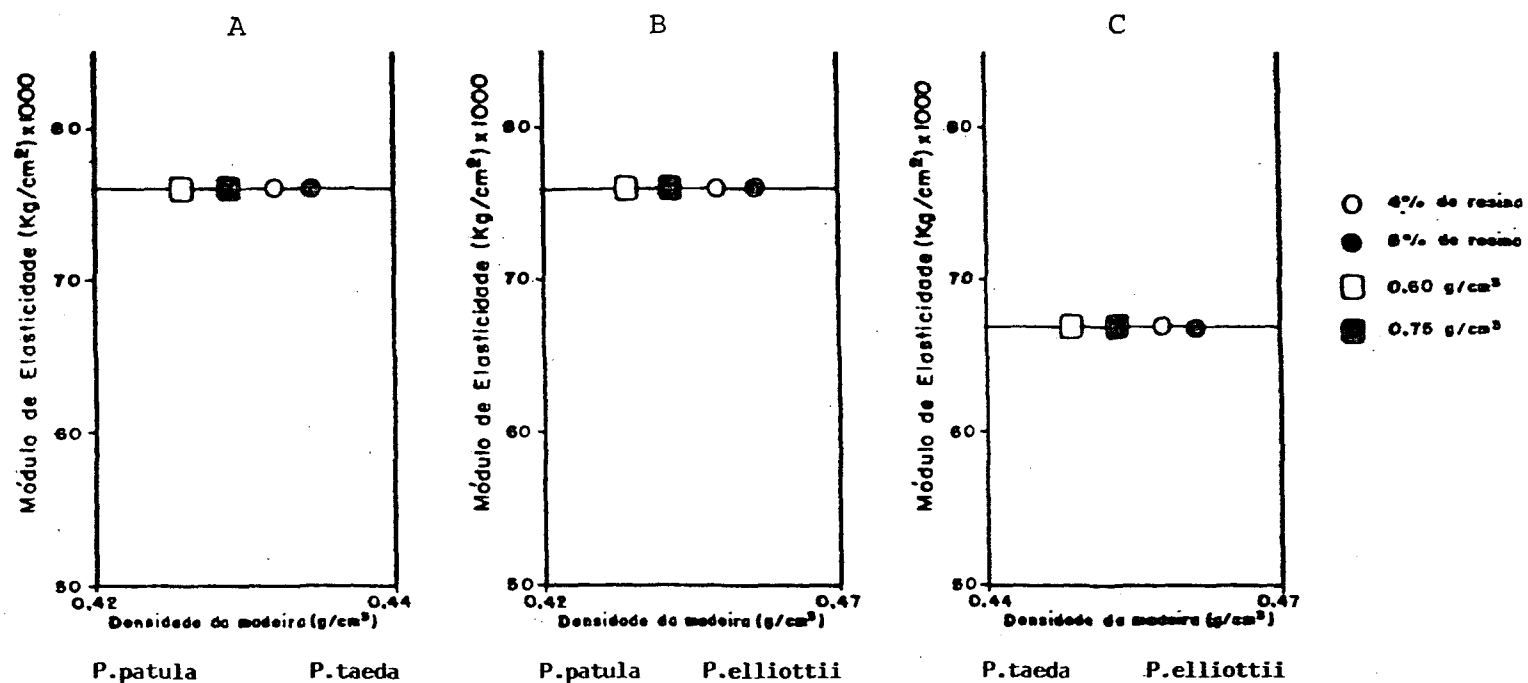
Os valores médios de EL variaram de 0,069 a 0,109% para *P.taeda*, de 0,054 a 0,074% para *P.elliottii* e de 0,036 a 0,065%

FIGURA 23 - MÓDULO DE ELASTICIDADE (ANÁLISE DE COVARIÂNCIA) - INFLUÊNCIA DAS ESPÉCIES



Obs.: As linhas horizontais indicam a inexistência de diferença significativa ao nível de 99% de probabilidade.

FIGURA 24 - MÓDULO DE ELASTICIDADE (ANÁLISE DE COVARIÂNCIA) - INFLUÊNCIA DA DENSIDADE DE CHAPA E CONTEÚDO DE RESINA



Obs.: As médias dos tratamentos que não apresentaram diferença significativa ao nível de 99% de probabilidade, foram agrupadas em uma única reta

FIGURA 25 - TENDÊNCIAS OBSERVADAS ENTRE A RELAÇÃO EXPANSÃO LINEAR X DENSIDADE DE CHAPA, PARA DOIS NÍVEIS DE RESINA

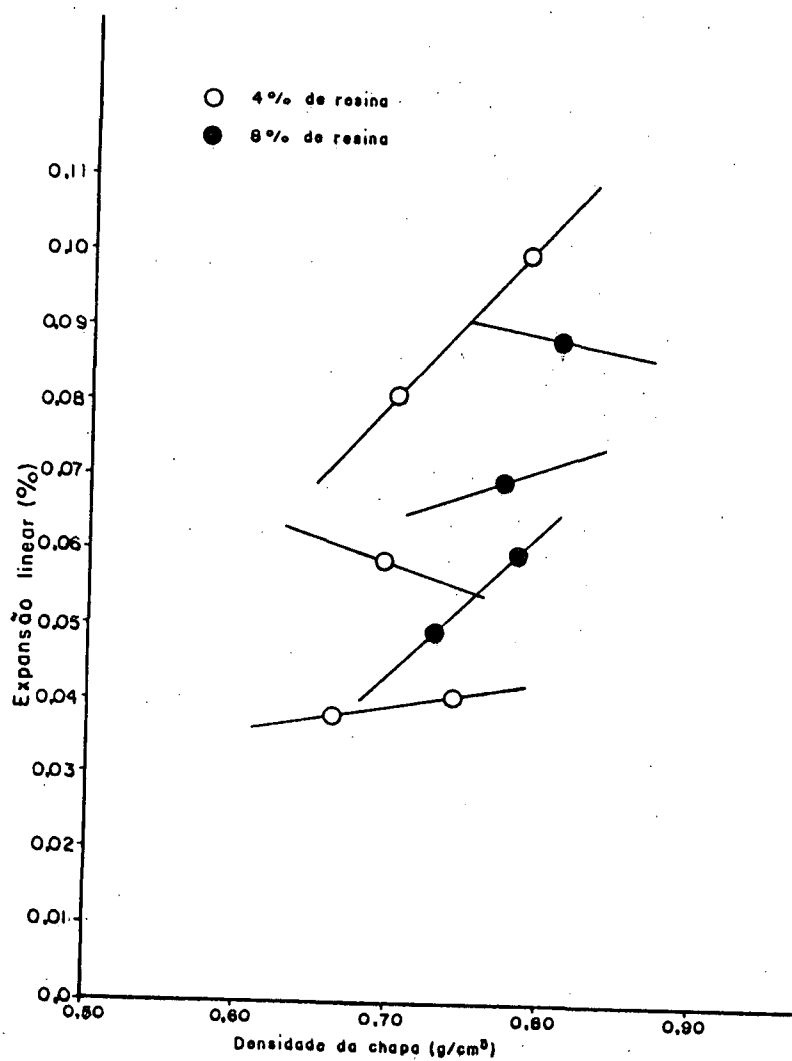


TABELA 8 - PROPRIEDADES DAS CHAPAS - EXPANSÃO LINEAR (VALORES MÉDIOS)

ESPECIE	<i>Pinus taeda</i>				<i>Pinus elliottii</i>				<i>Pinus patula</i>			
	4		8		4		8		4		8	
Nível de resina (%)												
Densidade das chapas (g/cm <sup>3</sup> )	0,65	0,83	0,75	0,87	0,63	0,76	0,71	0,84	0,61	0,69	0,78	0,81
Expansão linear	0,069	0,109	0,091	0,086	0,063	0,054	0,065	0,074	0,036	0,042	0,040	0,065
Médias Ajust.	0,070	0,12	0,086	0,084	0,063	0,050	0,067	0,074	0,036	0,039	0,044	0,067
Conteúdo de umidade	11,47	10,27	11,55	9,65	10,49	9,87	10,43	9,80	10,64	9,67	10,23	9,70

para *P. patula*. Estes valores foram muito inferiores àqueles valores máximos permitidos pela norma comercial CS 236-66 (TABELA 3), o que demonstra o excelente comportamento das chapas fabricadas com relação a esta propriedade, que é bastante crítica no dimensionamento estrutural.

#### b) Análise de covariância

Os valores médios de El foram ajustados em função da densidade de chapa para permitir a comparação entre os tratamentos e simultaneamente a execução do teste de significância ao nível de 99% de probabilidade. Inicialmente, a comparação foi feita para verificar o efeito das espécies. Observou-se que a EL aumentou quando a densidade da espécie aumentou (FIG. 26 a-b). Entretanto, esta observação não é válida para o caso da FIGURA 26c, onde a tendência foi inversa.

Após o teste das médias, verificou-se que só ocorreu diferença significativa entre os tratamentos de *P. patula* e *P. taeda* com 4% de resina e  $0,75 \text{ g/cm}^3$  de densidade (FIG. 27a). Para o caso do conteúdo de resina e densidade de chapa, não houve diferença significativa ao nível de 1 por cento de probabilidade (FIG. 28).

### 4.3.3 Absorção de água e inchamento em espessura

#### 4.3.3.1 Inchamento em espessura (IE)

##### a) Valores reais

Ficou bem evidenciado na literatura que um aumento no conteúdo de resina diminui o inchamento em espessura. Já o efeito da densidade de chapa e da espécie não foi tão claro.

FIGURA 26 - EXPANSÃO LINEAR (ANÁLISE DE COVARIÂNCIA) - MÉDIAS AJUSTADAS

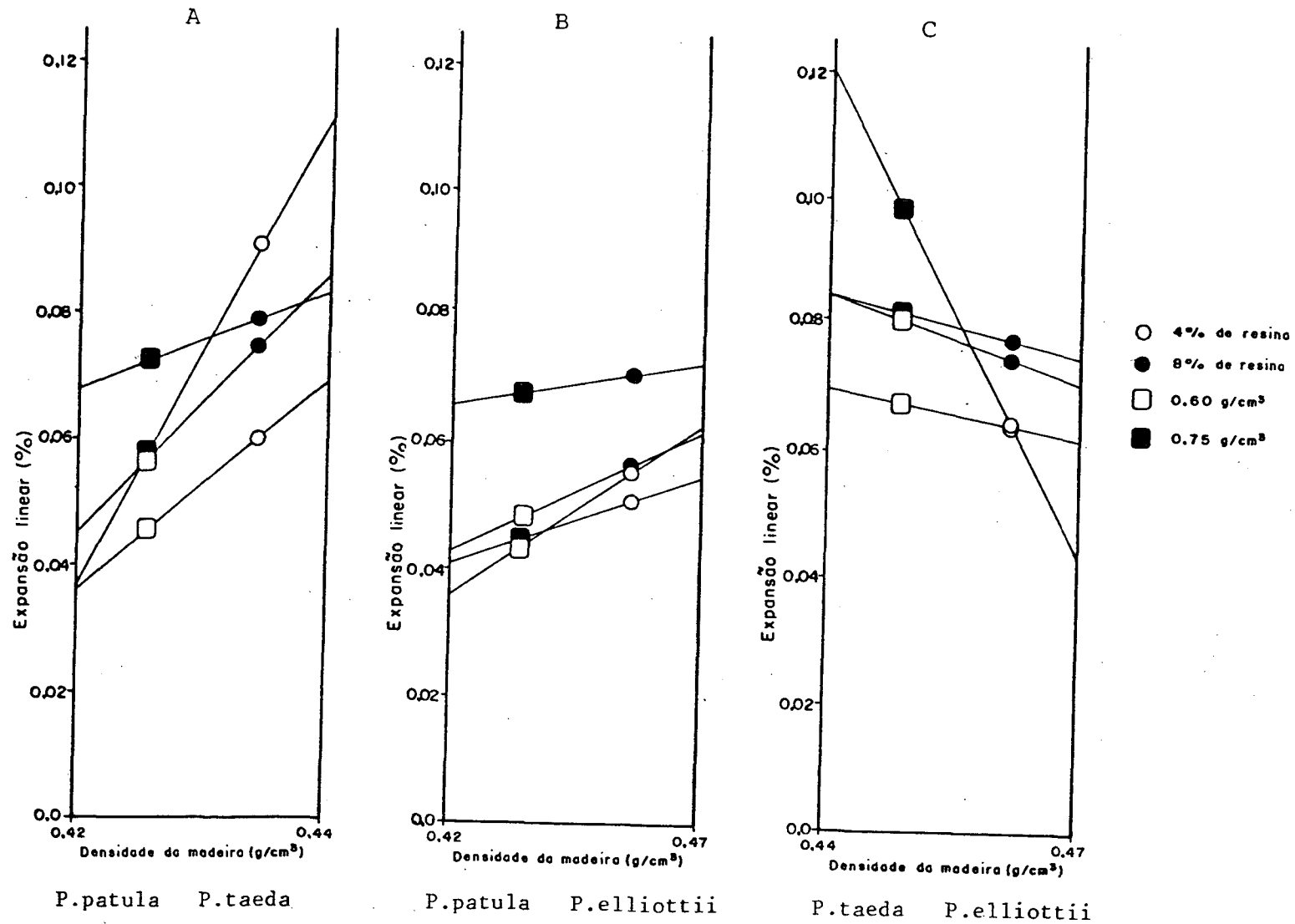
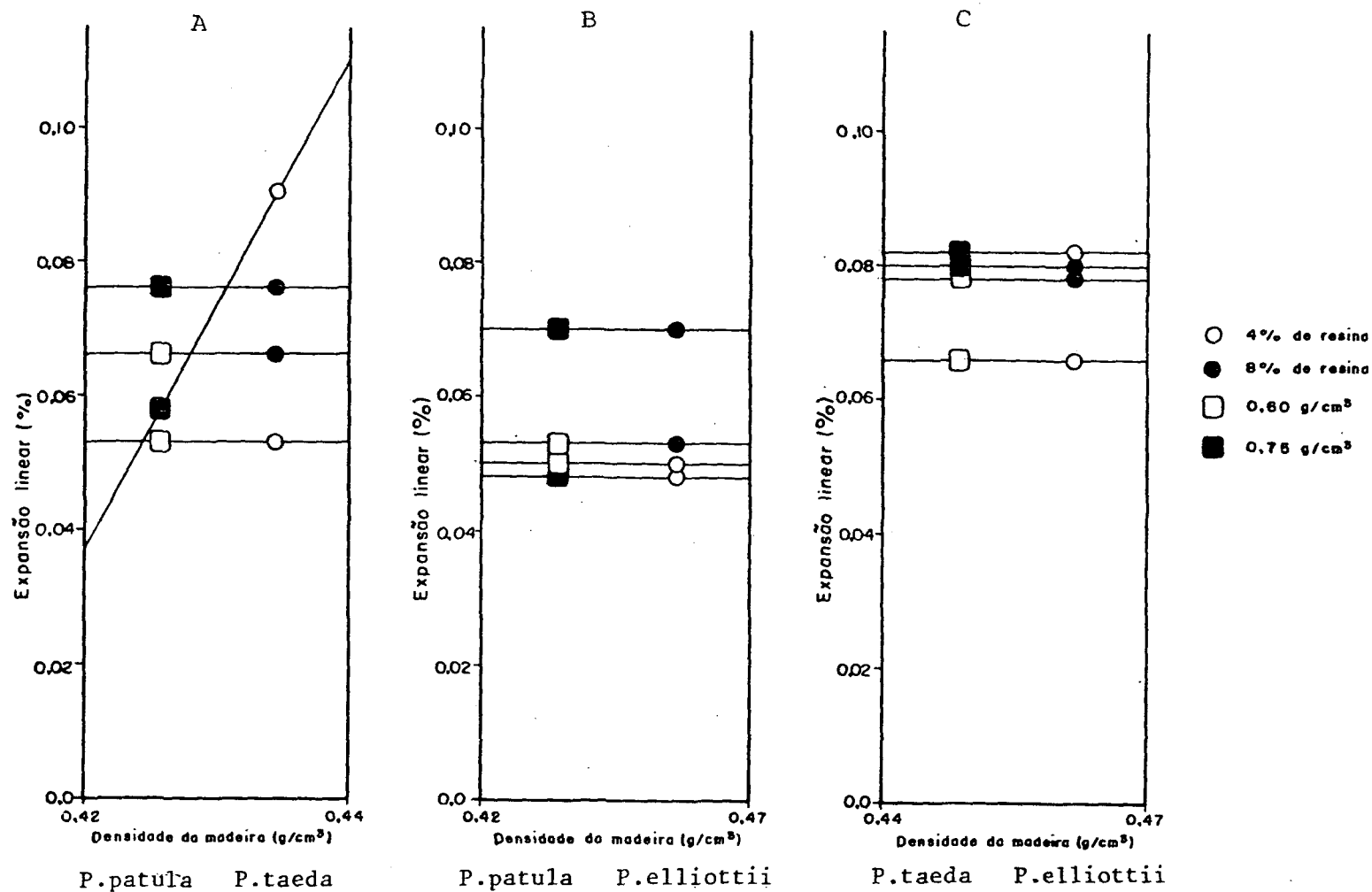
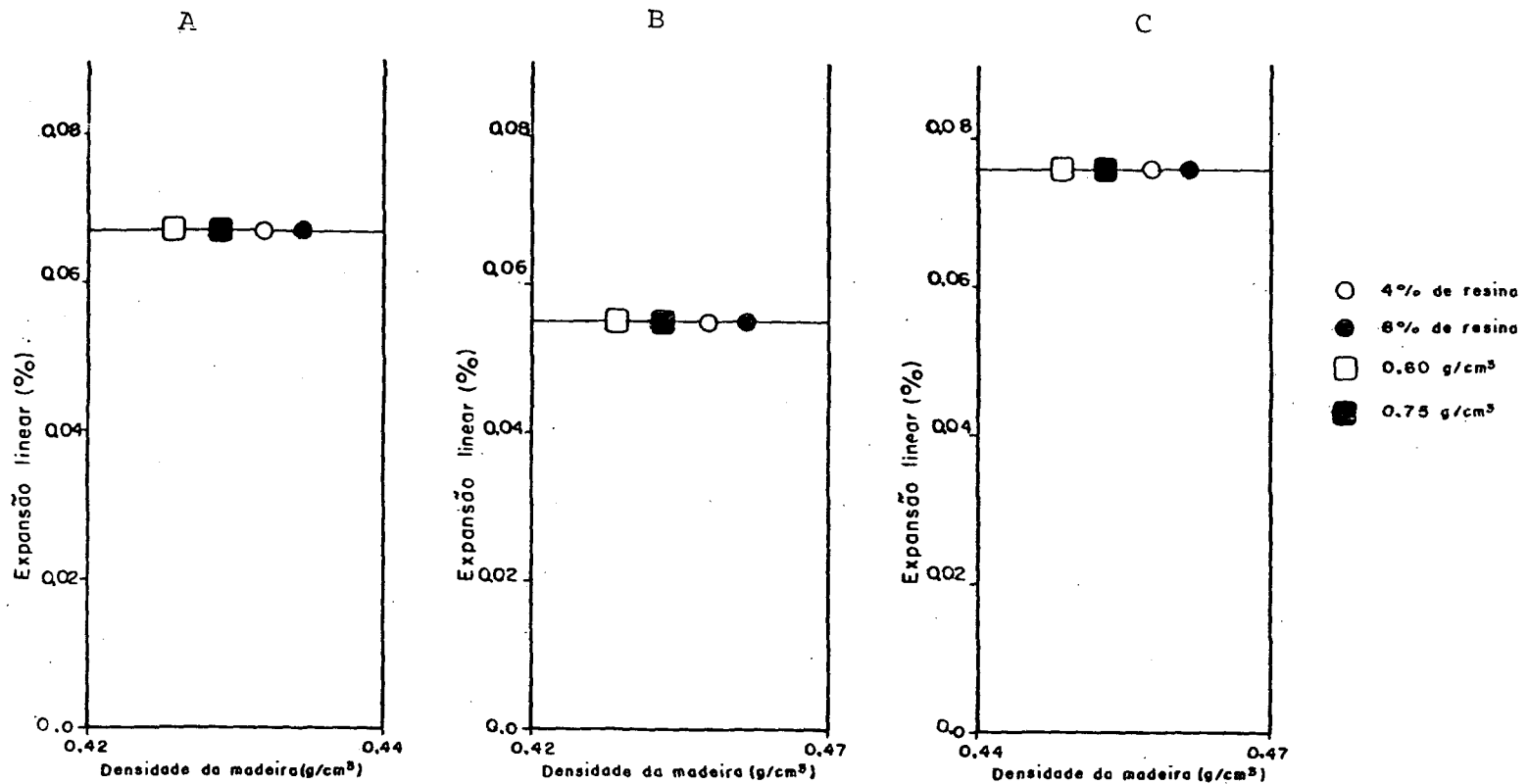


FIGURA 27 - EXPANSÃO LINEAR (ANÁLISE DE COVARIÂNCIA) - INFLUÊNCIA DAS ESPÉCIES



Obs.: As linhas horizontais indicam a inexistência de diferença significativa ao nível de 99% de probabilidade.

FIGURA 28 - EXPANSÃO LINEAR (ANÁLISE DE COVARIÂNCIA) - INFLUÊNCIA DA DENSIDADE DE CHAPA E CONTEÚDO DE RESINA



P.patula P.taeda

P.patula P.elliottii

P.taeda P.elliottii

Obs.: As médias dos tratamentos que não apresentaram diferença significativa ao nível de 99% de probabilidade, foram agrupadas em uma única reta.

Porém, houve uma predominância do IE aumentar com o aumento da densidade de chapa. Neste estudo, o efeito do conteúdo de resina sobre o IE foi evidente de tal forma que permitiu separar a análise em dois grupos. O primeiro deles com 8 por cento de resina apresentou valores de IE bem inferiores àqueles do segundo grupo, com 4 por cento de resina. Dentro do primeiro grupo nenhuma outra relação ficou clara. Já no segundo grupo, onde os valores de IE foram mais elevados, verificou-se duas tendências. Uma bem definida, onde um aumento na densidade de chapa acentuou o IE, a outra, embora não tão evidente como a primeira, onde os maiores valores de IE estiveram relacionados às espécies na seguinte ordem decrescente: *Pinus patula*, *P. elliottii* e *P. taeda* (Fig. 29). Observou-se ainda que um prolongamento no tempo de imersão acarretou uma elevação no IE. É bom ressaltar que o teste de IE realizado neste estudo foi bastante drástico, com imersão direta em água por 2 e 24 horas sem nenhum pré-tratamento para melhorar a estabilidade dimensional das chapas de partículas.

Os valores médios de IE para o tempo de imersão de 2 horas variaram de 23,09 a 44,93 por cento para *P. taeda*, de 23,27 a 48,60 por cento para *P. elliottii* e de 19,07 a 59,41 por cento para *P. patula*. Quando o tempo de imersão foi de 24 horas o IE variou de 30,16 a 51,55 por cento para *P. taeda*, de 25,58 a 51,67 por cento para *P. elliottii* e de 24,90 a 65,33 por cento para *P. patula* (Tabela 9).

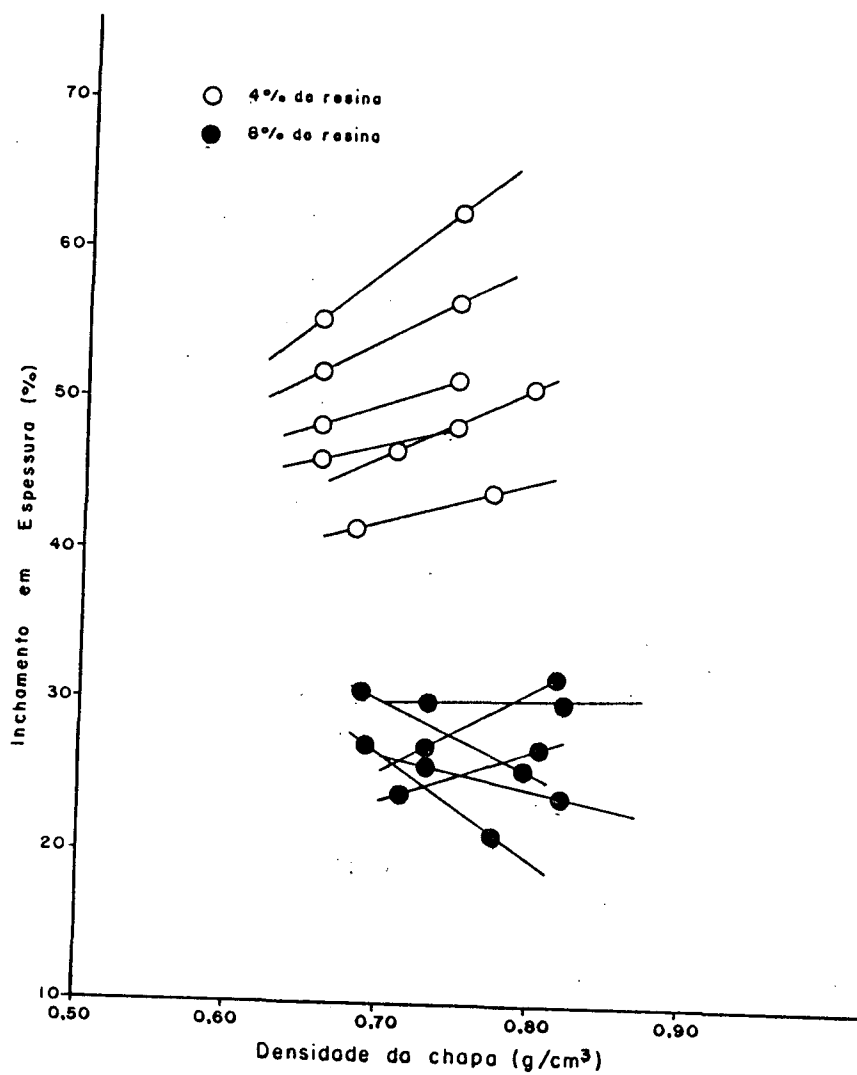
#### b) Covariância

As médias foram ajustadas em função da densidade de chapa para permitir comparações entre os diversos tratamentos.

TABELA 9 - PROPRIEDADES DAS CHAPAS - INCHAMENTO EM ESPESSURA (VALORES MÉDIOS)

ESPÉCIE	<i>Pinus taeda</i>				<i>Pinus elliottii</i>				<i>Pinus patula</i>							
	4		8		4		8		4		8					
Nível de resina (%)																
Densidade das chapas (g/cm <sup>3</sup> )	0,66	0,81	0,70	0,87	0,63	0,75	0,70	0,82	0,62	0,78	0,68	0,81				
Tempo de imersão	2h	24h	2h	24h	2h	24h	2h	24h	2h	24h	2h	24h				
I.E. (%)	41,15	44,40	44,93	51,55	26,68	30,16	23,09	30,65	45,34	47,43	48,60	51,67	23,27	25,58	27,72	31,98
Médias Ajust.	40,8	44,07	46,96	52,89	26,88	30,62	27,27	34,47	45,07	47,11	47,54	51,17	23,2	25,44	26,47	30,98
Conteúdo de umidade	11,55	10,40	11,80	9,97	10,83	10,04	10,70	10,14	11,13	10,02	10,96	10,26				

FIGURA 29 - TENDÊNCIAS OBSERVADAS ENTRE A RELAÇÃO INCHAMENTO EM ESPESSURA X DENSIDADE DA CHAPA PARA DOIS NÍVEIS DE RESINA



Na Fig. 30, pode-se notar a influência da espécie sobre o IE, onde as tendências foram apenas parciais. O IE diminuiu com o aumento da densidade da espécie, para as chapas com 4% de resina, quando comparou-se *P. patula* e *P. taeda*, e *P. patula* e *P. elliottii*, pois a tendência foi contária para a comparação entre *P. taeda* e *P. elliottii*. Para as chapas com 8% de resina, aquelas com 0,75 g/cm<sup>3</sup> de densidade tiveram um aumento no IE para as maiores densidades de espécie, entre as comparações *P. patula* e *P. taeda*, e entre *P. patula* e *P. elliottii*, invertendo a tendência para *P. elliottii* e *P. taeda*. Por outro lado, quando a densidade de chapa foi de 0,60 g/cm<sup>3</sup>, o IE diminuiu com o aumento da densidade da espécie, para as comparações entre *P. patula* e *P. elliottii*, e *P. elliottii* e *P. taeda*. O inchamento em espessura foi praticamente constante quando comparou-se *P. patula* e *P. taeda*.

Em seguida foi feito o teste de significância das médias ao nível de 99 por cento para verificar a influência dos tratamentos. Numa primeira etapa foi avaliado a influência da espécie (Fig. 31). As chapas com 4% de resina apresentaram diferença quando a densidade foi de 0,60 g/cm<sup>3</sup> para *P. patula* e *P. taeda* e 0,75 g/cm<sup>3</sup> para *P. patula* e *P. elliottii*. Nesses dois casos o IE diminuiu com o aumento da densidade de espécie. Já as chapas com 8% de resina apresentaram diferenças significativas nos seguintes casos: aquelas com 0,75 g/cm<sup>3</sup> de densidade no caso *P. patula* e *P. taeda*, e *P. patula* e *P. elliottii*, onde o aumento na densidade da espécie causou aumento no IE. Por outro lado, para as chapas com 0,60 g/cm<sup>3</sup> de densidade no caso de *P. patula* e *P. elliottii*, e *P. elliottii* e *P. taeda*, o IE diminuiu com o aumento da densidade da espécie.

FIGURA 30 - INCHAMENTO EM ESPESSURA, (ANÁLISE DE COVARIÂNCIA) - MÉDIAS AJUSTADAS

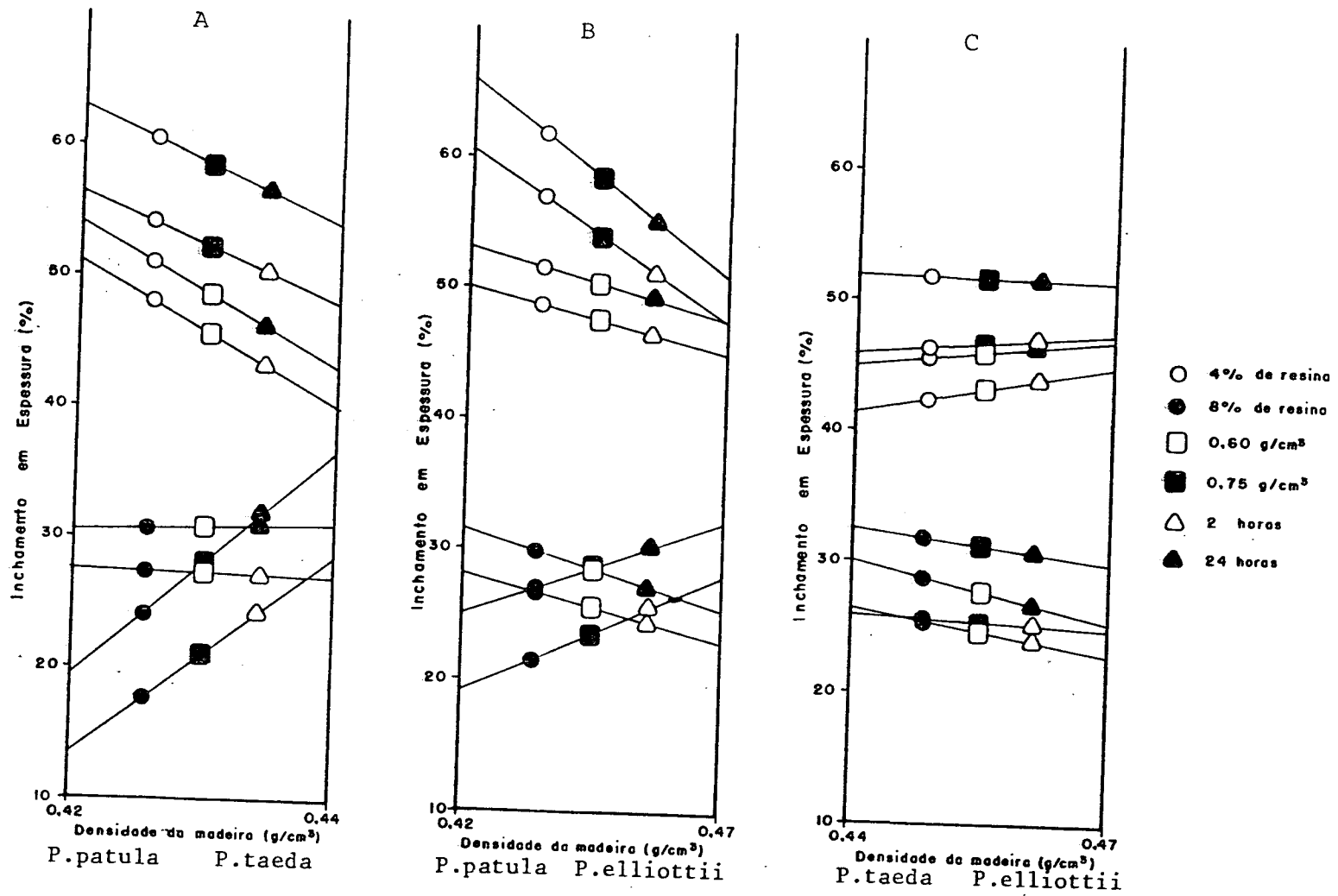
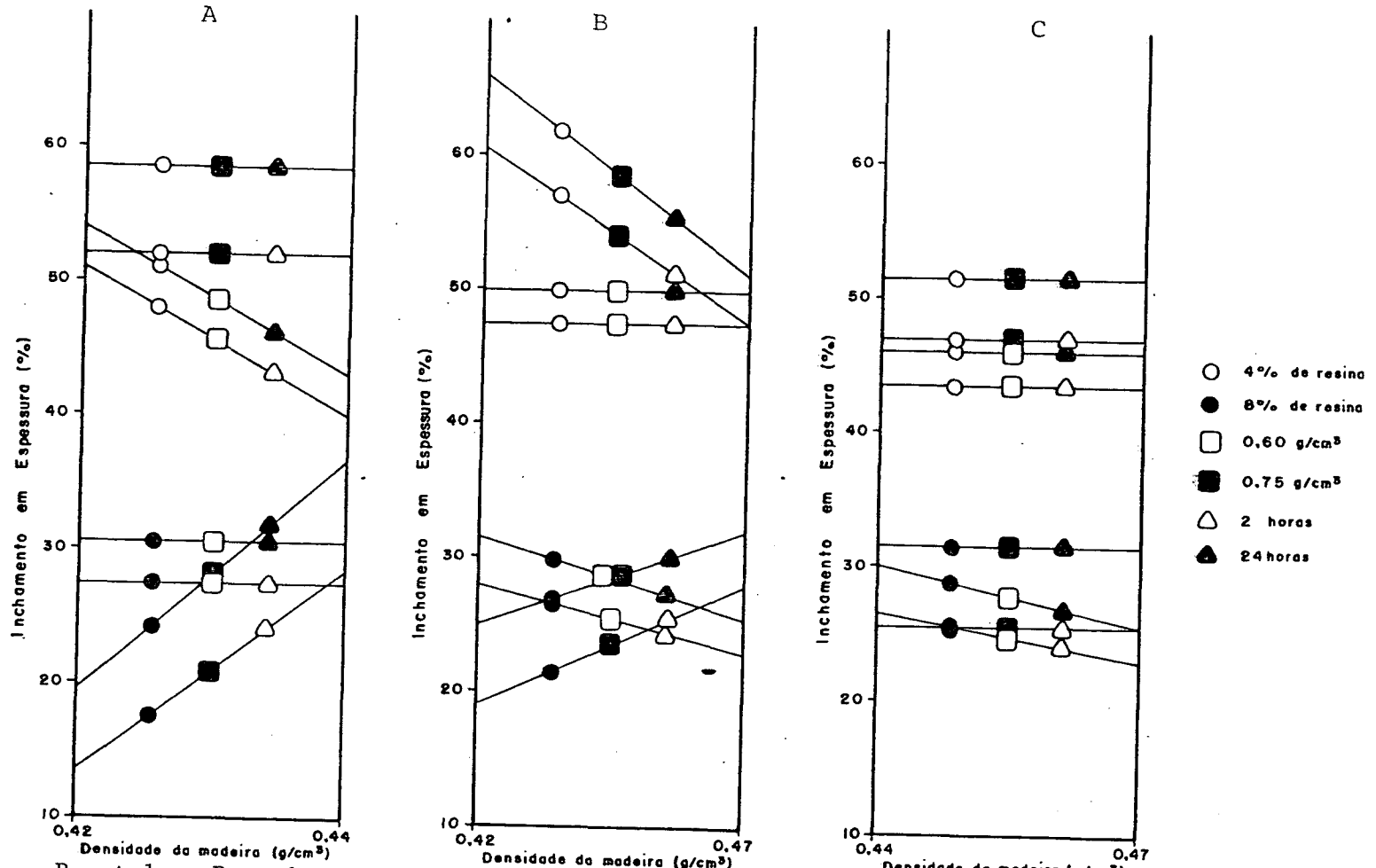


FIGURA 31 - INCHAMENTO EM ESPESSURA (ANÁLISE DE COVARIÂNCIA) - INFLUÊNCIA DAS ESPÉCIES



Obs.: As linhas horizontais indicam a inexistência de diferença significativa ao nível de 99% de probabilidade

Numa segunda etapa o teste foi realizado para verificar a influência da densidade de chapa, do conteúdo de resina e do tempo de imersão em água, os quais variaram em função da espécie e foram analisados em três estágios:

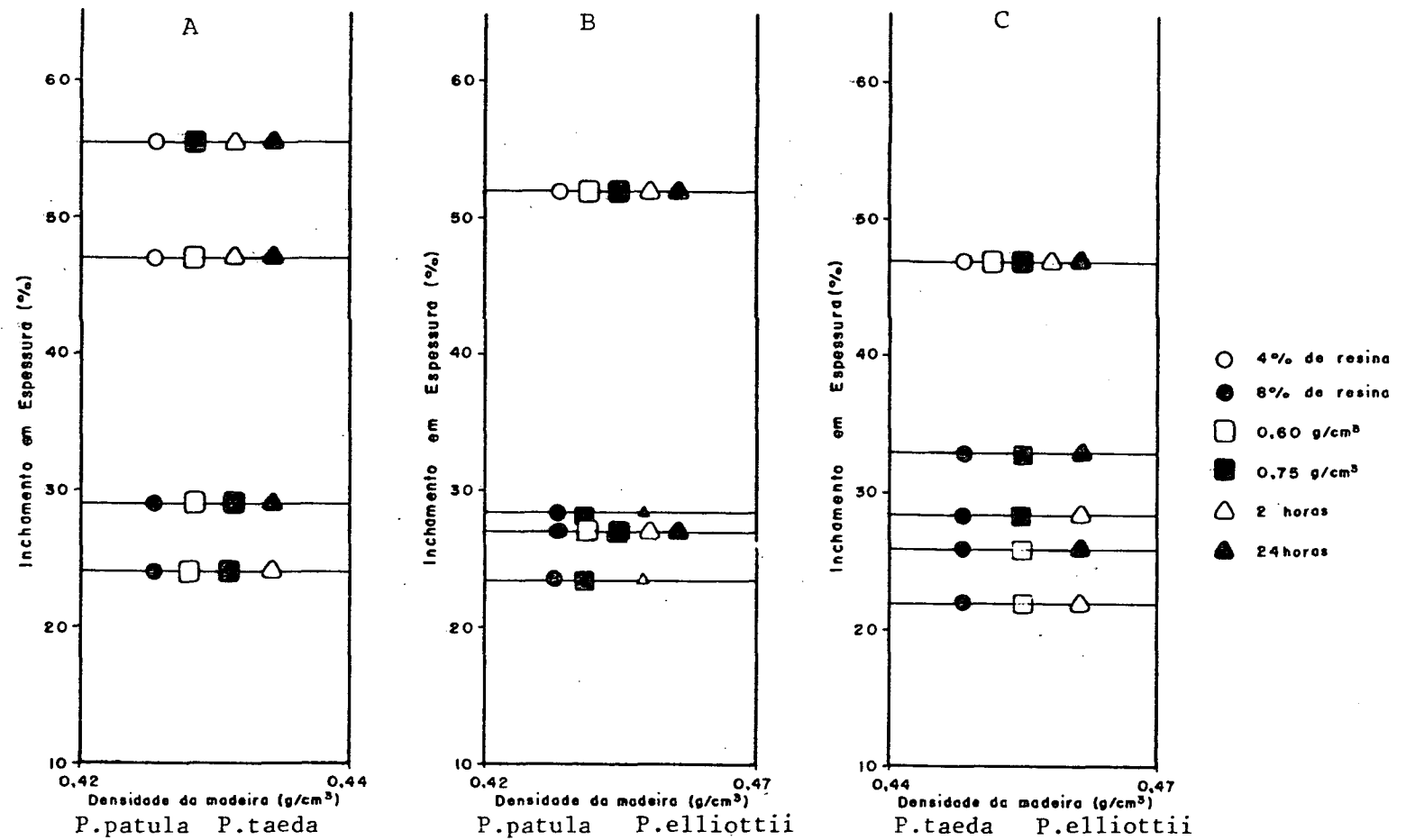
- 1) *P. patula* x *P. taeda*: a densidade não teve influência ao nível de 99 por cento de significância para as chapas com 8% de resina, tendo contudo para aquelas com 4%; o conteúdo de resina teve influência para todas as densidades e tempos de imersão; o tempo de imersão só foi significativo para as chapas com 8% de resina (Fig. 32a);
- 2) *P. patula* x *P. elliottii*: a densidade não teve influência para nenhum dos casos; o conteúdo de resina, por sua vez, foi significativo para todos os tratamentos; o tempo de imersão só teve diferença para chapas com  $0,75 \text{ g/cm}^3$  de densidade e 8% de resina (Fig. 32b);
- 3) *P. elliottii* x *P. taeda*: a densidade foi significativa para todas as chapas com 8% de resina; o conteúdo de resina, entretanto, foi significativo para todos os tratamentos; o tempo de imersão só foi significativo para as chapas com 8% de resina (Fig. 32c).

#### 4.3.3.2 Aumento em peso

##### a) Valores reais

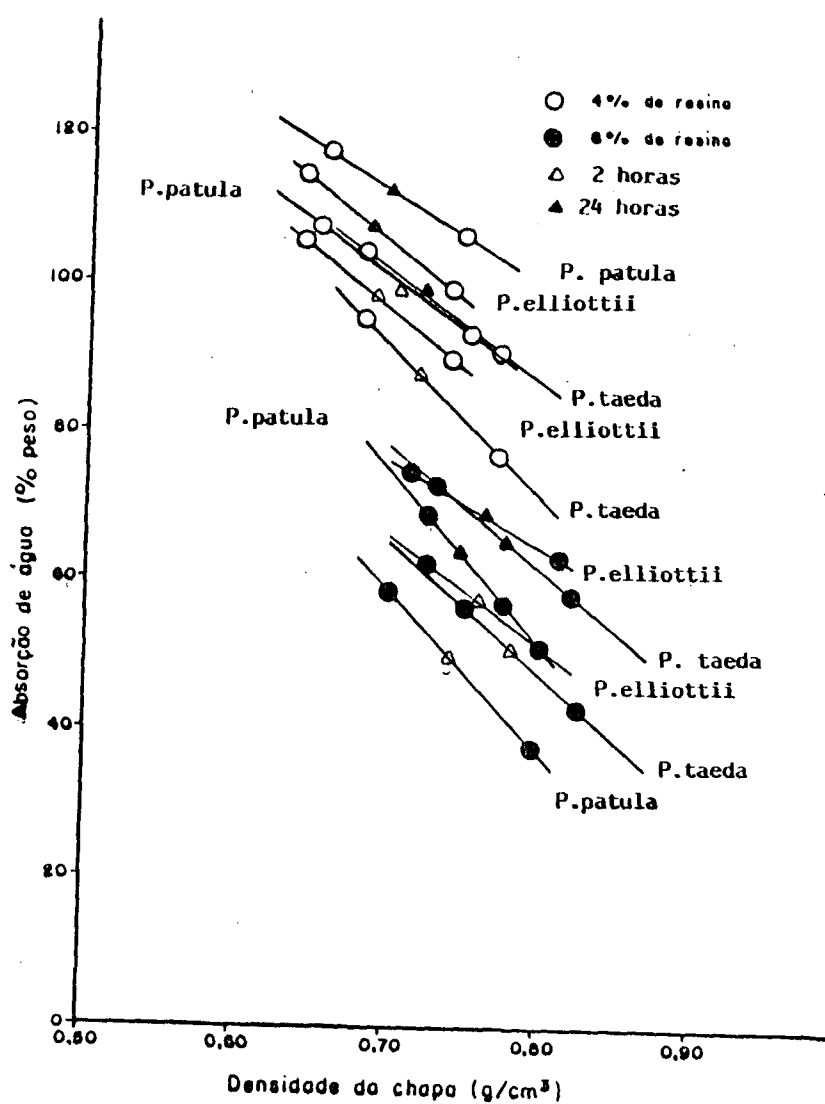
A relação entre a absorção de água, expressa em peso, e a densidade de chapa pode ser observada na Fig. 33, onde

FIGURA 32 - INCHAMENTO EM ESPESSURA. (ANÁLISE DE COVARIÂNCIA). INFLUÊNCIA DA DENSIDADE DE CHAPA, DO CONTEÚDO DE RESINA E DO TEMPO DE IMERSÃO



Obs.: As médias dos tratamentos que não apresentam diferença significativa ao nível de 99% de probabilidade, foram agrupadas em uma única reta.

FIGURA 33 - TENDÊNCIAS OBSERVADAS ENTRE A RELAÇÃO ABSORÇÃO DE ÁGUA x DENSIDADE DA CHAPA PARA DOIS NÍVEIS DE RESINA



ocorreram três tendências bem definidas. São elas:

- a) um aumento na densidade de chapa acarretou uma diminuição na absorção de água;
- b) as chapas com 4% de resina tiveram um AP mais acentuado do que aquelas com 8%;
- c) com o aumento do tempo de imersão em água de 2 para 24 horas houve um conseqüente aumento na absorção de água.

Os valores médios de aumento em peso para o tempo de imersão de 2 horas variaram de 34,73 a 98,71 por cento para *P. taeda*, de 48,49 a 107,36 por cento para *P. elliottii* e de 34,81 a 112,49 por cento para *P. patula*. Quando o tempo de imersão foi de 24 horas o aumento em peso foi de 49,71 a 106,57 por cento para *P. taeda*, de 62,46 a 115,80 por cento para *P. elliottii* e de 49,18 a 122,07 por cento para *P. patula* (Tabela 10).

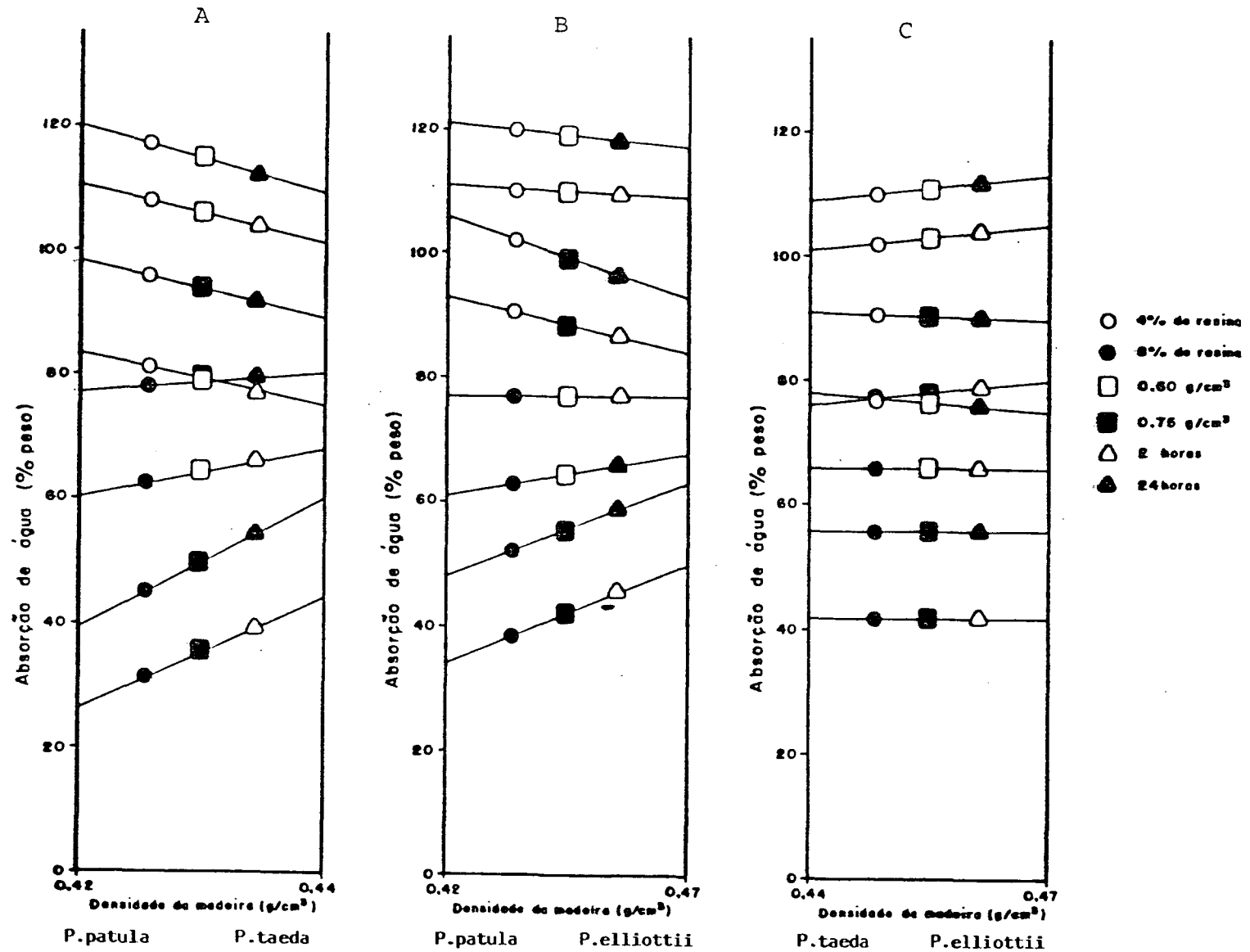
#### b) Covariância

As médias foram ajustadas em função da densidade de chapa para permitir comparação entre os tratamentos. Inicialmente a comparação foi feita para verificar a influência das espécies. Conforme pode ser visto na Fig. 34, o efeito da espécie não foi bem claro quando as comparações foram entre *P. patula* e *P. taeda* e entre *P. patula* e *P. elliottii*, o mesmo não ocorrendo para *P. taeda* e *P. elliottii*. Nos dois primeiros casos, a absorção de água diminuiu com o aumento da densidade da espécie para o nível de 4% de resina, ocorrendo o inverso para o nível de 8% de resina.

TABELA 10 - PROPRIEDADES DAS CHAPAS - ABSORÇÃO DE ÁGUA (% PESO) (VALORES MÉDIOS)

ESPECIE	<i>Pinus taeda</i>								<i>Pinus elliottii</i>								<i>Pinus patula</i>											
	4				8				4				8				4				8							
Nível de resina (%)																												
Densidade das chapas (g/cm <sup>3</sup> )	0,66	0,81	0,70	0,87	0,63	0,75	0,70	0,82	0,62	0,78	0,68	0,81																
Tempo de imersão	2h	24h	2h	24h	2h	24h	2h	24h	2h	24h	2h	24h	2h	24h	2h	24h	2h	24h	2h	24h	2h	24h	2h	24h	2h	24h	2h	24h
Absorção de água (g Res./g)	98,71	106,57	68,61	84,60	65,48	77,74	34,73	49,71	107,36	115,80	88,32	96,82	66,13	75,80	48,49	62,46	112,49	112,49	88,89	102,33	62,92	78,97	34,81	49,18				
Médias Ajust.	101,35	109,16	75,58	90,15	67,13	79,10	42,61	58,19	106,59	115,02	82,26	91,77	66,87	76,43	45,62	59,68	110,63	120,27	87,99	101,84	60,53	76,99	29,8	43,50				
Conteúdo de umidade	11,55	10,40	11,80	9,97	10,83	10,04	10,70	10,14	11,13	10,02	10,96	10,28																

FIGURA 34 - ABSORÇÃO DE ÁGUA (ANÁLISE DE COVARIÂNCIA) - MÉDIAS AJUSTADAS

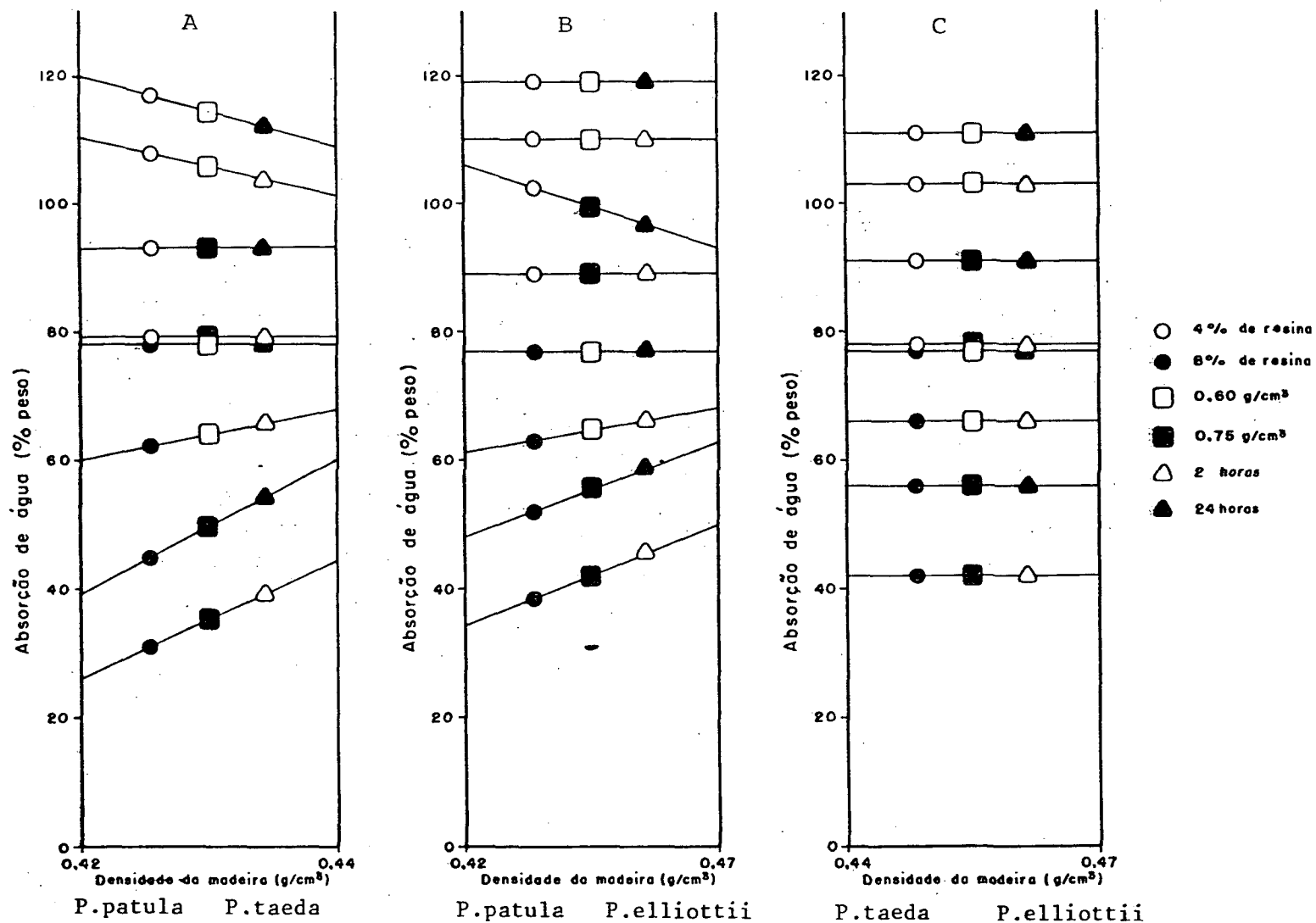


Em seguida as médias foram testadas para verificar a significância ao nível de  $\alpha = 0,01$ . Numa primeira etapa o teste foi realizado para analisar a influência das espécies. Na FIG. 35 ocorreram os seguintes comportamentos:

- a) entre as médias de absorção de água do *Pinus taeda* e *P. elliottii* não houveram diferenças significativas para nenhum dos tratamentos;
- b) para as comparações entre *P. patula* e *P. taeda* e entre *P. patula* e *P. elliottii* a absorção de água aumentou significativamente com o aumento da densidade da madeira para as chapas com 8% de resina, ocorrendo apenas uma exceção para aquelas com  $0,60 \text{ g/cm}^3$  de densidade e 24 horas de imersão, as quais não apresentaram diferenças entre si;
- c) as chapas com 4% de resina apresentaram diferença quando a densidade foi de  $0,60 \text{ g/cm}^3$  para a comparação entre *P. patula* e *P. taeda*. Entre *P. patula* e *P. elliottii*, tratando-se ainda das chapas com 4% de resina, só houve diferença para aquelas com  $0,75 \text{ g/cm}^3$  de densidade e 24 horas de imersão. Quando ocorreram essas diferenças, a tendência foi a da absorção da água diminuir com o aumento da densidade da madeira.

A análise para verificar a influência da densidade de chapa, do conteúdo de resina e do tempo de imersão, ao nível de 99% de probabilidade, resultou no seguinte: a densidade de chapa foi significativa para as chapas com 4% de resina, o mesmo não ocorrendo para as chapas com 8%, quando comparou-se *P. patula* e *P. taeda*. Entretanto, quando a comparação foi entre *P. taeda* e *P. elliottii* o resultado foi oposto, ou seja,

FIGURA 35 - ABSORÇÃO DE ÁGUA (ANÁLISE DE COVARIÂNCIA) - INFLUÊNCIA DAS ESPÉCIES



Obs.: As linhas horizontais indicam a inexistência de diferença significativa ao nível de 99% de probabilidade.

a densidade foi significativa para as chapas com 8% de resina, não sendo para aquelas com 4%. Para a comparação entre *Pinus patula* e *P. elliottii*, não houve diferença devido a densidade de chapa, para todos os tratamentos. A influência do conteúdo de resina e do tempo de imersão foi altamente significativa em todas as comparações (FIG. 36).

#### 4.3.4 Ligação interna (LI)

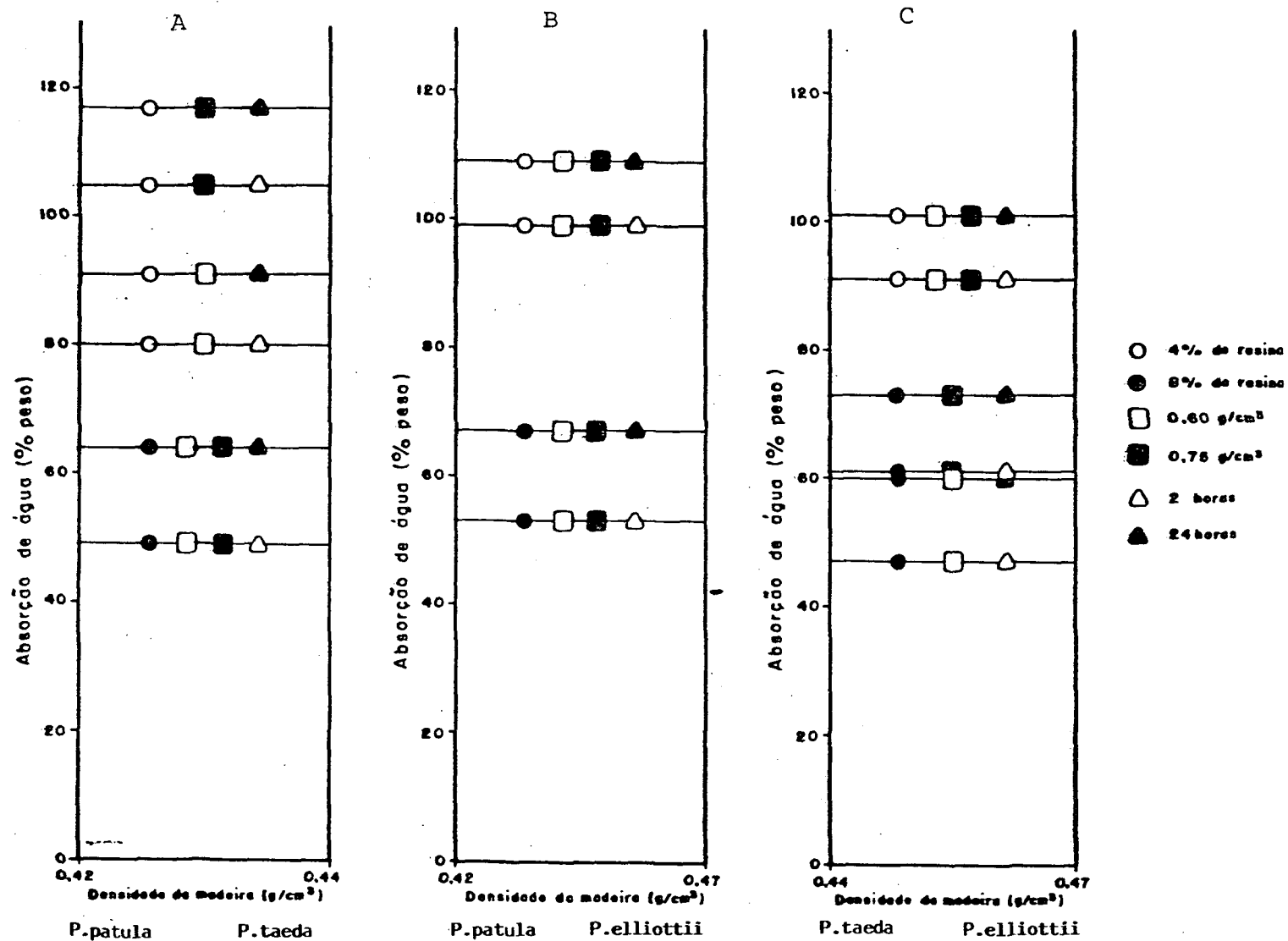
##### a) Valores reais

Na literatura, a ligação interna é bem definida com relação à densidade de chapa e o conteúdo de resina. A densidade da madeira, entretanto, não foi bem definida.

Como pode ser observado na FIG. 37, as relações encontradas neste trabalho estão de acordo com o exposto na literatura. Nesta figura há uma tendência clara de LI aumentar com o aumento da densidade de chapa. O efeito das espécies por sua vez, não foi tão evidente. Entretanto, percebeu-se uma ligeira aproximação entre os valores de LI obtidos para as chapas de *P. taeda* e *P. patula*, apesar desta última espécie ter possibilitado chapas mais densas. As chapas de *P. elliottii* apresentaram os melhores resultados de LI. Com relação ao conteúdo de resina, verificou-se que as chapas menos densas, com nível de resina mais alto, foram ligeiramente superiores às aquelas com menor conteúdo de resina. Todavia, na medida em que a densidade de chapa aumentou, houve uma aproximação dos valores de LI das chapas com menor nível de resina daquelas de maior nível, podendo até mesmo ultrapassá-las.

Os valores médios de LI variaram de 12,69 a 21,24 Kg/cm<sup>2</sup> para *P. taeda*, de 16,13 a 24,49 Kg/cm<sup>2</sup> para *P. elliottii* de 9,32 a 21,69 Kg/cm<sup>2</sup> para *P. patula* (Tabela 11). Estes resultados estão dentro dos intervalos recomendados pela norma comercial CS 236-66

FIGURA 36 - ABSORÇÃO DE ÁGUA (ANÁLISE DE COVARIÂNCIA) - INFLUÊNCIA DA DENSIDADE DE CHAPA, DO CONTEÚDO DE RESINA E DO TEMPO DE IMERSÃO



Obs.: As médias dos tratamentos que não apresentaram diferença significativa ao nível de 99% de probabilidade, foram agrupadas em uma única reta.

FIGURA 37 - TENDÊNCIAS OBSERVADAS ENTRE A RELAÇÃO LIGAÇÃO INTERNA x DENSIDADE DA CHAPA PARA DOIS NÍVEIS DE RESINA

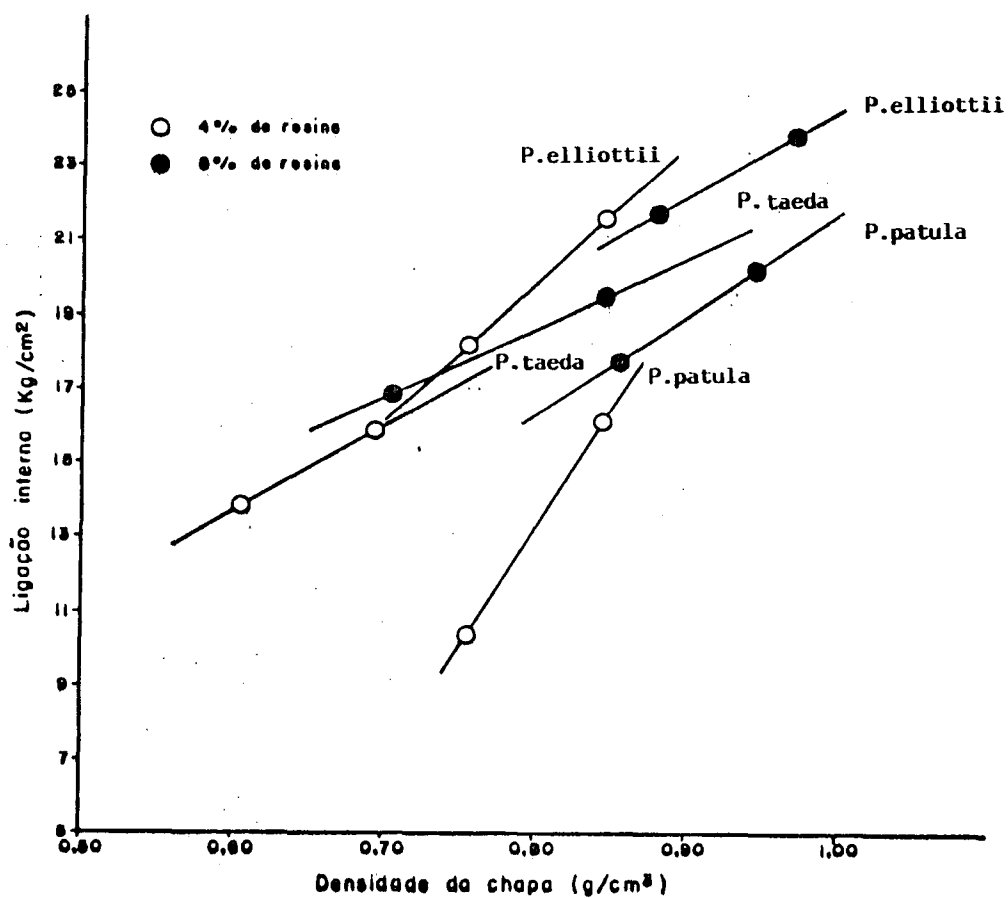


TABELA 11 - PROPRIEDADES DAS CHAPAS - LIGAÇÃO INTERNA (VALORES MÉDIOS)

ESPÉCIE	<i>Pinus taeda</i>				<i>Pinus elliottii</i>				<i>Pinus patula</i>			
	4		8		4		8		4		8	
Nível de resina (%)												
Densidade das chapas (g/cm <sup>3</sup> )	0,56	0,77	0,65	0,94	0,70	0,89	0,84	1,02	0,74	0,87	0,79	1,00
L.I. (Kg/cm <sup>2</sup> )	12,69	17,56	15,83	21,24	16,13	23,24	20,70	24,49	9,32	17,73	15,95	21,69
Médias Ajust.	12,87	18,04	15,95	21,38	16,13	22,91	20,48	24,34	9,15	17,58	16,06	21,72
Conteúdo de umidade	11,47	10,27	11,55	9,65	10,49	9,87	10,43	9,80	10,64	9,67	10,23	9,70

(Tabela 3), confirmando mais uma vez a viabilidade destas chapas para fins estruturais.

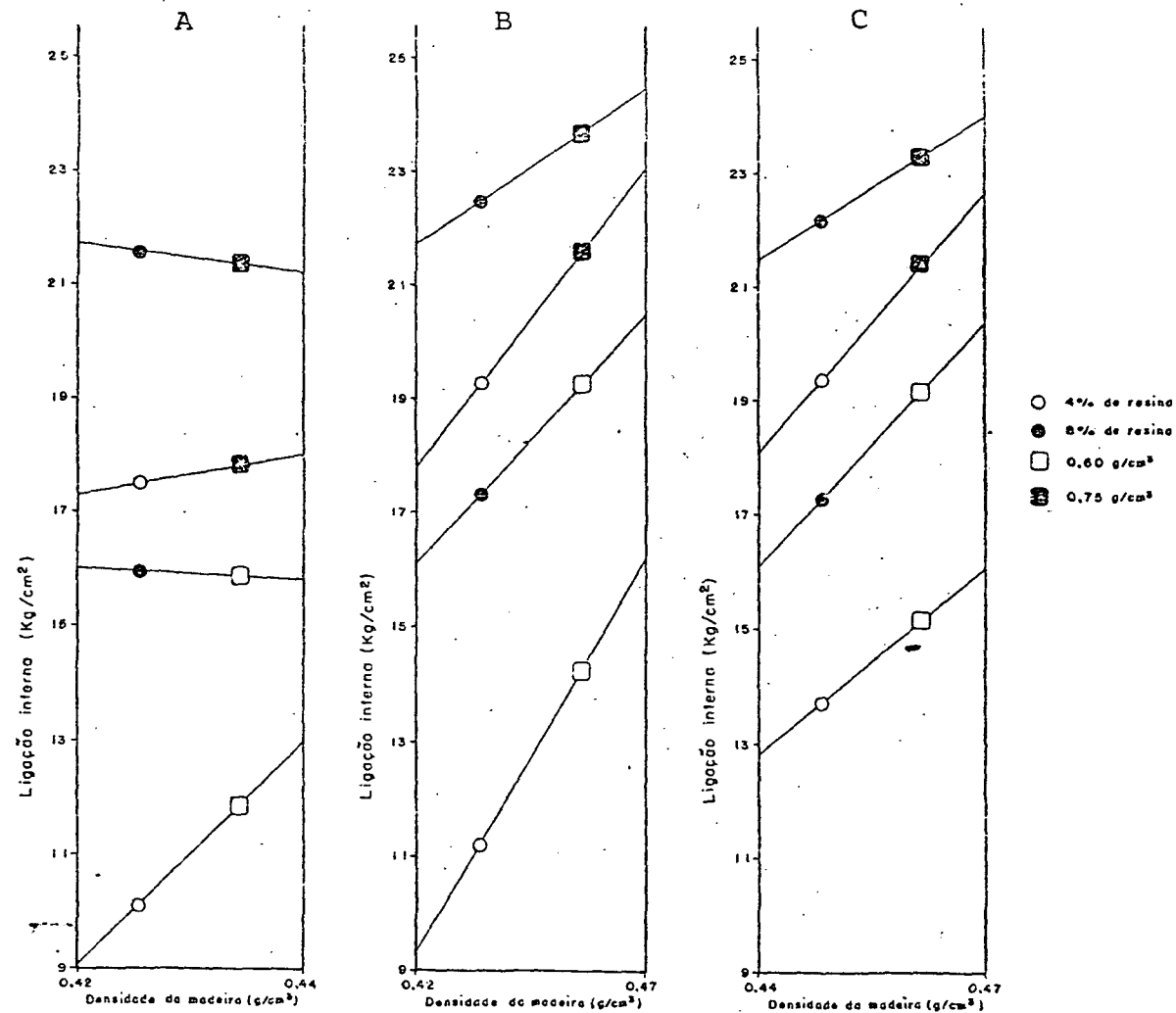
b) Análise de covariância

Os valores médios de ligação interna foram ajustados sobre a densidade de chapa para possibilitar a comparação entre os tratamentos e determinar os seus efeitos. Numa primeira etapa a comparação foi entre as espécies. Daí resultou que, com exceção das curvas de 8% de resina, para a comparação entre *P. patula* e *P. taeda*, a LI apresentou uma tendência em aumentar quando a densidade das espécies aumentaram (Fig.38).

Após uma comparação entre as médias ajustadas, ao nível de  $\alpha=0,01$  de significância, verificou-se que o efeito devido às espécies foi apenas parcial. No caso de *P. patula* e *P. taeda*, houve diferença somente para as chapas com 4% de resina e  $0,60 \text{ g/cm}^3$  de densidade (Fig.39 a). Para *P. patula* e *P. elliottii* não houve diferença somente para as chapas com 8% de resina e  $0,75 \text{ g/cm}^3$  de densidade, sendo diferente para os demais tratamentos (Fig.39 b). Quando a comparação foi feita entre *P. taeda* e *P. elliottii* (Fig.39 c), houve diferença para as chapas com 8% de resina e  $0,60 \text{ g/cm}^3$  de densidade e para as chapas com 4% de resina e  $0,75 \text{ g/cm}^3$  de densidade, não havendo diferença entre os demais tratamentos.

Numa segunda etapa, as médias ajustadas foram comparadas para verificar a influência devido ao conteúdo de resina e densidade de chapa ao nível de 99% de probabilidade (Fig. 40). Quando testadas entre *P. patula* e *P. taeda*, verificou-se a existência de diferença devido ao efeito de ambos os tratamentos. Para o teste entre *P. patula* e *P. elliottii* houve diferença significativa devido a densidade de chapa para o nível de 4% de resina, o mesmo não ocorrendo para 8%; o ní-

FIGURA 38 - LIGAÇÃO INTERNA (ANÁLISE DE COVARIÂNCIA) - MÉDIAS AJUSTADAS

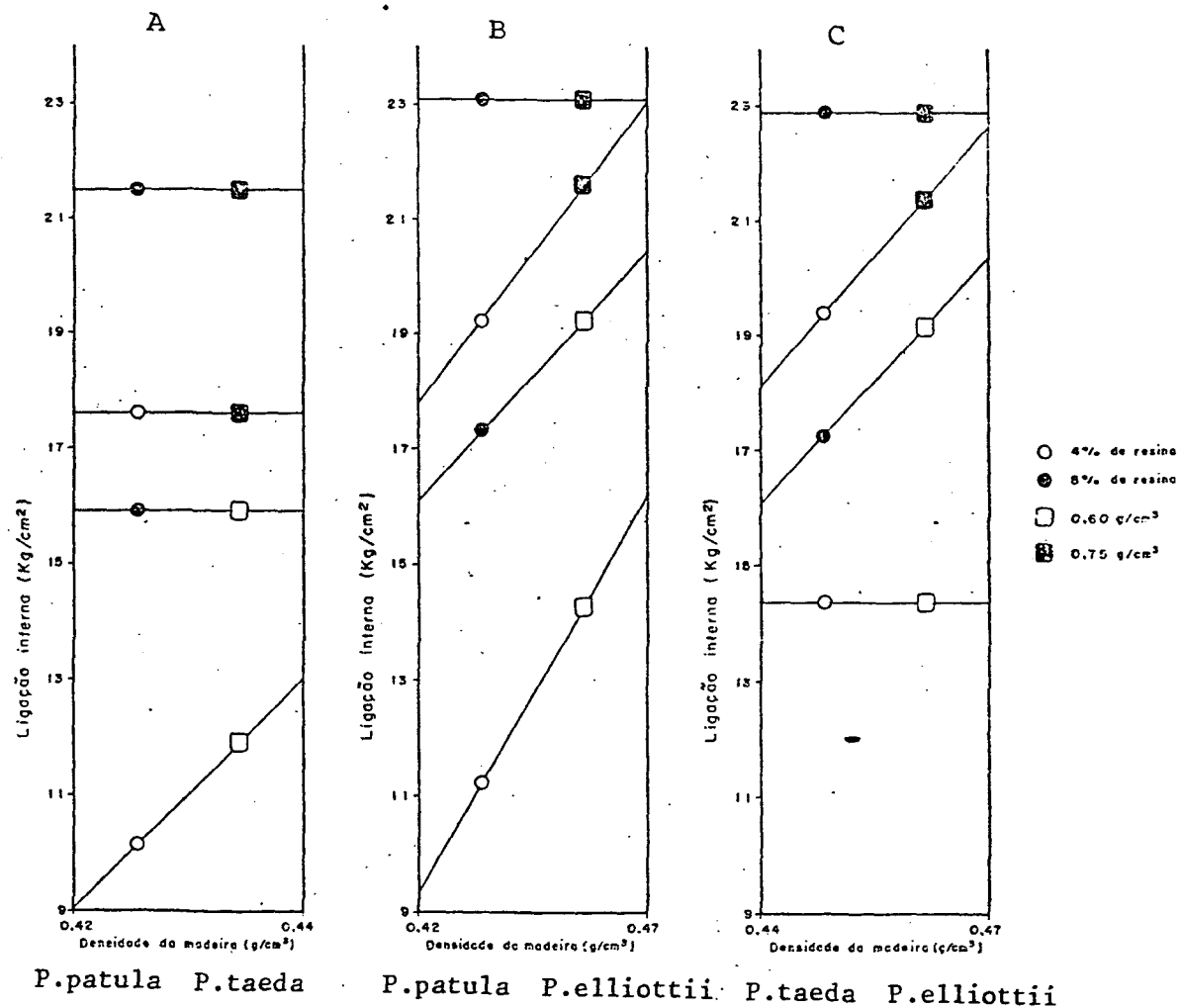


P.patula P.taeda

P.patula P.elliottii

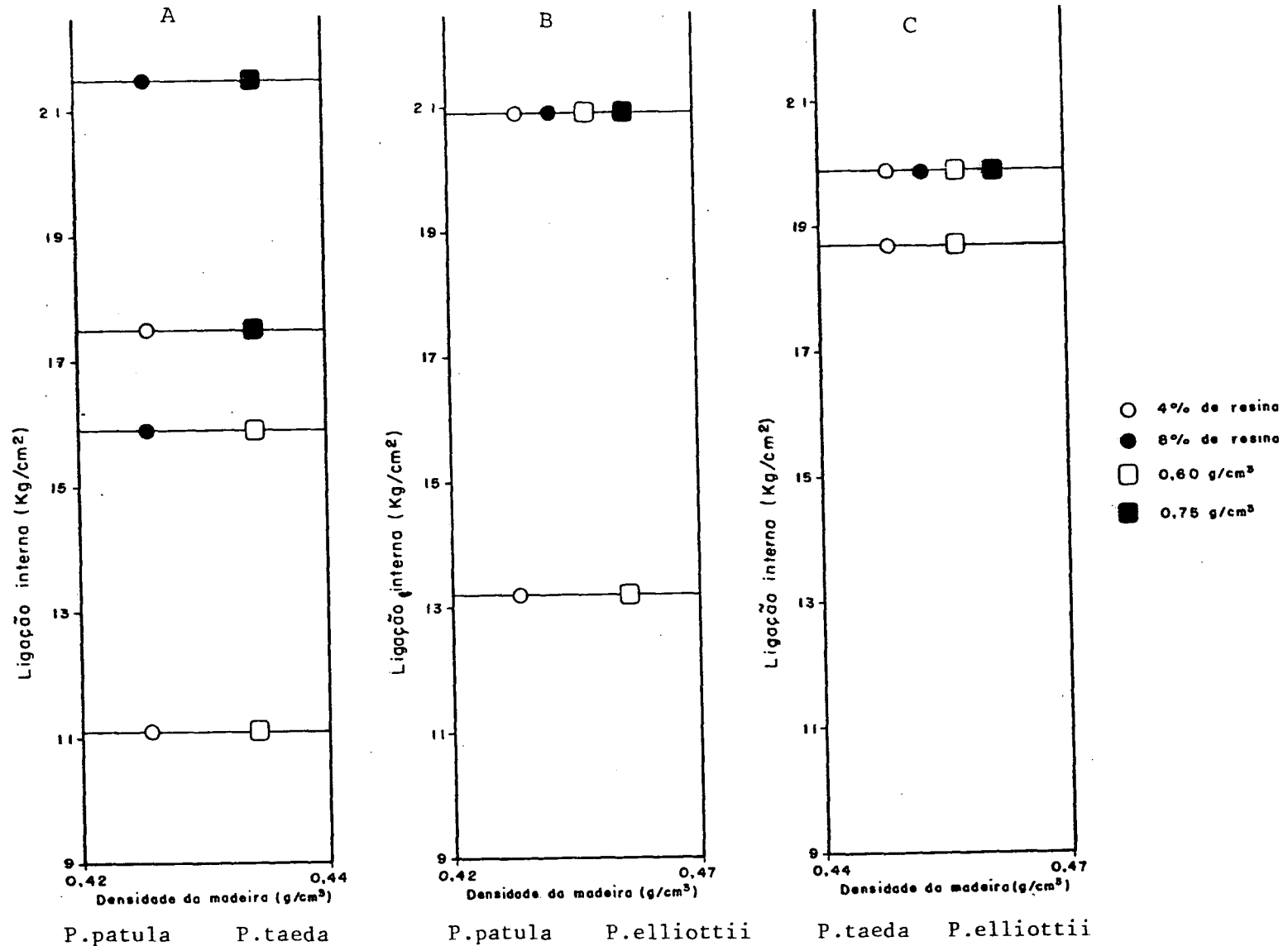
P.taeda P.elliottii

FIGURA 39 - LIGAÇÃO INTERNA (ANÁLISE DE COVARIÂNCIA) - INFLUÊNCIA DAS ESPÉCIES



Obs.: As linhas horizontais indicam a inexistência de diferença significativa ao nível de 99% de probabilidade.

FIGURA 40 - LIGAÇÃO INTERNA (ANÁLISE DE COVARIÂNCIA) - INFLUÊNCIA DA DENSIDADE DE CHAPA E CONTEÚDO DE RESINA



Obs.: As médias dos tratamentos que não apresentaram diferença significativa ao nível de 99% de probabilidade, foram agrupadas em uma única reta.

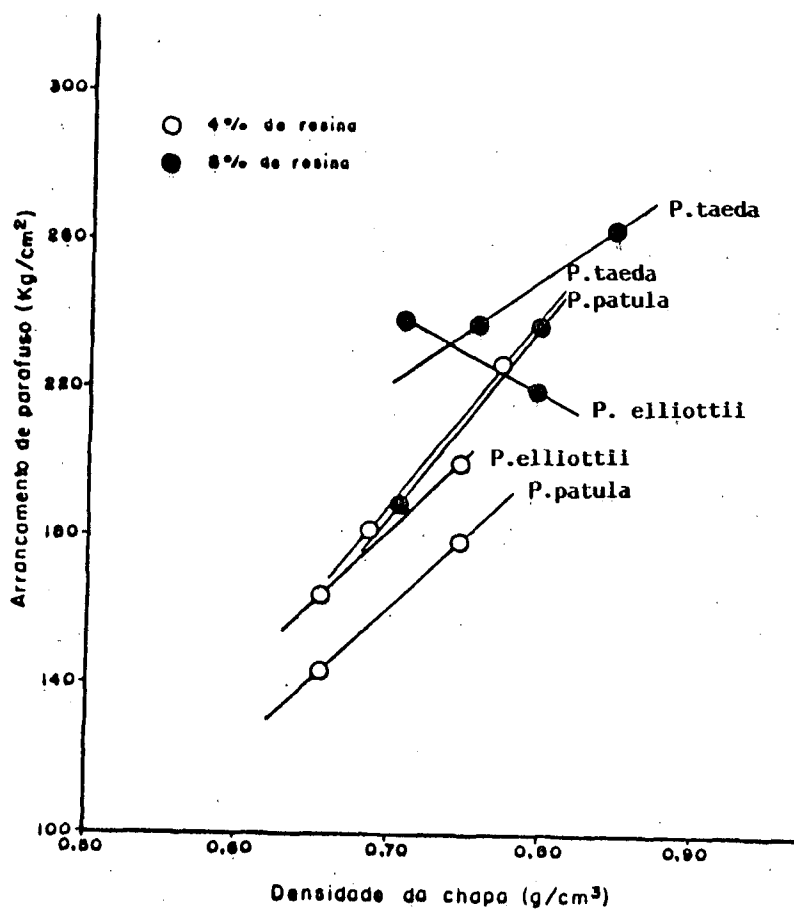
nível de resina, por sua vez, apresentou diferença somente para as chapas com  $0,60 \text{ g/cm}^3$  de densidade. Na terceira comparação, isto é, entre *P. taeda* e *P. elliottii*, não houve diferença devido a densidade de chapa e a influência do conteúdo de resina foi semelhante a do caso anterior, onde somente as chapas com  $0,60 \text{ g/cm}^3$  de densidade apresentaram resultados diferindo significativamente.

#### 4.3.5 Resistência ao arrancamento de parafuso (AP)

##### a) Valores reais

A Figura 41 fornece a relação entre a resistência ao arrancamento de parafuso em Kg e a densidade de chapa em  $\text{g/cm}^3$ . Na literatura esta relação não é muito clara, embora tenha havido uma predominância desta propriedade melhorar com o aumento da densidade de chapa e o conteúdo de resina, enquanto que para a densidade da madeira não houve referências. Pode-se observar, neste trabalho, que houve uma tendência da RAP aumentar com o aumento da densidade de chapa, exceto para as chapas de *P. elliottii* com 8% de resina, onde a tendência foi inversa. Pode-se observar ainda na Figura 41, uma ligeira relação entre os maiores conteúdos de resina e os valores mais altos de RAP. Entre as três espécies estudadas, o *P. taeda* pareceu proporcionar chapas mais resistentes, enquanto que as chapas de *P. elliottii* apresentaram resultados intermediários e as de *P. patula* foram de resistência mais baixa. Deve-se ressaltar entretanto, que estas relações não foram muito bem definidas.

FIGURA 41 - TENDÊNCIAS OBSERVADAS ENTRE A RELAÇÃO RESISTÊNCIA DO ARRANCAMENTO DE PARAFUSO X DENSIDADE DA CHAPA, PARA DOIS NÍVEIS DE RESINA



Os valores médios de RAP variaram de 167,8 a 269,8 Kg para *Pinus taeda*, de 153,4 a 240,4 Kg para *P. elliottii* e de 130,2 a 243,8 Kg para *P. patula* (Tabela 12). Os valores de RAP aqui obtidos superaram aqueles valores exigidos pela norma comercial CS 236-66 (Tabela 3).

#### b) Análise de covariância

As médias foram ajustadas em função da densidade de chapa para permitir a comparação entre os tratamentos. Numa primeira análise, verificou-se a partir da Figura 42, que não houve definição devido ao efeito das espécies, bem como da densidade de chapa e do conteúdo de resina.

Posteriormente, as médias foram comparadas para verificar se houve influência dos tratamentos ao nível de 99% de probabilidade. Verificou-se que nenhum dos tratamentos exerceu influência significativa sobre a RAP, nos limites estudados (Figs. 43 e 44).

TABELA 12 - PROPRIEDADES DAS CHAPAS - ARRANCAMENTO DE PARAFUSO (VALORES MÉDIOS)

ESPÉCIE	<i>Pinus taeda</i>				<i>Pinus elliottii</i>				<i>Pinus patula</i>			
	4		8		4		8		4		8	
Nível de resina (%)												
Densidade das chapas g/cm <sup>3</sup>	0,66	0,81	0,70	0,87	0,63	0,75	0,70	0,82	0,62	0,78	0,68	0,81
Arrancamento de parafuso	167,8	246,8	222,4	269,8	153,4	202,4	240,4	213,6	130,2	191,4	176,8	243,8
Médias Ajust.	160,69	241,82	226,02	245,47	154,73	203,66	238,03	221,42	135,99	195,13	175,56	260,31
Conteúdo de umidade	11,47	10,27	11,55	9,65	10,49	9,87	10,43	9,80	10,64	9,67	10,23	9,70

FIGURA 42 - RESISTÊNCIA AO ARRANÇAMENTO DO PARAFUSO (ANÁLISE DE COVARIÂNCIA) - MÉDIAS AJUSTADAS

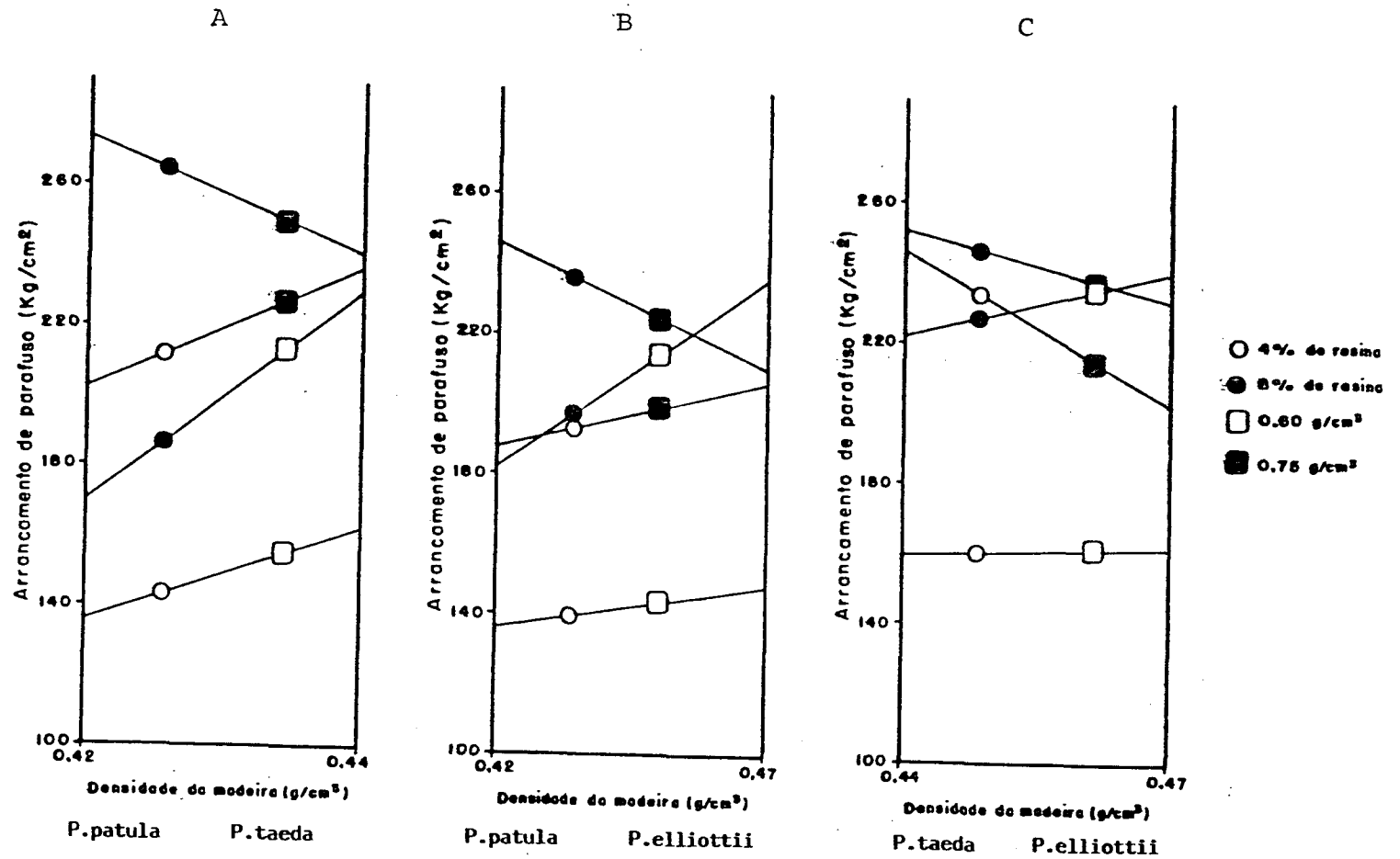
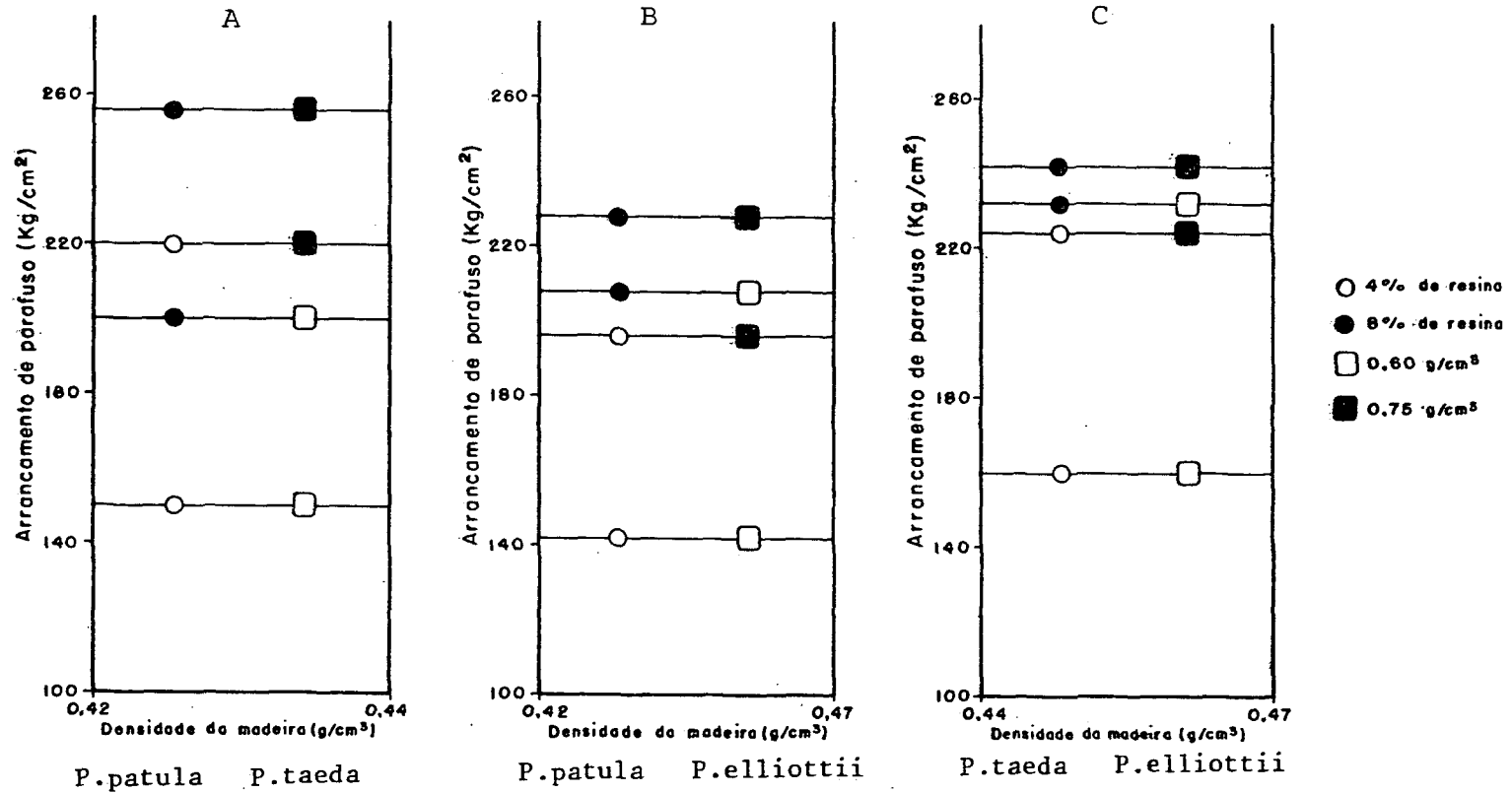
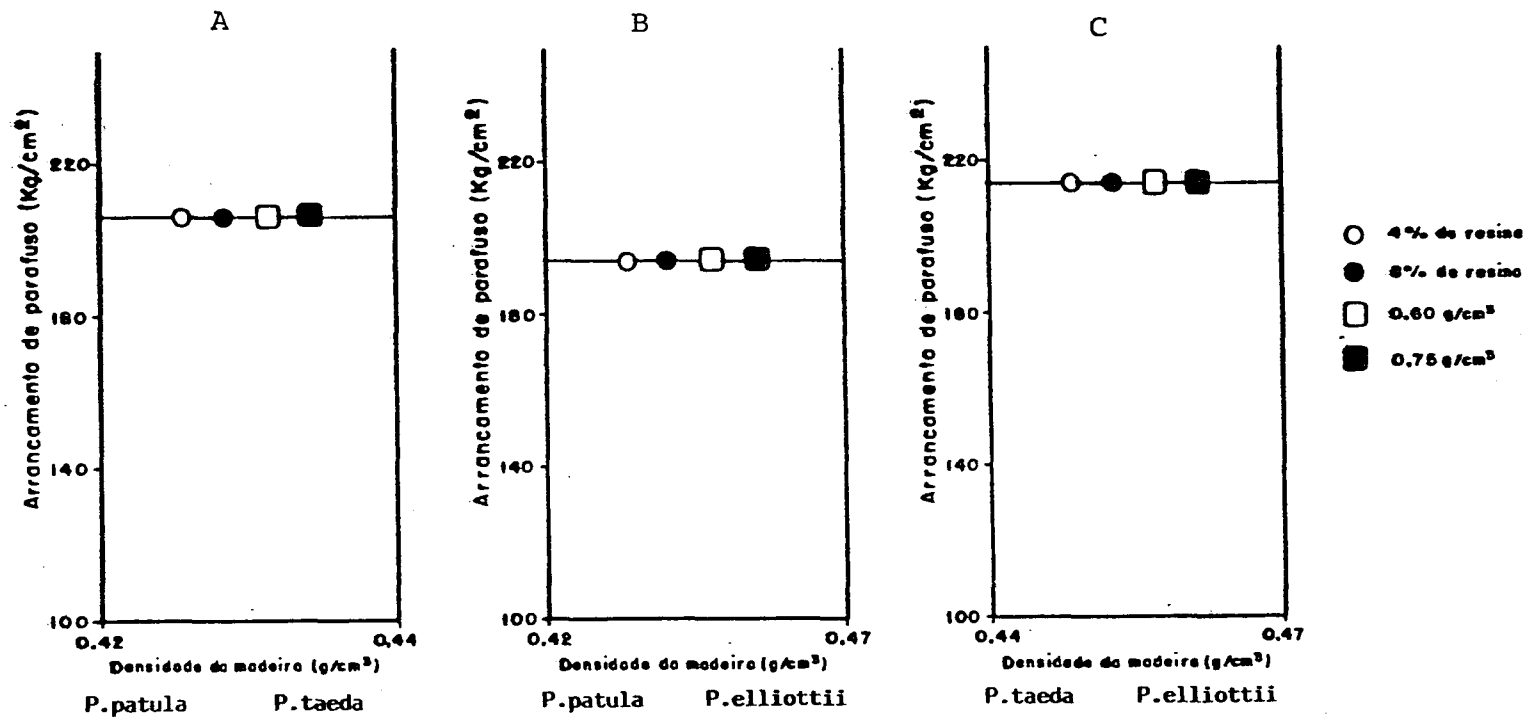


FIGURA 43 - RESISTÊNCIA AO ARRANCAMENTO DO PARAFUSO (ANÁLISE DE COVARIÂNCIA) - INFLUÊNCIA DAS ESPÉCIES



Obs.: As linhas horizontais indicam a inexistência de diferença significativa ao nível de 99% de probabilidade.

FIGURA 44 - RESISTÊNCIA AO ARRANCAMENTO DO PARAFUSO (ANÁLISE DE COVARIÂNCIA) - INFLUÊNCIA DA DENSIDADE DE CHAPA E CONTEÚDO DE RESINA



Obs.: As médias dos tratamentos que não apresentaram diferença significativa ao nível de 99% de probabilidade, foram agrupadas em uma única reta.

## 5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES

1 O aumento na densidade de chapa de 0,60 para 0,75 g/cm<sup>3</sup> e do conteúdo de resina de 4 para 8 por cento refletiu em um conseqüente aumento no MOR e MOE. Apesar da variação de densidade das espécies utilizadas ter sido pequena, permitiu verificar que as espécies de densidade mais baixa proporcionaram chapas com maiores valores de MOE, o que se deu, certamente, pela maior compactação da chapa, aumentando o contato entre partículas e diminuindo os espaços vazios.

Na análise de covariância, o efeito da densidade de chapa e do conteúdo de resina sobre o MOE não foram significantes ao nível de 99% de probabilidade. Porém, o efeito das espécies permaneceu, com o *Pinus patula* sendo superior em MOE aos demais, *P. taeda* e *P. elliottii*, que não apresentaram diferenças entre si. Para o MOR a situação foi um pouco diferente. Neste caso, as espécies não tiveram efeito, o que não aconteceu com a densidade de chapa e o conteúdo de resina. Para as chapas com 8% de resina, aquelas com 0,75 g/cm<sup>3</sup> foram significativamente superiores às de 0,60 g/cm<sup>3</sup>, para a comparação entre as médias de *P. taeda* e *P. elliottii*. Para os demais casos não houve diferença significativa.

2 No teste de Expansão Linear o efeito das variáveis não foram bem definidos. Quando procedeu-se o teste estatís-

tico, somente um tratamento apresentou diferença significativa. Este efeito foi devido à densidade da espécie e ocorreu entre as médias de *Pinus taeda* que foram maiores e *P. patula* as menores, para as chapas com 4 por cento de resina e  $0,75 \text{ g/cm}^3$ . Os valores encontrados para esta propriedade foram bastante baixos e, de certa forma, erráticos, dificultando outras possíveis análises.

3 O efeito do conteúdo de resina foi bastante evidente no teste de Inchamento em espessura, de tal forma que as chapas com 8 por cento de resina foram bem mais estáveis do que aquelas com 4 por cento. O efeito da densidade de chapa e das espécies não foi claro para as chapas com 8 por cento de resina. Para aquelas com 4%, um aumento na densidade de chapa acentuou o I.E.; quanto às espécies, somente o *P. patula* se destacou ligeiramente com os maiores valores de IE, enquanto que o *P. taeda* e *P. elliottii* apresentaram valores próximos um do outro. O prolongamento do tempo de imersão, por sua vez, acarretou um conseqüente aumento no IE.

A análise estatística, ao nível de 99% de probabilidade, veio confirmar a eficiência da resina quando aumentou-se o nível de 4 para 8 por cento, diminuindo significativamente o IE. O efeito das espécies foi significativo em alguns casos, mas de maneira um tanto errática. O aumento na densidade de chapa proporcionou um aumento significativo no IE para as chapas de *P. patula* e *P. taeda* com 4% de resina fenólica, como também para as chapas de *P. taeda* e *P. elliottii* com 8% de resina. O tempo de imersão em água acarretou, predominantemente, um significativo aumento no IE para as chapas com 8% de resina, não tendo influência sobre aquelas com 4% de resina. Isto

mostra que nas primeiras horas de imersão, ou seja 2 horas, o maior conteúdo de resina propiciou uma maior estabilidade em espessura.

4 Com relação à absorção de água, três tendências ficaram bem definidas:

- a) um aumento na densidade de chapa acarretou uma diminuição na absorção de água;
- b) as chapas com 4% de resina absorveram mais água do que aquelas com 8%;
- c) com o aumento do tempo de imersão em água de 2 para 24 horas houve um conseqüente aumento na absorção de água.

Com base na análise de covariância, verificou-se que as espécies exerceram influência significativa sobre a absorção da água para as comparações entre *P. patula* e *P. taeda* e entre *P. patula* e *P. elliottii*, onde as tendências foram contrárias em função do conteúdo de resina, ou seja, para as chapas com 4% de resina, um aumento na densidade da madeira diminuiu a absorção de água e para aquelas com 8% de resina, o aumento na densidade da madeira proporcionou um aumento na absorção de água. Entre *P. taeda* e *P. elliottii* não houve diferença significativa em absorção de água. O efeito da densidade de chapa foi significativo somente para dois casos, isto é, para as chapas de *P. patula* e *P. taeda* com 4% de resina e para as chapas de *P. taeda* e *P. elliottii* com 8% de resina, não acarretando diferença para os demais casos. O conteúdo de resina e o tempo de imersão foram altamente significativos, porém de maneiras opostas. Pois, o aumento no conteúdo de re-

sina reduziu acentuadamente a absorção de água, enquanto que o prolongamento do tempo de imersão, aumentou em muito a absorção de água.

5 A ligação interna apresentou uma tendência bem definida em aumentar com o aumento da densidade de chapa. Com relação ao efeito das espécies, o *Pinus taeda* e *P. patula* apresentaram valores próximos, enquanto que o *P. elliottii*, a espécie mais densa, apresentou os valores mais altos de LI. As chapas com conteúdo de resina mais elevado foram ligeiramente superiores às aquelas de menor conteúdo.

A análise de covariância demonstrou que as espécies exerceram influência sobre a LI de maneira relativamente bem definida, onde as espécies com densidades mais altas proporcionaram maiores valores de LI. A densidade de chapa e o conteúdo de resina exerceram determinada influência sobre a LI, porém não foi bem definida com relação aos tratamentos.

6 Houve uma predominância da resistência ao arrancamento de parafuso (RAP) aumentar com o aumento da densidade de chapa. Da mesma forma, os maiores conteúdos de resina estiveram relacionados com os valores mais altos de RAP. Quanto às espécies, a relação não foi clara.

A análise de covariância demonstrou não haver diferença significativa entre as médias de RAP, ao nível de 99% de probabilidade.

7 As três espécies utilizadas para a confecção das chapas, apresentaram características bastante satisfatórias com relação às propriedades de resistência e estabilidade dimensional. De maneira geral, o comportamento dessas três espê-

cies foi semelhante, merecendo destaque somente o *P. patula* em termos de MOE.

8 No teste de estabilidade dimensional, os resultados de expansão linear foram excelentes. O inchamento no sentido da espessura pareceu ser um pouco elevado, mas deve-se considerar que as condições do teste foram bastante drásticas e nenhum tratamento adicional contra umidade foi utilizado.

9 A densidade de chapa e o conteúdo de resina tiveram influência na grande maioria dos casos, variando em função da espécie utilizada. O conteúdo de resina foi altamente significativo quando as chapas foram imersas diretamente em água, reduzindo em muito o IE e a Absorção de água.

10 As chapas "wafers" produzidas neste trabalho, demonstraram ser altamente viáveis qualitativamente, uma vez que corresponderam e não raramente superaram os valores mínimos exigidos pela norma comercial americana CS 236-66, normalmente utilizada como padrão para este tipo de chapa.

#### SUGESTÕES

1 Seria de interesse desenvolver estudos adicionais no sentido de melhorar a estabilidade dimensional das chapas estudadas. Pois, apesar da expansão linear ter sido baixa o inchamento em espessura foi um tanto acentuado. Nesse sentido poderia se usar pré-tratamentos como revestimento superficial e/ou tratamentos adicionais como ceras ou similares. Alguma melhora em resistência mecânica e estabilidade dimensional também poderá ser alcançada com a orientação das partículas.

2           Outros tipos de matéria-prima deverão ser estudadas, a nível nacional, principalmente aquelas de baixo valor comercial como resíduos e espécies inadequadas para outros usos, o que certamente contribuirá em muito para a redução dos custos do produto final.

3           A viabilidade técnica das chapas "waferboards" manufaturadas a partir das três espécies de *Pinus* estudadas ficou comprovada neste trabalho. Agora resta elaborar estudos econômicos, que virão fornecer as informações finais para a tomada de decisões quanto à introdução desse produto no mercado brasileiro.

## SUMMARY

In this research composition boards of the wafer type, length and thickness of the particles, controlled for structural purposes were manufactured. The raw material used in the manufacturing process came from pure plantations of *Pinus taeda*, *Pinus elliottii* and *Pinus patula* seventeen years of age. For each species thirty boards were hot pressed being the press cycle constant - 160°C - 35 kg/cm<sup>2</sup> - 9 min closed time. For experimental purposes the boards had 1.3 cm thickness, nominal densities 0.60 and 0.75 g/cm<sup>3</sup> and the resin used was phenol-formaldehyde in two levels 4 and 8 percent. The variables measured: modulus of rupture (MOR), modulus of elasticity (MOE), linear expansion (LE), thickness swelling (TS), water absorption (WA), internal bond (IB) and screw holding capacity (SHC). The minimum and maximum average values for the three species were: MOR - 245.16 and 559.18 kg/cm<sup>2</sup>; MOE - 52017 and 105503 kg/cm<sup>2</sup>, LE - 0.036 and 0.109 percent, TS (2hs) 23.09 and 59.41 percent (24 hs) 30.16 and 65.33 percent, WA (2 hs) - 34.73 and 112.49 percent (24 hs) 49.18 and 112.07 percent IB - 9.32 and 24.49 kg/cm<sup>2</sup> and SHC - 130.2 and 269.8 kg. This results showed that the boards comply with the commercial standard CS 236-66 normally used in the USA. One observation is that for the thickness swelling test the values look a little high but the exposure was very extreme direct water immersion 2 hs and 24 hs with no pre-treatment of the boards.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 AKERS, L.E. Particleboard and hardboard. Oxford, Pergamon Press, 1966. 172 p.
- 2 AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM Standards, wood; adhesives. Philadelphia, 1978.
- 3 BROWN, F.L. et alii. Impregnation to control dimensional stability of particleboard and fibreboard. For. Prod. J., 16(11). 45-53, 1966.
- 4 BURROWS, C.H. Some factors affecting resin efficiency in flakeboard. For. Prod. J., 11(1): 27-33, 1961.
- 5 COMMERCIAL Standard CS 236-66 - Mat formed wood particleboard, 1968.
- 6 CRUZ, A. Properties of experimental particleboard from three Costa Rican hardwoods. In procesamiento de maderas tropicales de alta densidad. Acta de la reunion de IUFRO. Merida, Laboratorio Nacional de Productos Forestales, 1980. 23 p.
- 7 ECKELMAN, C.A. Screwholding performance in hardwoods and particleboard. For. Prod. J., 25(6): 30-35, 1975.
- 8 GATCHELL, C.J. et al. Influence of component variables on properties of particleboard for exterior use. For. Prod. J., 16(4): 46-59, 1966.
- 9 HALLIGAN, A.F. & SCHNIEWIND, A.P. Effect of moisture on physical and creep properties of particleboard. For. Prod. J., 22(4): 41-8, 1972.

- 10 HAYGREEN, J.G. & GERJEJANSEN, R.O. Improving the properties of particleboard by treating the particles with phenolic impregnating resin. Wood and Fiber, 3(2), 1971.
- 11 \_\_\_\_\_. & \_\_\_\_\_. Influence of the amount and type of phenolic resin on the properties of a wafer-type particleboard. For. Prod. J., 22(12): 30-34, 1972.
- 12 HSE, C.Y. Properties of flakeboards from hardwoods growing on Southern pine sites. In: ANNUAL MEETING OF THE FOREST PRODUCTS RESEARCH SOCIETY, 28., 1974. Proceedings. Chicago, 1974.
- 13 \_\_\_\_\_. Formulation of an economical fast-cure phenolic resin for exterior hardwood flakeboard. In: PARTICLEBOARD SYMPOSIUM, 9., 1975. Washington, Washington State University, 1975.
- 14 KEINERT Jr., S. Laboratory evaluation of *Eucalyptus grandis* and *Eucalyptus robusta* for the manufacture of composition board. (Tese. Doutorado).
- 15 LARMORE, F.D. Influence of specific gravity and resin content on properties of particleboard. For. Prod. J., 9(4): 131-4, 1959.
- 16 LEHMANN, W.F. & HEFTY, F.V. Resin efficiency and dimensional stability of flakeboards. USDA For. Serv. Res. Pap. FPL-207, 1973. 8 p.
- 17 LEHMANN, W-F. Properties of structural particleboards. For. Prod. J., 24(1): 19-26, 1974.
- 18 \_\_\_\_\_. Cyclic moisture conditions and their effect on strenght and stability of structural flakeboards. For. Prod. J., 28(6): 23-31, 1978.
- 19 LEHMANN, W.F. & CHAFFER, E.L. Determining optimum thickness-to-weight ratio for structural flakeboard panels. In: WASHINGTON STATE UNIVERSITY SYMPOSIUM ON PARTICLEBOARD, 1980. Proceedings. Washington, State Univ., 1980. p. 127-140.
- 20 MALONEY, T.M. Modern particleboard and dry-process fiberboard manufacturing. San Francisco, Miller Freeman, 1977. 672 p.

- 21 MARRA, A.A. et alii. Low density composites from high density hardwoods. Massachusetts Agricultural Exp. Sta. Bul., 610, 1975.
- 22 MOSLEMI, A.A. Particleboard. Illinois, Southern Illinois University Press, 1974. v.1, 245 p.
- 23 NEBDAL, F. Testing screw-and nail holding in particleboards. Drev. Výskum., 6(1): 19-24, 1961.
- 24 POST, P.W. Effect of particle geometry and resin content on bending strenght of oak flabeboard. For. Prod. J., 8(10): 317-22, 1958.
- 25 \_\_\_\_\_. Relationship of flake size and resin content to mechanical and dimensional properties of flakeboard. For. Prod. J.
- 26 PRICE, E.W. & LEHMANN, W.F. Flaking alternatives. In: SYMPOSIUM STRUCTURAL FLAKEBOARDS FROM FOREST RESIDUES, 1978. Proceedings. (USDA For. Serv. Gen. Tech. Rep. WO-5)
- 27 RICE, J.T. & CAREY, R.H. Wood density and board composition effects on phenolic resin-bond flakeboard. For. Prod. J., 28(4): 21-28, 1978.
- 28 ROFFAEL, E. & RAUCH, W. Influence of density on the swelling behavior of phenolic-bonded particleboards. Holz Roh Werkst., 30(5): 178-181, 1972.
- 29 SOBRAL FILHO, M. The influence of wood furnish type on properties of oriented stand panels. Idaho, 1979. Dissertação. Doutorado. University of Idaho.
- 30 STEWART, H.A. & LEHAMNN, W.F. High-quality particleboard from cross-grain, knife-planed hardwood flakes. For. Prod. J., 23(8): 52-60, 1973.
- 31 SUCHSLAND, O. Somer performande characteristics of 'interior' and 'exterior' type particleboard. Quart. Bull. Michigan Agric. Exper. Sta., 49(2): 200-210, 1966.
- 32 \_\_\_\_\_. Compression shear test for determination of internal bond strenght in particleboard. For. Prod. J., 27(1): 32-36, 1977.

- 33 SUCHSLAND, O. Hygroscopic thickness swelling and related properties of selected comercial particle-board. For. Prod. J., 23(7): 26-30, 1973.
- 34 VITAL, B.R. et al. How species and board densities affect properties of exotic hardwood particleboards. In: ANNUAL MEETING OF THE FOREST PRODUCTS RESEARCH SOCIETY, 28., 1974. Proceedings. Chicago, 1974.
- 35 VITAL, B.R. & WILSON, J.B. Efeito da forma geométrica dos flocos e partículas, da densidade das chapas e do tipo de adesivo nas propriedades mecânicas das chapas de madeira aglomerada. Rev. Árvore, 4(2): 179-187, 1980.