

Agrop-33

MARIO MICHAQUE MIGUEL ALBERTO



EFEITO DA GEOMETRIA DAS PARTICULAS E DA DENSIDADE, SOBRE AS PROPRIEDADES DE PAINÉIS ESTRUTURAIS "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.

TM/115V

CURITIBA
1992

Agrop-33

MARIO MICHAQUE MIGUEL ALBERTO

Exemplar do
Arquivo
M. P. C.


EFEITO DA GEOMETRIA DAS PARTÍCULAS E DA DENSIDADE, SOBRE AS PROPRIEDADES DE PAINÉIS ESTRUTURAIS "WAFERBOARDS"

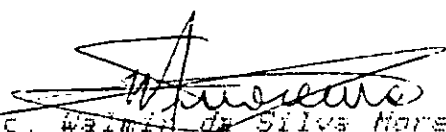
Dissertação submetida à consideração da
Comissão Examinadora, como requisito
parcial para a obtenção do título de
"Mestre em Ciências - M.Sc." no Curso
de Pós-Graduação em Engenharia Florestal
do Setor de Ciências Agrárias da Univer-
sidade Federal do Paraná.

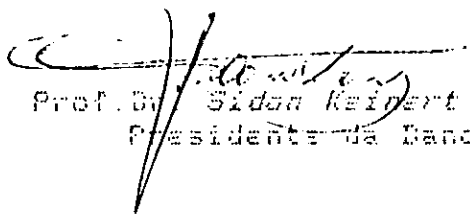
P A R E C E R

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado apresentada pelo candidato **MARIO NICHAUQUE MIGUEL ALBERTO**, sob o título "**EFEITO DA GEOMETRIA DAS PARTICULAS E DA DENSIDADE, SOBRE AS PROPRIEDADES DE PAINÉIS ESTRUTURAIS "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 em **TECNOLOGIA E UTILIZAÇÃO DE PRODUTOS FLORESTAIS**, após haver analisado o referido trabalho e arguido o candidato, são de parecer pela "**APROVAÇÃO**" da Dissertação, com nota final: **A**

Curitiba, 20 de novembro de 1992


Pesq. Dr. **Setso Iwakiri**
Primeiro Examinador


Prof. M.Sc. **Walmir de Silva Moreira**
Segundo Examinador


Prof. Dr. **Sidon Keipert Junior**
Presidente da Banca

A memória do

meu pai - Michaque

à minha esposa - Gilda

e filho - Kenny

pelo apoio e compreensão

à minha mãe

e à minha sogra

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Ph. D. Sidon Keinert Júnior, pela orientação, incentivo na realização deste trabalho.

Ao Prof. Ph. D. Ivan Tomaselli, pela co-orientação e sugestões apresentadas.

Aos Professores Dr. Dartagnam B. Emerenciano e M.Sc. Nelson Rosot, pelo seu incansável apoio.

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 Pro-Reitoria de Pós-Graduação da Universidade Federal do Paraná pelo apoio prestado.

A CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior, pela concessão de bolsa de estudos.

Ao programa PNUD - Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento, pela complementação da bolsa de estudos.

A UEM - Universidade Eduardo Mondlane, que possibilitou a realização do Curso de Pós-Graduação.

Ao Colégio Florestal do Iratí, pelo fornecimento do material para a elaboração deste trabalho.

Aos funcionários do Curso de Engenharia Florestal, em particular ao Sr. Ademir Cavali e ao pessoal da Biblioteca do Setor de Ciências Agrárias.

Ao acadêmico Fábio Gorski, pela sua colaboração na execução do experimento.

A todos aqueles que emprestaram sua amizade e apoio durante a realização deste curso, em particular; Daniel Macarringue, Hélder Sueia, Edvã O. Brito, Jorge Matos, Paulo Pires, Emmanuel Rozas e Carlos Rincoski.

BIOGRAFIA

MARIO MICHAQUE MIGUEL ALBERTO, filho de Michaque Miguel Alberto e Filita Valente Machiana, nasceu na cidade e província de Maputo-Moçambique, em 12 de junho de 1964.

Realizou os seus estudos desde o nível primário até a sua graduação como Engenheiro Florestal, na cidade de Maputo-Moçambique. Os estudos primários foram na então Escola Primária São Miguel da Munhuana(1970-1975). Iniciou os estudos secundários na Escola Secundária do Noroeste-1(1976), concluindo na Escola Secundária Josina Machel(1980). Entre 1981 e 1982, concluiu os seus estudos do nível médio, na Escola Secundária Francisco Manyanga.

Iniciou os estudos de graduação em Engenharia Forestal na Faculdade de Agronomia e Engenharia Florestal da Universidade Eduardo Mondlane, em março de 1983, tendo concluído o curso em julho de 1987.

Em março de 1990 ingressou no Curso de Mestrado em Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná, na área de concentração de Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais.

Durante o período de setembro de 1987 a dezembro de 1989, exerceu actividades na empresa IFLOMA - Indústrias

Florestais de Manica, em Manica-Moçambique, onde foi Chefe de Pátio de Toros e depois Chefe da Serraria.

Atualmente exerce as funções de Professor Assistente do Departamento de Engenharia Florestal da Faculdade de Agronomia e Engenharia Florestal da Universidade Eduardo Mondlane, Maputo-Moçambique.

SUMARIO

	<u>LISTA DE FIGURAS</u>	ix
	<u>LISTA DE TABELAS</u>	xiii
	<u>RESUMO</u>	xvi
1	<u>INTRODUÇÃO</u>	1
2	<u>REVISÃO DA LITERATURA</u>	6
2.1	ESTUDOS ANTERIORES NO BRASIL.....	6
2.2	FATORES QUE INFLUENCIAM NA QUALIDADE DAS CHAPAS.....	8
2.2.1	Geometria das Partículas.....	8
2.2.1.1	Generalidades.....	8
2.2.1.2	Efeito Sobre as Propriedades das Chapas.....	9
2.2.2	Densidade das Chapas.....	13
2.2.2.1	Generalidades.....	13
2.2.2.2	Efeito Sobre as Propriedades das Chapas.....	14
2.2.3	Aplicação da Parafina.....	19
2.2.3.1	Generalidades.....	19
2.2.3.2	Efeito Sobre as Propriedades das Chapas.....	19
3	<u>MATERIAL E METODOS</u>	20
3.1	MATÉRIA PRIMA.....	20
3.2	DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE DA MADEIRA.....	20
3.3	MANUFATURA DAS CHAPAS.....	24
3.3.1	Plano Experimental.....	24

3.3.2	Geração das partículas.....	24
3.3.3	Secagem das partículas e Controle da Umidade.....	28
3.3.4	Armazenagem e Determinação das Dimensões das Partículas.....	28
3.3.5	Cálculo da Quantidade de Material Necessário.....	29
3.3.6	Aplicação da Resina e da Parafina.....	31
3.3.7	Formação do Colchão.....	32
3.3.8	Prensagem.....	32
3.3.9	Acondicionamento.....	32
3.4	AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES DAS CHAPAS.....	33
3.4.1	Preparo dos Corpos de Prova.....	33
3.4.2	Propriedades das Chapas.....	33
3.5	ANALISE ESTATISTICA.....	35
4	<u>RESULTADOS E DISCUSSÃO</u>	37
4.1	DENSIDADE DAS CHAPAS.....	37
4.2	GEOMETRIA DAS PARTICULAS.....	37
4.3	PROPRIEDADES DAS CHAPAS.....	40
4.3.1	Módulo de Elasticidade(MOE) e de Ruptura(MOR)....	40
4.3.2	Ligação Interna(LI).....	55
4.3.3	Arrancamento de Parafuso(RAP).....	62
4.3.4	Absorção de Agua(AA).....	69
4.5.5	Inchamento em Espessura(IE).....	79
4.3.6	Expansão Linear(EL).....	89
5	<u>CONCLUSOES E RECOMENDACOES</u>	95
	<u>SUMMARY</u>	98
	<u>ANEXOS</u>	99
	<u>REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS</u>	118

LISTA DE FIGURAS

FIGURA

1	PLANTAÇÕES DE <i>Pinus</i> EM MOÇAMBIQUE.....	3
2	ESQUEMA DE RETIRADA DOS TORETES NA ARVORE ABATIDA....	21
3	ESQUEMA DE CONFECCÃO DOS CORPOS DE PROVA PARA A DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE DA MADEIRA.....	22
4	ESQUEMA DE PREPARAÇÃO DOS BLOCOS PARA A OBTENÇÃO DAS PARTICULAS.....	26
5	ILUSTRAÇÃO DAS DIFERENTES GEOMETRIAS DE PARTICULAS....	27
6	ESQUEMA DE RETIRADA DOS CORPOS DE PROVA NAS CHAPAS PARA AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES.....	34
7	RELAÇÃO ENTRE O MÓDULO DE ELASTICIDADE(MOE) COM AS VARIÁVEIS EM ESTUDO - VALORES MÉDIOS AJUSTADOS.....	44
8	RELAÇÃO ENTRE O MÓDULO DE RUPTURA(MOR) COM AS VARIÁVEIS EM ESTUDO - VALORES MÉDIOS AJUSTADOS.....	45
9	RELAÇÃO ENTRE A RAZÃO DE ESBELTEZ DAS PARTICULAS COM O MÓDULO DE ELASTICIDADE - VALORES MÉDIOS AJUSTADOS.....	47

10	RELAÇÃO ENTRE A RAZÃO DE ESBELTEZ DAS PARTÍCULAS COM O MÓDULO DE RUPTURA - VALORES MÉDIOS AJUSTADOS...	48
11	TENDÊNCIAS OBSERVADAS ENTRE A RELAÇÃO MÓDULO DE ELASTICIDADE X DENSIDADE DA CHAPA, PARA AS SEIS GEOMETRIAS EM ESTUDO.....	51
12	TENDÊNCIAS OBSERVADAS ENTRE A RELAÇÃO MÓDULO DE DE RUPTURA X DENSIDADE DA CHAPA, PARA AS SEIS GEOMETRIAS EM ESTUDO.....	52
13	RELAÇÃO ENTRE A LIGAÇÃO INTERNA(LI) COM AS VARIÁVEIS EM ESTUDO - VALORES MÉDIOS AJUSTADOS.....	58
14	RELAÇÃO ENTRE A RAZÃO DE ESBELTEZ DAS PARTÍCULAS COM A LIGAÇÃO INTERNA.....	59
15	TENDÊNCIAS OBSERVADAS ENTRE A RELAÇÃO LIGAÇÃO INTERNA COM DENSIDADE DA CHAPA, PARA AS SEIS GEOMETRIAS EM ESTUDO.....	61
16	RELAÇÃO ENTRE A RESISTÊNCIA AO ARRANCAMENTO DE PARAFUSO(RAP) COM VARIÁVEIS EM ESTUDO - VALORES MÉDIOS AJUSTADOS.....	65
17	RELAÇÃO ENTRE A RAZÃO DE ESBELTEZ DAS PARTÍCULAS COM A RESISTÊNCIA AO ARRANCAMENTO DE PARAFUSO -VALORES MÉDIOS AJUSTADOS.....	66

18	TENDENCIAS OBSERVADAS ENTRE A RELAÇÃO RESISTENCIA AO ARRANCAMENTO DE PARAFUSO COM DENSIDADE DA CHAPA, PARA AS SEIS GEOMETRIAS EM ESTUDO.....	68
19	RELAÇÃO ENTRE A ABSORÇÃO DE AGUA(aa) COM AS VARIÁVEIS EM ESTUDO - VALORES MÉDIOS AJUSTADOS.....	72
20	RELAÇÃO ENTRE A RAZÃO DE ESBELTEZ DAS PARTICULAS COM A ABSORÇÃO DE AGUA (IMERSÃO - 2 HORAS) -VALORES MÉDIOS AJUSTADOS.....	74
21	RELAÇÃO ENTRE A RAZÃO DE ESBELTEZ DAS PARTICULAS COM A ABSORÇÃO DE AGUA (IMERSÃO - 24 HORAS) -VALORES MÉDIOS AJUSTADOS.....	75
22	TENDENCIAS OBSERVADAS ENTRE A RELAÇÃO ABSORÇÃO DE AGUA(IMERSÃO - 2 HORAS) X DENSIDADE DA CHAPA PARA AS SEIS GEOMETRIAS EM ESTUDO.....	77
23	TENDENCIAS OBSERVADAS ENTRE A RELAÇÃO ABSORÇÃO DE AGUA(IMERSÃO - 24 HORAS) X DENSIDADE DA CHAPA PARA AS SEIS GEOMETRIAS EM ESTUDO.....	78
24	RELAÇÃO ENTRE O INCHAMENTO EM ESPESSURA(IE) COM AS VARIÁVEIS EM ESTUDO -VALORES MÉDIOS AJUSTADOS.....	82
25	RELAÇÃO ENTRE A RAZÃO DE ESBELTEZ DAS PARTICULAS COM O INCHAMENTO EM ESPESSURA(IMERSÃO - 2 HORAS) -VALORES MÉDIOS AJUSTADOS.....	83

26	RELAÇÃO ENTRE A RAZÃO DE ESBELTEZ DAS PARTICULAS COM O INCHAMENTO EM ESPESSURA (IMERSÃO - 24 HORAS) -VALORES MÉDIOS AJUSTADOS.....	84
27	TENDÊNCIAS OBSERVADAS ENTRE A RELAÇÃO INCHAMENTO EM ESPESSURA(IMERSÃO- 2 HORAS) X DENSIDADE DA CHAPA, PARA AS SEIS GEOMETRIAS EM ESTUDO.....	87
28	TENDÊNCIAS OBSERVADAS ENTRE A RELAÇÃO INCHAMENTO EM ESPESSURA(IMERSÃO-24 HORAS) X DENSIDADE DA CHAPA, PARA AS SEIS GEOMETRIAS EM ESTUDO.....	88
29	RELAÇÃO ENTRE A EXPANSÃO LINEAR(EL) COM AS VARIÁVEIS EM ESTUDO - VALORES MÉDIOS AJUSTADOS.....	91
30	RELAÇÃO ENTRE A RAZÃO DE ESBELTEZ DAS PARTICULAS CO A EXPANSÃO LINEAR - VALORES MÉDIOS AJUSTADOS.....	92
31	TENDÊNCIAS OBSERVADAS ENTRE A RELAÇÃO EXPANSÃO LINEAR X DENSIDADE DA CHAPA, PARA AS SEIS GEOMETRIAS EM ESTUDO.....	94

LISTA DE TABELAS

TABELA

1	VALORES MÉDIOS OBTIDOS DA DENSIDADE DA MADEIRA EM RELAÇÃO AS POSIÇÕES DA BASE DO MEIO DO TOPO E DA CASCA A MEDULA DE CADA TRONCO.....	23
2	PLANO EXPERIMENTAL.....	25
3	DIMENSOES NOMINAIS DAS PARTICULAS E SUAS COMBINAÇÕES.....	27
4	VALORES MÉDIOS DA DENSIDADE DAS CHAPAS PARA CADA GEOMETRIA.....	38
5	DIMENSOES MEDIAS DAS PARTICULAS E SUA RAZAO DE ESBELTEZ.....	39
6	PROPRIEDADES EXIGIDAS PARA AS CHAPAS DE PARTICULAS (NORMA CS 236-66).....	41
7	VALORES MÉDIOS DE MODULO DE ELASTICIDADE(MOE).....	42
8	VALORES MÉDIOS DE MODULO DE RUPTURA(MOR).....	43
9	COMPARAÇÃO DOS VALORES ESTIMADOS DO MODULO DE ELASTICIDADE E DO MODULO DE RUPTURA COM OUTROS VALORES TOMADOS DA LITERATURA.....	49

TABELA

10	RESUMO DA SIGNIFICANCIA ESTATISTICA DOS TRES FATORES SOBRE O MOE E O MOR - ANALISE DE COVARIANCIA.....	53
11	RESUMO DOS RESULTADOS OBTIDOS DO TESTE TUKEY EFECTUADO PARA AS MÉDIAS DOS FATORES SIGNIFICATIVOS DO MOE E MOR.....	54
12	VALORES MÉDIOS DA LIGAÇÃO INTERNA(LI).....	57
13	COMPARAÇÃO DOS VALORES OBTIDOS DA LIGAÇÃO INTERNA COM OUTROS VALORES TOMADOS DA LITERATURA.....	60
14	VALORES MÉDIOS DA RESISTENCIA AO ARRANCAMENTO DE PARAFUSO(RAP).....	63
15	COMPARAÇÃO DOS VALORES OBTIDOS DA RESISTENCIA AO ARRANCAMENTO DE PARAFUSO COM OUTROS VALORES TOMADOS DA LITERATURA.....	67
16	VALORES MÉDIOS DE ABSORÇÃO DE AGUA(AA) -IMERSAO 2 HORAS.....	70
17	VALORES MÉDIOS DE ABSORÇÃO DE AGUA(AA) -IMERSAO 24 HORAS.....	71
18	COMPARAÇÃO DOS VALORES MÉDIOS OBTIDOS DA ABSORÇÃO DE AGUA COM OUTROS VALORES TOMADOS DA LITERATURA.....	76
19	VALORES MÉDIOS DE INCHAMENTO EM ESPESSURA(IE) -IMERSAO 2 HORAS.....	80

TABELA

20	VALORES MÉDIOS DE INCHAMENTO EM ESPESSURA(IE) -IMERSAO 24 HORAS.....	81
21	COMPARAÇÃO DOS VALORES MÉDIOS OBTIDOS DE INCHAMENTO EM ESPESSURA COM OUTROS VALORES TOMADOS DA LITERATURA.....	86
22	VALORES MÉDIOS DE EXPANSÃO LINEAR(EL).....	90

RESUMO

No presente trabalho, foram elaboradas chapas de partículas estruturais de *Pinus patula*. Foram testadas seis geometrias de partículas pré-determinadas, referentes a três comprimentos (27.3mm, 49.6mm e 72.5mm) e duas espessuras (0.64mm e 0.34mm). As condições de manufatura das chapas foram as seguintes: densidade nominal - 0.60 e 0.75g/cm³, conteúdo de resina - 8%, tipo de resina - fenolformaldeído, conteúdo de parafina - 1%, umidade das partículas - 5%, tempo de fechamento da prensa - 35 segundos, temperatura de prensagem - 180°C, tempo de prensagem - 8 minutos e pressão - 40 kg/cm². O experimento foi conduzido por uma análise fatorial de covariância para os fatores: comprimento das partículas, espessura das partículas e densidade da chapa. Os diferentes tratamentos foram avaliados através dos seguintes testes: Módulo de Elasticidade (MOE), Módulo de Ruptura (MOR), Ligação Interna (LI), Resistência ao Arrancamento de Parafuso (RAP), Absorção de Água (AA), Inchamento em Espessura (IE) e Expansão Linear (EL). Todos os valores médios obtidos do MOE e do MOR foram superiores aos mínimos exigidos pela norma comercial americana CS 236-36. As chapas produzidas, tiveram uma tendência de aumentarem os valores do MOE e do MOR, com o aumento do comprimento das partículas e redução da espessura, até uma razão de esbeltez de 120. Chapas com partículas de 72.5mm de comprimento, 0.34mm de espessura e 0.86g/cm³ de densidade, são recomendadas para a obtenção de altos valores do MOE e do MOR. No teste de LI, o aumento no comprimento das partículas e a redução na sua espessura causou valores baixos desta propriedade. Chapas com partículas de 27.3mm de comprimento, 0.64mm de espessura e 0.86g/cm³ de densidade, foram as melhores em termos da LI. Na resistência ao arrancamento de parafuso (RAP), houve uma tendência das partículas longas e espessas causarem valores altos da RAP. Mesmo assim na análise de covariância não houve nenhuma diferença significativa entre os valores médios do fator espessura. A AA e o IE, tiveram a tendência de reduzirem com a redução do comprimento e espessura das partículas. Um aumento na densidade das chapas, também causou uma redução na AA e IE. As chapas produzidas com partículas de 0.34 mm de espessura e 0.86 g/cm³ de densidade para AA e produzidas com partículas de 27.3 e 49.6 mm de comprimento para o IE, foram mais estáveis. A EL apresentou valores muito baixos dos mínimos exigidos pela norma americana CS 236-36. As chapas produzidas com partículas de 49.6mm ou 72.5mm de comprimento das partículas, 0.34mm de espessura e 0.69g/cm³ ou 0.86g/cm³ da densidade, foram as que apresentaram valores mínimos da EL.

1 INTRODUÇÃO

As chapas "waferboard" são definidas como sendo um produto de chapas de partículas obtidas com "flakes"* tipo "wafer"** , caracterizadas por possuírem propriedades iguais em todas as direções paralelas com o plano da chapa(FPL¹⁰).

Este tipo de chapas difere das chamadas chapas tradicionais pelo fato de usarem partículas com dimensões maiores, o que confere a elas certas melhorias nas propriedades de resistência mecânica e na estabilidade dimensional devido ao adesivo empregado.

A resistência das chapas "waferboard", situa-se na maioria das vezes em torno dos valores médios das resistências entre o sentido transversal e paralelo à grã encontrados para compensados, considerando-se a mesma espessura da 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 (BRITO⁴). Por esta razão, as chapas de partículas

* Flake: pequena partícula de madeira, plana, de dimensões pré-determinadas, espessura uniforme, com a direção das fibras essencialmente no plano do flake(F.P.L.¹⁰)

** Wafer: "flakes" compridos e largos usados na produção de chapas com propósitos estruturais(KEINERT Jr.²⁰)

estruturais são consideradas adequadas para muitas aplicações até agora dominadas por painéis compensados de *Pinus*.

Outras vantagens obtidas na produção destas chapas, baseiam-se principalmente nos custos de produção, que são considerados baixos com relação aos painéis compensados. Isto se justifica pelo uso de matérias prima de baixo valor comercial, tais como: resíduos de serraria, de exploração florestal, material de desbastes, bem como na redução da mão de obra no processo produtivo, enquanto que para a produção de compensados são necessárias toras de qualidade e normalmente com certos diâmetros mínimos.

Os EUA e o Canadá são atualmente os maiores produtores das chapas de partículas estruturais "waferboards" cuja comercialização se destina em grande parte para a construção e recuperação de casas, uma pequena parte para construções não residenciais, usos industriais e exportação. Estes avanços tecnológicos ainda não atingiram a maioria dos países em desenvolvimento. No caso do Brasil e de Moçambique o tipo de chapa produzido com alguma similaridade é o "aglomerado", que tem o uso limitado na produção de móveis e produtos afins e não é estrutural.

Moçambique conta com um total de 46.200 ha de plantações com espécies florestais exóticas. Cerca de 50% da referida área correspondem a plantações de *Pinus*, 40% a *Eucalyptus* e os restantes 10% a plantações de *Casuarina* (DNFFB⁹). As principais espécies de *Pinus* são: *Pinus patula*, *Pinus elliottii*, *Pinus taeda* e *Pinus caribaea* que são plantadas nas províncias de Maputo, Manica, Zambézia e Niassa(CASTRO⁷). A Figura 1, apresenta um mapa com os locais

MAPA DE MOÇAMBIQUE

Divisão
Administrativa

Escala 1:5.000.000

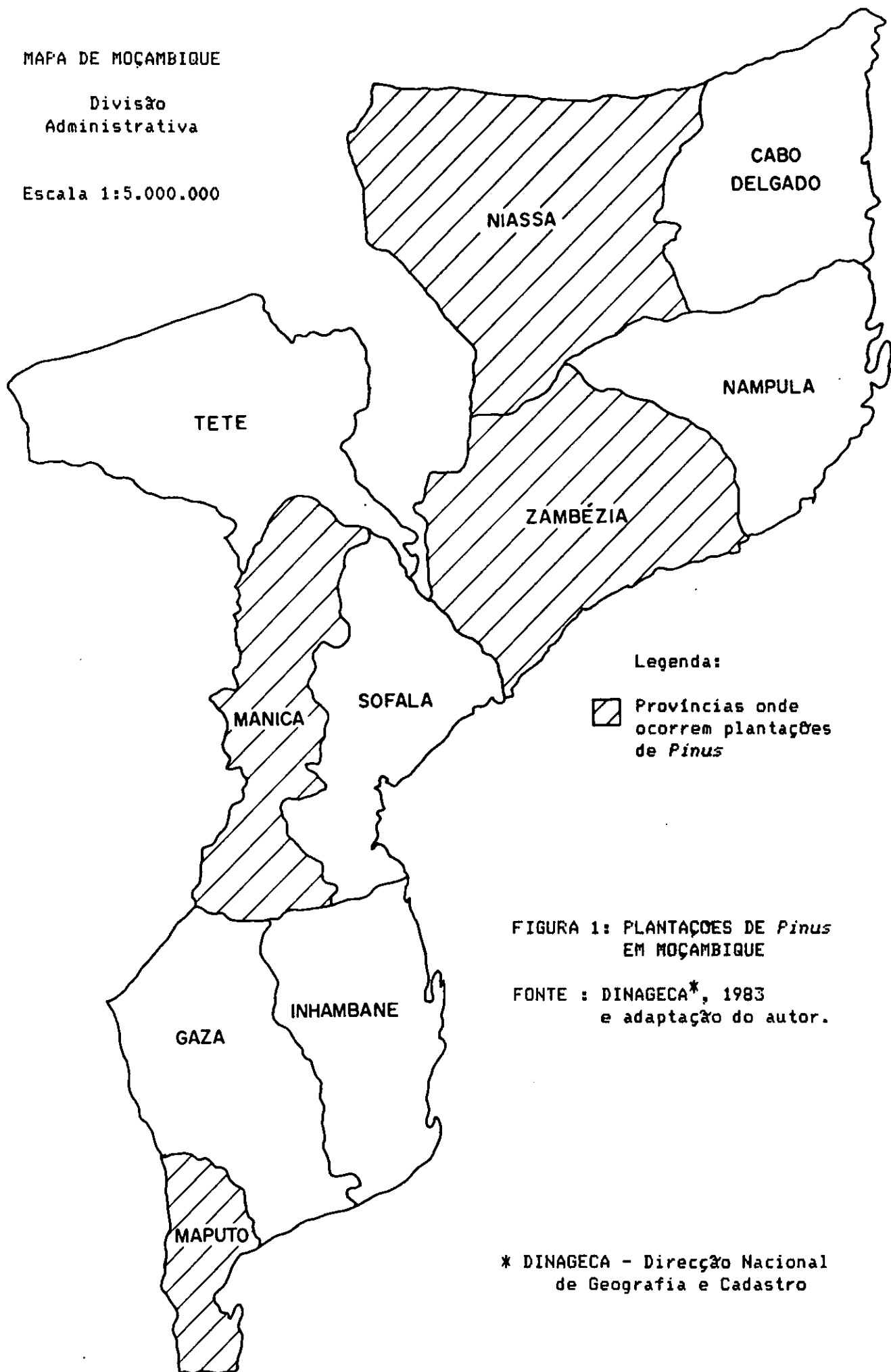


FIGURA 1: PLANTAÇÕES DE *Pinus*
EM MOÇAMBIQUE

FONTE : DINAGECA*, 1983
e adaptação do autor.

* DINAGECA - Direcção Nacional
de Geografia e Cadastro

onde ocorrem as plantações de *Pinus*. As plantações de *Pinus patula* representam cerca de 80 a 90% da área plantada e tem um grande desenvolvimento nas regiões acima de 800 metros de altitude.

O Laboratório de Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais, da Universidade Federal do Paraná, vem se dedicando a linha de pesquisa, dirigida principalmente na procura de novos tipos de matéria prima, para a produção de chapas objetivando o uso estrutural. Até agora os estudos efetuados no Brasil, foram através de BRITO⁴, IWAKIRI¹⁸, KEINERT Jr.²⁰, KEINERT Jr. & MATOS²³ e MATOS³², com vista a uma possível introdução de chapas de partículas estruturais "waferboards", utilizando espécies do gênero *Pinus* e *Eucalyptus*. Todas as espécies utilizadas, apresentaram características bastante satisfatórias com relação às propriedades de resistência e estabilidade dimensional, merecendo destaque o *Pinus patula*, definida por BRITO⁴, como a mais promissora para chapas de partículas estruturais. Levando em consideração este aspecto e o fato da existência de um programa de reflorestamento em Moçambique com espécies florestais exóticas, principalmente *Pinus patula*, utilizou-se neste estudo a madeira desta espécie, para a elaboração de chapas estruturais "waferboards", com o propósito de fornecer mais subsídios técnico-científicos.

Este trabalho foi desenvolvido com os seguintes objetivos:

- a) Analisar a influência da geometria de partículas, (razão comprimento/espessura) nas propriedades das chapas tipo "wafer" produzidas com madeira de *Pinus*

patula.

b) Verificar o efeito da densidade das chapas nas propriedades de resistência e de estabilidade dimensional das chapas, produzidas com duas densidades nominais de 0.60 e 0.75g/cm³ e com 1% de parafina.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 ESTUDOS ANTERIORES NO BRASIL

BRITO⁴, realizou um trabalho com vista a viabilizar a utilização de três espécies de gênero *Pinus*; *Pinus taeda*, *Pinus elliottii* e *Pinus patula*, com 17 anos de idade e ocorrência no sul do Brasil, para a fabricação de chapas de partícula "waferboards". No estudo foram elaboradas 30 chapas para cada espécie, prensadas a quente com temperatura de 160°C e pressão de 35 kg/cm². As densidades nominais foram de 0.60 e 0.75 g/cm³ para chapas com 1.3 cm de espessura. A resina usada foi fenol-formaldeído em dois níveis, 4 e 8%. As chapas foram avaliadas pelos seguintes testes: Módulo de ruptura e de elasticidade, ligação interna, resistência ao arrancamento de parafuso, absorção de água, inchamento em espessura e expansão linear. Os 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.

MATOS³², pesquisou o ciclo da prensa na produção de chapas de partículas do tipo "wafer". Analisou os efeitos das variáveis umidade das partículas(3%, 5% e 10%), tempo de fechamento da prensa(35 e 100 segundos), tempo de prensagem(8 e 15 minutos) e a aplicação de 1% de parafina. O tempo de

fechamento de 35 segundos, foi o que proporcionou resultados mais positivos sobre as propriedades de resistência dos painéis. Teor de umidade de 10% contido nas partículas proporcionou menor variação em espessura, absorção de água dos painéis e taxa de não retorno em espessura. O tempo de prensagem não influenciou sobre as propriedades de resistência mas para as propriedades relacionadas com a estabilidade dimensional, tempos de 15 minutos proporcionaram menor variação. Também a aplicação de 1% de parafina sobre as partículas melhorou as propriedades de estabilidade dimensional.

IWAKIRI¹⁸, desenvolveu um trabalho com o intuito de avaliar as influências de diversas variáveis de processamento, geradas devido às diferentes espécies e tipo de partículas utilizadas, sobre as propriedades das chapas. Entre as propriedades avaliou também os efeitos do gradiente vertical de densidade sobre as propriedades mecânicas das chapas, principalmente sobre o módulo de elasticidade e de ruptura. As espécies utilizadas foram: *Pinus taeda*, *Pinus serotina*, *Pinus glabra* e *Pinus palustris*, com partículas dos tipos "wafer", "flake" e "sliver". As condições de manufatura das chapas foram: densidade da chapa - 0.75 g/cm^3 , conteúdo de resina - 8%, umidade das partículas - 5%, temperatura de prensagem - 180°C , tempo de prensagem - 8 minutos, pressão - 40 kg/cm^2 . As chapas do tipo "wafer" apresentaram maior módulo de elasticidade que as chapas do tipo "flake" e "sliver", devido principalmente ao maior comprimento das partículas e razão de esbeltez. A resistência da ligação interna foi maior para as chapas com menor razão de compactação. As chapas do tipo

"sliver" apresentaram ligação interna superior às chapas dos demais tipos e a causa provável foi a maior densificação da porção média das chapas. A maior densificação das camadas influenciou positivamente na resistência ao arrancamento de parafuso na face. As chapas do tipo "sliver" foram as que apresentaram maior absorção de água e inchamento em espessura nos testes de 2 e 24 horas, e a causa provável deve ter sido a maior área superficial específica das partículas e menor disponibilidade de resina por unidade de área. Todas as chapas produzidas apresentaram valores de propriedades superiores aos valores mínimos exigidos pela norma americana CS 236-66.

2.2 FATORES QUE INFLUENCIAM NA QUALIDADE DAS CHAPAS

2.2.1 Geometria das Partículas

2.2.1.1 Generalidades

A geometria de partículas, é um dos fatores básicos determinantes das propriedades e características das chapas de partículas juntamente com as espécies da madeira, tipo e quantidade de resina e outros aditivos, assim como a estrutura da chapa igualmente determinada pelo colchão formado e condições de prensagem.

A geometria de partículas tem efeitos importantes sobre todas as propriedades das chapas e pode influenciar outros processos básicos variáveis assim como o equipamento usado para alcançar outras etapas de manufatura (MALONEY³¹).

Os elementos dimensionais das partículas de diferentes geometrias são: comprimento, largura e espessura. A razão

entre o comprimento e a espessura é denominada de razão de esbeltez e é um parâmetro altamente importante. Essa razão exerce grande influência sobre as características vitais da chapa, tais como: área de contacto entre as partículas na chapa, propriedades mecânicas e consumo relativo de resina. Para razões menores, maior quantidade de adesivo por unidade de área superficial das partículas é necessária, e as razões para tal são:

-As superfícies laterais e as extremidades das partículas mais espessas representam uma porção significativa da área da qual o adesivo é aplicado, no entanto, contribui muito pouco na ligação entre as partículas;

-O adesivo entre as partículas mais espessas, deve também absorver maiores esforços internos da chapa, requerendo para isso, maior quantidade de adesivo para proporcionar uma resistência adequada das ligações (MOSLEMI³³).

A razão entre o comprimento e a largura é denominada razão de planicidade e é um parâmetro diretamente ligado ao volume relativo do ar do colchão.

2.2.1.2 Efeito Sobre as Propriedades das Chapas

Numerosas investigações têm demonstrado que as propriedades de flexão das chapas de partículas aumentam diretamente com o comprimento das partículas e são inversamente proporcionais com a espessura destas (GEIMER & PRICE¹¹).

MOSLEMI³³, ao partir de várias pesquisas, achou que para partículas das superfícies das chapas, a razão de esbeltez deve ser em torno de 120 a 200. Partículas com essa

razão, são finas e longas, possuindo alto grau de flexibilidade, particularmente quando obtidas de madeiras de espécies de média a baixa densidade. Para o miolo, a razão ideal deve ser em torno de 60.

MALONEY³¹, considera ideal a razão de esbeltez de mais ou menos 150, porém este valor deve ser considerado em termos gerais porque muitas variáveis são envolvidas.

GEIMER & PRICE¹¹, ao fazerem uma relação entre a razão de esbeltez das partículas com o módulo de ruptura de "flakboards" estruturais de *Pseudotsuga mansienzi* e *Quercus*, acharam uma razão de esbeltez ideal de até 300.

Segundo BRUMBAUGH⁵, a razão entre o comprimento e a espessura das partículas tem uma relação direta com o MOE, e que esse valor deve ser no mínimo 200. Ainda segundo o mesmo pesquisador, o valor do MOR aumenta com relação ao comprimento e espessura das partículas até um valor máximo de 250, permanecendo constante acima deste valor.

BADEJO³, numa produção de chapas de partículas em escala laboratorial, a partir de misturas de três espécies tropicais de madeiras duras, verificou um aumento do MOR e do MOE com o uso de partículas longas e com o uso de partículas espessas houve uma redução significativa do MOR e do MOE.

POST³⁴, também verificou um aumento contínuo no MOR, com o aumento no comprimento das partículas no intervalo de 12.5 a 100 mm, sendo que esse incremento se torna menor para comprimentos acima de 50 mm. Por outro lado, com o aumento na espessura das partículas, observou-se uma redução no MOR. A relação entre o comprimento e a espessura das partículas apresenta maior correlação com o MOR do que o comprimento e a

espessura isoladamente. O autor afirma também que o MOR teve um aumento suave e contínuo até 300, valor máximo desta relação.

O estudo efetuado por IWAKIRI¹⁸, para chapas de partículas tipo "wafer", "flaker" e "sliver", produzidas a partir de *Pinus taeda*, *Pinus serotina*, *Pinus palustris* e *Pinus glabra*, concluiu que as chapas do tipo "wafer" com maior razão de esbeltez em relação as outras apresentaram maior resistência á flexão.

Sobre a influência na resistência a ligação interna, BRUMBAUGH⁵, conclui no seu estudo que as chapas produzidas com partículas curtas e espessas, apresentam maior resistência de ligação interna do que as chapas produzidas com partículas longas e finas. GEIMER & PRICE¹¹, também verificaram que, dependendo da configuração das partículas e do tamanho relativo, o decréscimo do comprimento das partículas e o aumento da espessura aumentam com a resistência da ligação interna.

As chapas produzidas com mesma quantidade de adesivo, com partículas longas e finas, resultam em menores valores de ligação interna, quando comparadas ás chapas com partículas curtas e espessas (MOSLEMI³³).

IWAKIRI¹⁸, observou nas espécies de *Pinus taeda*, *Pinus serotina*, *Pinus palustris* e *Pinus glabra*, que a ligação interna, foi maior nas chapas do tipo "sliver" do que nas do tipo "wafer", com a exceção de *Pinus glabra*. No que concerne á resistência ao arrancamento de parafuso verificou que, com relação aos efeitos das três geometrias de partículas usadas no seu estudo, a única diferença foi para chapas produzidas

com *Pinus serotina*. A análise estatística demonstrou que as chapas do tipo "wafer" apresentaram uma resistência ao arrancamento de parafuso no sentido da espessura das chapas superior às chapas do tipo "flake" e "sliver". A resistência ao arrancamento de parafuso no sentido paralelo à superfície da chapa, não apresentou diferenças significativas devido aos efeitos das diferentes geometrias de partículas.

A geometria de partículas é um dos parâmetros mais importantes no controle da estabilidade dimensional (SUCHSLAND⁴¹).

VITAL *et alii*⁴², afirmam que uma melhor estabilidade dimensional das chapas de partículas pode ser conseguida com a utilização de partículas finas e chapas de menor densidade.

Com a utilização de partículas mais longas, pode-se obter chapas com melhor estabilidade dimensional (HALLIGAN¹⁴).

IWAKIRI¹⁸, verificou que as chapas do tipo "sliver" apresentaram maior absorção de água do que as do tipo "flake" e "wafer", tanto para imersão a 2 horas como para a imersão durante 24 horas em água. Segundo ele, uma vez que a espessura nominal das partículas utilizadas no estudo foi a mesma para os três tipos de partículas, além de outras variáveis serem constantes, pode-se afirmar que, a causa mais provável da maior absorção de água pelas chapas do tipo "sliver", se deve à maior área superficial específica das partículas e menor disponibilidade de resina por unidade de área, resultando em maior área de absorção e menor resistência à absorção oferecida pelas películas mais finas da linha de cola entre as partículas.

O uso de partículas longas e finas reduz o inchamento

em espessura, absorção de água e expansão linear (BRUMBAUGH⁵).

TURNER* citado por KELLY²⁴, e LEHMANN²⁶, não acharam nenhum efeito significante no comprimento das partículas sobre o inchamento em espessura. JORGENSEN & ODELL¹⁹ e POST³⁴, encontraram um melhoramento na estabilidade do inchamento em espessura nas chapas de partículas produzidas com "flakes" de Oak com 0.15 mm de espessura quando comparadas com outras chapas produzidas com "flakes" de 0.30 mm, 0.635 mm e 1.27 mm de espessura.

2.2.2 Densidade das Chapas

2.2.2.1 Generalidades

Densidade ou peso específico é uma propriedade que se correlaciona muito bem com todas outras propriedades físico-mecânicas de chapas de partículas (KEINERT Jr.²⁰).

Chapas de partículas de uma determinada densidade, produzidas com espécies de baixa densidade, apresentam maior resistência à flexão estática e tração perpendicular, embora a resistência ao arrancamento de parafuso, absorção de água e inchamento em espessura sejam pouco afetadas. A razão para tal está no fato de que um determinado peso de partículas de uma espécie de baixa densidade, ocupa um volume superior do que o mesmo peso de partículas similares de uma espécie de maior

*TURNER, H.D. Effect of particle size and shape on strenght and dimensional stability of resin bonded wood-particle panels. For. Prod. J. Z(10):395-398, 1954.

densidade. Quando estes colchões de partículas de madeira são comprimidos, para dimensões finais da chapa, ocorre um contato relativamente maior para partículas de madeira de baixa densidade, devido a maior taxa de compressão, resultando em melhor adesão entre as partículas. Por outro lado, para chapas de partículas de alta densidade, a quantidade de adesivo por unidade de área superficial das partículas passa a ser o fator controlador da resistência da chapa. Portanto, para se obter um certo valor de resistência com uma madeira de maior densidade, a densidade da chapa deve ser aumentada (MOSLEMI³³).

2.2.2.2 Efeito Sobre as Propriedades das Chapas

A influência da densidade da chapa sobre o módulo de elasticidade e de ruptura é relatada por vários autores. Para KELLY¹⁹, um aumento da densidade da chapa, aumenta ambas propriedades, aumentando a densidade superficial, grau de orientação das partículas e conteúdo de resina, também aumentam tanto o módulo de ruptura assim como o módulo de elasticidade. VITAL *et alii*⁴³, num estudo efetuado a partir de quatro espécies exóticas de madeiras duras, usadas para chapas de partículas de três camadas de uma espécie ou mistura, verificaram um aumento linear do módulo de ruptura e do módulo de elasticidade com o aumento da densidade da madeira e das chapas. O mesmo resultado foi encontrado também por STEWART & LEHMANN³⁹, em seu trabalho sobre chapas de flocos feitos a partir de quatro espécies de folhosas.

Muitos pesquisadores tem obtido altos valores da

ligação interna com o incremento da densidade das chapas. Maior densificação da camada superficial aumenta a resistência à flexão, no entanto, a conseqüente redução na densidade do miolo resulta em menor ligação interna(KELLY²⁴).

GERTEJANSEN *et alii*¹², ao estudarem as propriedades físicas de chapas de partículas tipo "wafer", a partir de misturas de *Aspen*, *Paper birch* e *Tamarach*, concluíram que a ligação interna aumenta com o aumento da densidade. RAMAKER & LEHMANN³⁶, também obtiveram o mesmo resultado com o aumento da densidade das chapas produzidas a partir de *Douglas fir* e *Lodgpole pine*.

BRITO⁴, também verificou uma tendência clara da ligação interna aumentar com o aumento da densidade das chapas, ao estudar a ligação interna para, *Pinus patula*, *Pinus taeda* e *Pinus elliotti*. Outro fato que observou foi de que as chapas menos densas, com nível de resina mais alto, foram ligeiramente superiores àquelas com menor conteúdo de resina. Todavia, na medida em que a densidade da chapa aumentou, houve uma aproximação dos valores de ligação interna das chapas com menor nível de resina, daquelas de maior nível de resina, podendo até ultrapassá-las.

VITAL *et alii*³⁸, não encontraram uma correlação definida entre a ligação interna e a densidade da chapa. Para chapas de mesma densidade, eles obtiveram uma redução na ligação interna com o aumento na razão de compactação. Os autores mencionam como a possível causa desta relação, aos maiores danos causados às partículas, em virtude da alta razão de compactação. HSE¹⁷, observou um aumento na ligação interna com o aumento na razão de compactação, dentro da faixa de 0.9

a 1.5 para partículas de 75 mm de comprimento, de 9 espécies de folhosas.

AKERS* e ECKELMANN** citados por IWAKIRI¹⁸, observaram uma leve melhora na resistência ao arrancamento de parafuso, com o aumento da densidade da chapa. Para NEBDALL*** citado por BRITO⁴, não achou no seu trabalho uma relação entre a resistência ao arrancamento de parafuso e a densidade da chapa.

No estudo efetuado por BRITO⁴, não foi observada qualquer influência estatisticamente significativa das espécies, conteúdo de resina e densidade da chapa sobre a resistência ao arrancamento de parafuso.

LIU & MCNATT³⁰, ao fazerem uma relação entre o inchamento em espessura e a densidade a partir de chapas feitas de flocos de *Aspen*, com vários níveis de conteúdo de umidade, acharam uma relação não explícita entre o inchamento em espessura e a densidade de 12 amostras obtidas em cada chapa. Para eles a variação aleatória verificada do inchamento em espessura com a densidade, serviu para confirmar as contradições achadas na literatura da possibilidade de inchamento em espessura aumentar ou não com o incremento da densidade. Alguns pesquisadores chegaram a elucidar este fato, como é o caso de SUCHSLAND⁴¹, ao determinar o inchamento em espessura de dez chapas de partículas comerciais sob ciclos de

* AKERS, L.E. Particleboard and hardboard. Oxford, Pergamon Press, 1966. 172p.

** ECKELMANN, C.A. Screwholding performance in hardwoods and particleboard. For. Prod. J., 25(6): 30-35, 1975.

*** NEBDAL, F. Testing screw-and nail holding in particleboards. Drev. Vyskum., 6(1): 19-24, 1961.

umidade relativa e imersão em água, não achou nenhuma correlação entre a densidade de chapa e o 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 em espessura foi maior do que a taxa de absorção de água, o que foi atribuído as rupturas internas das camadas mais densas do núcleo.

KEINERT Jr.²⁰, ao trabalhar com vários tipos de chapas de partículas a partir de *Eucalyptus*, também não achou uma relação clara entre o inchamento em espessura e densidade das chapas, assim como para a densidade das espécies. Ainda KEINERT Jr.²², ao avaliar o comportamento das chapas de diferentes espécies do gênero *Pinus*, observou um menor inchamento em espessura para chapas produzidas com *Pinus patula*, justamente a espécie de menor densidade.

Com base no comportamento da madeira sólida, a quantidade de água absorvida deve ser diretamente proporcional a densidade da chapa, portanto, espera-se que chapas de maior densidade incham-se proporcionalmente mais que as chapas de menor densidade (IWAKIRI¹⁸). No entanto, VITAL *et alii*⁴³, ao estudarem o comportamento das chapas de diferentes densidades utilizando o método de imersão em água por 24 horas, concluíram que chapas com maior razão de compactação (1.6), apresentaram menor absorção de água que chapas com menor razão de compactação (1.2). Eles atribuíram à redução na porosidade e aumento na quantidade de material, como causadores da menor taxa de absorção de água.

BRITO⁴, não achou uma relação clara entre as espécies

com a densidade das chapas com 8% de resina. Para aquelas com 4%, um aumento na densidade da chapa acentuou o inchamento em espessura. Com relação á absorção de água, um aumento na densidade da chapa acarretou uma diminuição na absorção de água.

Vários autores não acharam uma relação clara entre a expansão linear com a densidade da chapa. LEHMANN & HEFTY²⁷, estudaram a estabilidade dimensional de chapas feitas de uma mistura de flocos de *Pseudotsuga mansienzi*, 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 UR variando de 30% a 90%. Contrastando com esses resultados, tanto o conteúdo de resina como a densidade da chapa, 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.

KEINERT Jr.²⁰, também não achou nenhuma relação clara entre a expansão linear com a densidade da chapa, assim como com a densidade das espécies. Não achou também nenhuma diferença em expansão linear para os diferentes níveis de resina nas chapas "wafer".

HSE¹⁷, ao estudar a estabilidade dimensional, de chapas produzidas com flocos, a partir de 9 espécies de folhosas, 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.

2.2.3 Aplicação da Parafina

2.2.3.1 Generalidades

O uso de parafina nas chapas de partícula produzidas com resina urea-formaldeído ou resina fenolformaldeído, é muito difundido na indústria de painéis de partículas. A parafina é um aditivo que se utiliza com o objetivo de se melhorar a estabilidade dimensional dos painéis de partículas.

2.3.3.2 Efeito Sobre as Propriedades das Chapas

HANN *et alii**, citados por KELLY²⁴, acharam um incremento no valor da ligação interna quando 1% de parafina foi adicionado nos painéis de partícula produzidos com 4% de resina urea-formaldeído. Para KELLY²⁴, é extremamente duvidosa a melhoria da ligação interna com a incorporação de 1% de parafina, visto que não é suficientemente forte a atração química entre a parafina com as partículas da madeira.

No trabalho efetuado por MATOS²⁷, a parafina aplicada em percentual de 1%, proporcionou a obtenção de chapas com maior estabilidade dimensional.

STEGMANN & DURST(1964)**, citados por KELLY²⁴, relataram uma grande redução da absorção de água e de inchamento em espessura num teste de imersão em água para chapas de partícula produzidas com incorporação de parafina.

*HANN,R.A., BLACK,J.M., BLUMQUIST,R.F. How durable is particleboard? The effect of temperature and humidity. For. Prod. J. 12(12):577-584, 1962.

**STEGMANN,G. & DURST,J. Particleboard from beech wood. Holz-zentralbl. 90(153):313-318, 1964

3 MATERIAL E METODOS

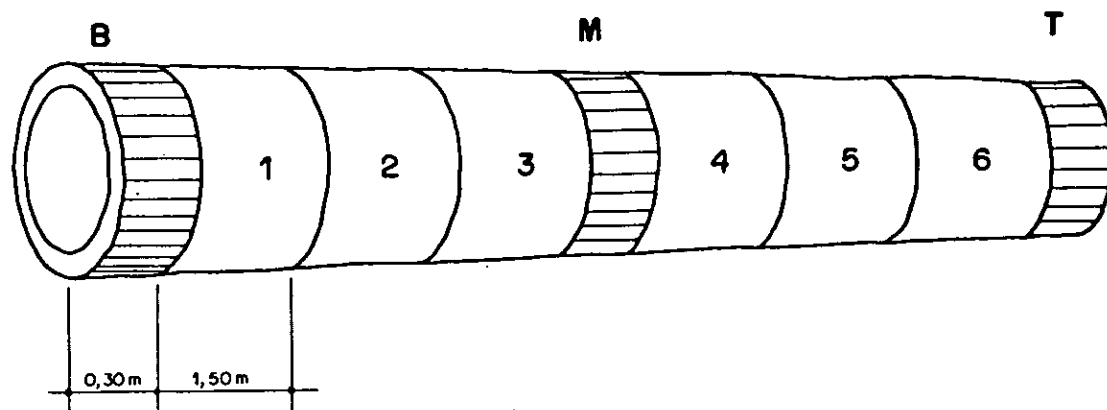
3.1 MATERIA PRIMA

O material usado neste experimento foi de *Pinus patula*, proveniente de um povoamento localizado no Colégio Florestal Presidente Costa e Silva, no Município de Iratí a 160 Km ao sul de Curitiba, com uma altitude de 850 metros, latitude 25°28'S, longitude 50°38'W, espaçamento entre árvores de 3x2 metros com idade de 12 anos. Foram coletadas aleatoriamente cerca de 16 árvores com um diâmetro médio de 22 cm e uma altura média de 17 m. O seccionamento das árvores por toretes, seguiu o esquema usado por IWAKIRI¹⁸. Cada árvore abatida foi seccionada em 6 toretes de 1.5 m de comprimento, para produção de partículas e 3 toretes de 0.3 m, localizados na base, meio e topo do tronco, para a determinação da densidade da espécie de acordo com a Figura 2. Posteriormente todos os toretes foram codificados e transportados até ao Laboratório de Tecnologia do Curso de Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná, local onde se realizou o experimento.

3.2 DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE DA MADEIRA

Na determinação desta propriedade, foi tomado em consideração, as variações que são comuns dentro de uma mesma árvore e entre árvores de uma mesma espécie. Por essa razão

FIGURA 2: ESQUEMA DE RETIRADA DOS TORETES NA ARVORE ABATIDA



Codificação:

Árvore: 1,2,.....,16;

Torete maior: 1,2,.....,6;

Torete menor: B=base, M=meio, T=topo.

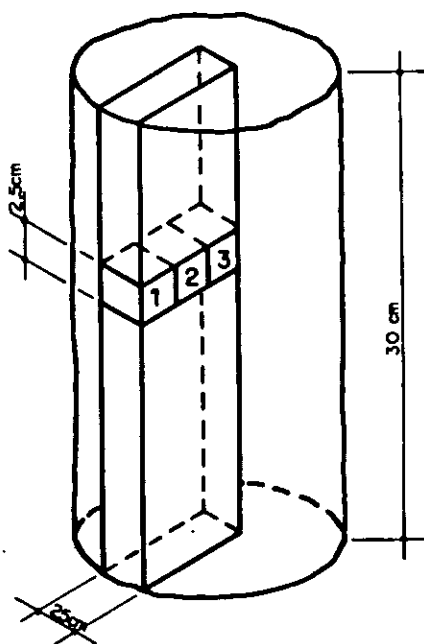
foram amostradas todas as árvores no sentido longitudinal e transversal do tronco.

De acordo com o método usado por BRITO⁴, das partes destinadas à obtenção da densidade aparente, foram retiradas pequenas amostras com 2.5 cm de largura e 2.5 cm de espessura. O comprimento compreendeu toda a extensão casca-medula na tora, 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, 9 por árvore e um total de 144.

A densidade da madeira foi determinada pelo método

estereométrico. O peso dos corpos de prova foi obtido através de uma balança elétrica com precisão de um centésimo de grama, após o acondicionamento destes em uma sala de aclimação com $65 \pm 3\%$ de umidade relativa e $20 \pm 1^\circ\text{C}$ de temperatura, até alcançarem uma umidade de equilíbrio em torno de 12%.

FIGURA 3: ESQUEMA DE CONFECCAO DOS CORPOS DE PROVA PARA A DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE DA MADEIRA.



A densidade da madeira foi obtida a partir da seguinte fórmula:

$$D(12\%) = \frac{P(12\%)}{V(12\%)}$$

onde:

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

P_{12} = peso (g);

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

D_{12} , P_{12} e V_{12} = determinações obtidas para amostras da

madeira com 12% de umidade de equilíbrio.

Os valores médios de densidade, nas diferentes posições de cada tronco, são aprensetados na Tabela 1.

TABELA 1: VALORES MÉDIOS OBTIDOS DA DENSIDADE DA MADEIRA EM RELAÇÃO AS POSIÇÕES DA BASE DO MEIO DO TOPO E DA CASCA A MEDULA DE CADA TRONCO.

Posição		Dm	s	C.V.
a	b*			
Base	1	0.51	0.036	7.06
	2	0.41	0.026	6.45
	3	0.37	0.021	5.68
Meio	1	0.47	0.033	7.02
	2	0.40	0.030	7.50
	3	0.36	0.040	11.11
Topo	1	0.47	0.036	7.66
	2	0.39	0.030	7.69
	3	0.39	0.026	6.67

Legenda:

*: posição da casca a medula

Dm: densidade média(g/cm^3);

s: desvio padrão;

C.V.: coeficiente de variação(%).

3.3 MANUFATURA DAS CHAPAS

3.3.1 Plano Experimental

A Tabela 2, apresenta o plano experimental formulado para este estudo.

Foram manufaturados um total de 60 chapas para 6 geometrias e 2 densidades, sendo 5 chapas para cada um dos 12 tratamentos totais.

3.3.2 Geração de Partículas

A partir de toretes de 1.5 metros de comprimento foram seccionados discos com 5.0 e 7.5 cm de espessura, com a finalidade de se atingir os comprimentos das partículas desejadas, os quais foram reduzidos em blocos com 6.0 cm no sentido da largura. A Figura 4 apresenta o esquema de preparação dos blocos para a obtenção das partículas.

Os blocos obtidos foram transformados em partículas, num gerador de partículas tipo disco e as dimensões nominais obtidas assim como as suas combinações são apresentadas na Tabela 3. O comprimento das partículas foi obtido no sentido da grã e a largura não foi controlada. Na Figura 5, são apresentadas as variações no comprimento das partículas.

No fim desta operação, as partículas de cada geometria foram acondicionadas em sacos plásticos e armazenadas até a secagem das mesmas.

TABELA 2: PLANO EXPERIMENTAL

Espécie:	<i>Pinus patula</i>
Dimensões dos painéis:	50 x 55 x 1.25 cm
Densidade das chapas:	0.60 e 0.75 g/cm ³ (12% de umidade)
Umidade das partículas:	5%
Tipo de resina:	Fenolformaldeído
Conteúdo de resina:	8% (base peso seco do material)
Parafina:	1% (base peso seco do material)
Tempo de fechamento:	35 segundos
Tempo de prensagem:	8 minutos
Temperatura de prensagem:	180°C
Pressão específica:	40 kg/cm ²
Dimensões das partículas:	
comprimentos;	25.0mm, 50.0mm e 75.0mm
espessuras;	0.34mm e 0.64mm
Número de tratamentos:	12
Número de repetições:	5 chapas por tratamento

FIGURA 4: ESQUEMA DE PREPARAÇÃO DOS BLOCOS PARA OBTENÇÃO DAS PARTICULAS.

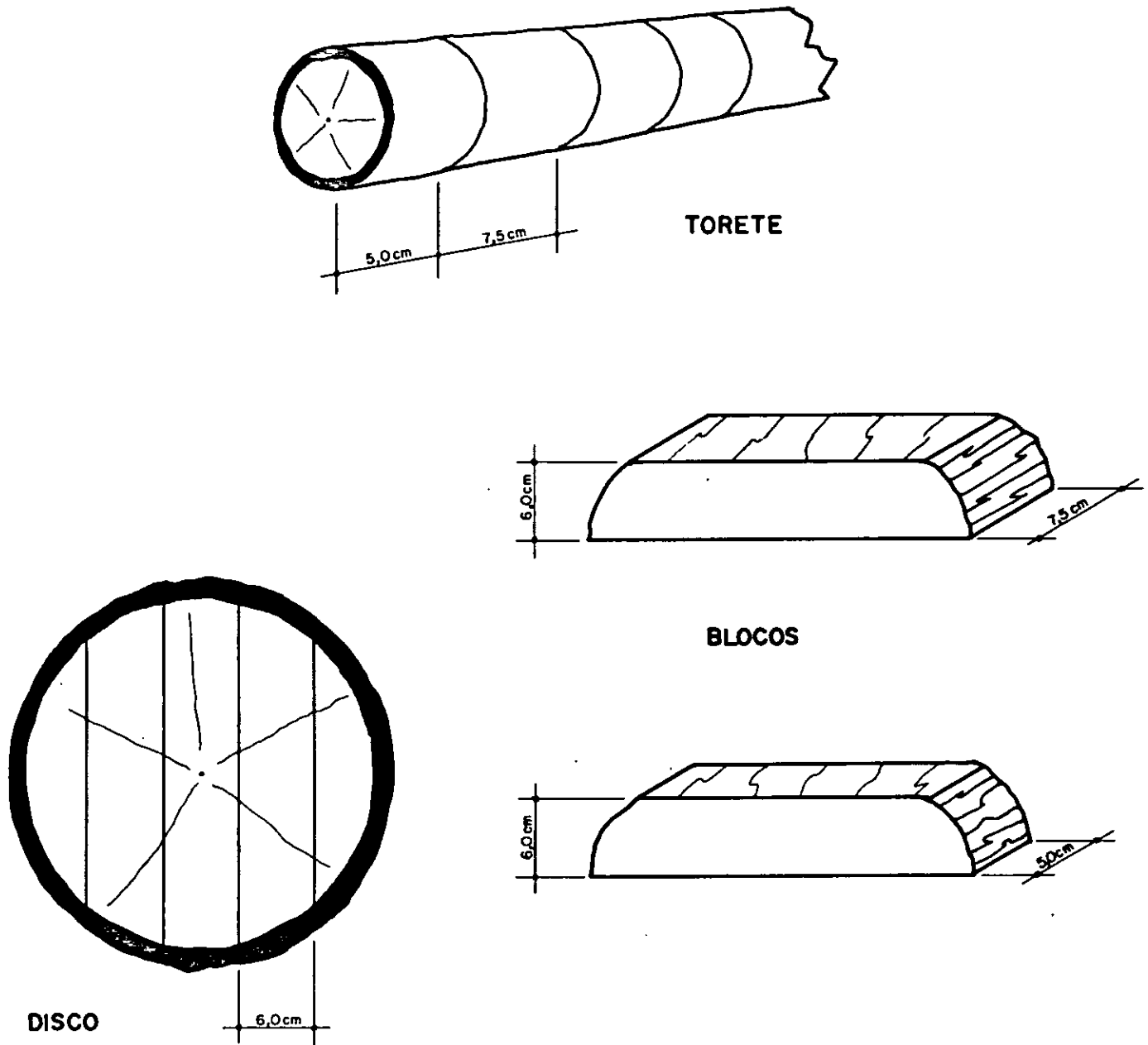
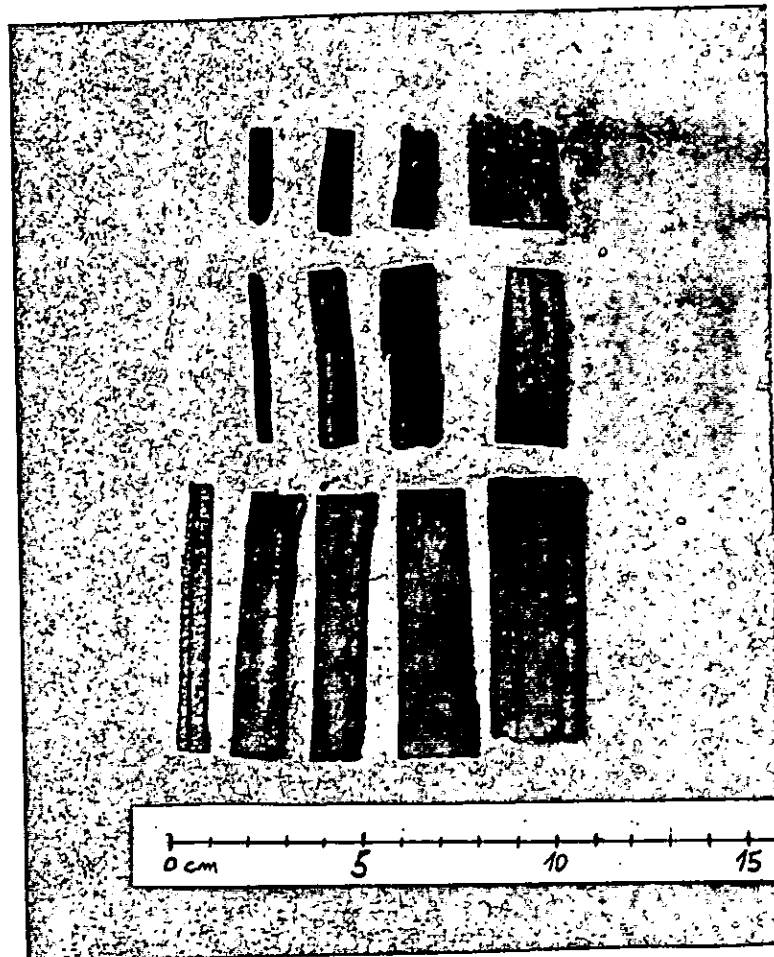


TABELA 3: DIMENSÕES NOMINAIS DAS PARTICULAS E SUAS COMBINAÇÕES

Espessura das partículas (mm)	Comprimento das partículas(mm)		
	25.0*	50.0	75.0
0.34	0.34x25.0	0.34x50.0	0.34x75.0
0.64	0.64x25.0	0.64x50.0	0.64x75.0

*: obtido a partir de blocos com 7.5cm de espessura, através de facas raspadeiras.

FIGURA 5: ILUSTRAÇÃO DAS DIFERENTES GEOMETRIAS DAS PARTICULAS



3.3.3 Secagem das Partículas e Controle da Umidade

A secagem das partículas consistiu de duas fases. Na primeira, as partículas foram secas dentro de um cilindro adaptável a uma estufa de secagem convencional, até uma umidade de aproximadamente 10%, a 80°C. Em seguida as partículas foram secas em estufas pequenas com circulação de ar forçada, à temperatura de 80°C, até atingirem um conteúdo de umidade de 5%.

O controle de umidade durante a secagem das partículas foi feito periodicamente através de amostras de 5g de partículas, retiradas ao acaso e posteriormente permaneciam num aparelho a base de luz infravermelho, até perderem toda a umidade e estabilizar-se o peso, daí fazia-se a leitura em uma escala graduada e aplicava-se a seguinte fórmula:

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

onde:

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

P = peso perdido em relação ao peso inicial (unidades).

3.3.4 Armazenagem e Determinação das Dimensões das Partículas

Após a secagem as partículas foram logo peneiradas através de uma peneira manual para a eliminação de partículas finas e depois acondicionadas em embalagens plásticas para a manutenção do conteúdo de umidade.

Em cada geometria foram selecionadas aleatoriamente 100 partículas e determinou-se o seu comprimento através de um paquímetro e a espessura através de um micrômetro, ambos com precisão de milímetro.

3.3.5 Cálculo da Quantidade de Material Necessário

A quantidade de material requerida para cada chapa foi calculada em função das densidades da chapa a serem alcançadas a 12% de umidade e das dimensões finais das chapas (Tabela 1). O método usado foi o seguinte:

a) Determinação do peso da chapa a 12% de umidade.

Densidades desejadas a 12% de umidade; 0.60 e 0.75g/cm³.

Dimensões de cada chapa; 50 x 55 x 1.25cm.

$$D = \frac{P}{V} ; \quad P = D \times V$$

$$P_1 = D_1 \times V$$

$$P_2 = D_2 \times V$$

$$P_1 = 0.60\text{g/cm}^3 \times 3437.5\text{cm}^3$$

$$P_2 = 0.75\text{g/cm}^3 \times 3437.5\text{cm}^3$$

$$P_1 = 2062.5\text{g}$$

$$P_2 = 2578.1\text{g}$$

onde:

D = densidade da chapa de partículas (g/cm³);

P = peso da chapa após o acondicionamento a 12% de umidade(g);

V = volume da chapa de partículas(cm³);

D1= densidade = 0.60g/cm^3 ;

D2= densidade = 0.75g/cm^3 ;

P1= peso calculado com D1(g);

P2= peso calculado com D2(g).

b) Distribuição do peso da chapa pelos seus componentes.

Partindo-se de um princípio de que nestes pesos calculados(P1 e P2), estão incluídos o percentual de sólidos resinosos e de parafina e também 12% de umidade, o peso estaria distribuído da seguinte forma:

100% - partículas secas a 0% de umidade

1% - parafina

8% - resina

12% - água(após o acondicionamento)

121% - total

De onde se extrai:

b.1- para o P1= 2062.5g

100% - partículas secas = 1704.55g

1% - parafina = 17.05g

8% - sólidos de resina= 136.36g

12% - água = 204.55g

121% - total = 2062.51g

b.2- para o P2= 2578.01g

100%	- partículas secas =	2130.58g
1%	- parafina	= 21.31g
8%	- sólidos de resina=	170.45g
12%	- água	= 255.67g

121%	- total	= 2578.01g

b.3- O peso equivalente das partículas úmidas(a 5% de umidade), por chapa foi encontrado de seguinte modo:

P1= 1704.55 x 1.05 = 1789.78g de partículas;

P2= 2130.58 x 1.05 = 2237.11g de partículas.

b.4- Os percentuais de resina e de parafina aplicados foram baseados no seu peso sólido aplicado sobre o peso das partículas secas a 0% umidade.

3.3.6 Aplicação de Resina e da Parafina

As quantidades de partículas calculadas para cada chapa, foram colocadas num cilindro rotatório, onde as quantidades de resina fenólica e de parafina pré-determinadas, foram pulverizadas de maneira uniforme através de duas pistolas.

A resina utilizada foi fenolformaldeído e apresentou as seguintes características:

-Teor de sólido= 47.8%;

-Viscosidade = 632.75cp;

-pH = 12.2

O teor de sólidos da parafina foi de 34%.

3.3.7 Formação do Colchão

Uma caixa formadora de 50 x 55 cm, colocada sobre uma lâmina de aço, foi usada para a formação do colchão. As partículas com resina e parafina foram depositadas aleatoriamente nesta caixa e depois pré-prensadas manualmente, para facilitar a operação seguinte. Após a retirada da caixa foram colocadas dois espaçadores nos lados, com uma espessura de 1.25 cm, para o controlo da espessura final da chapa e uma outra lâmina de aço foi colocada sobre o colchão.

3.3.8 Prensagem

Tendo-se concluído o processo de formação, o colchão formado foi prensado a quente por meio de uma prensa hidráulica, de uma abertura, até a espessura final da chapa. A temperatura usada, tempo de fechamento, tempo de prensagem e pressão são definidos no plano experimental(Tabela 1).

3.3.9 Acondicionamento

Depois da prensagem as chapas foram esquadrejadas, pesadas, codificadas e acondicionadas numa câmara de climatização á temperatura de $20 \pm 1^{\circ}\text{C}$ e uma umidade relativa do ar de $65 \pm 3\%$, até atingirem uma umidade de equilíbrio médio de 12%.

3.4 AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES DAS CHAPAS

3.4.1 Preparo dos Corpos de Prova

A Figura 6, apresenta o esquema usado para a retirada dos corpos de prova após o acondicionamento das chapas ao conteúdo de umidade em torno de 12%. As dimensões dos corpos de prova, obedeceram a norma americana ASTM D-1037.

3.4.2 Propriedades das Chapas

a) Módulo de Elasticidade e de Ruptura

Para estes testes os corpos de prova foram executados de acordo com a norma ASTM D 1037, seção 12, num total de 240 amostras. Os testes foram executados segundo as seções 11, 14-19, parágrafos 20.1 e 20.2 da seção 20, da mesma norma.

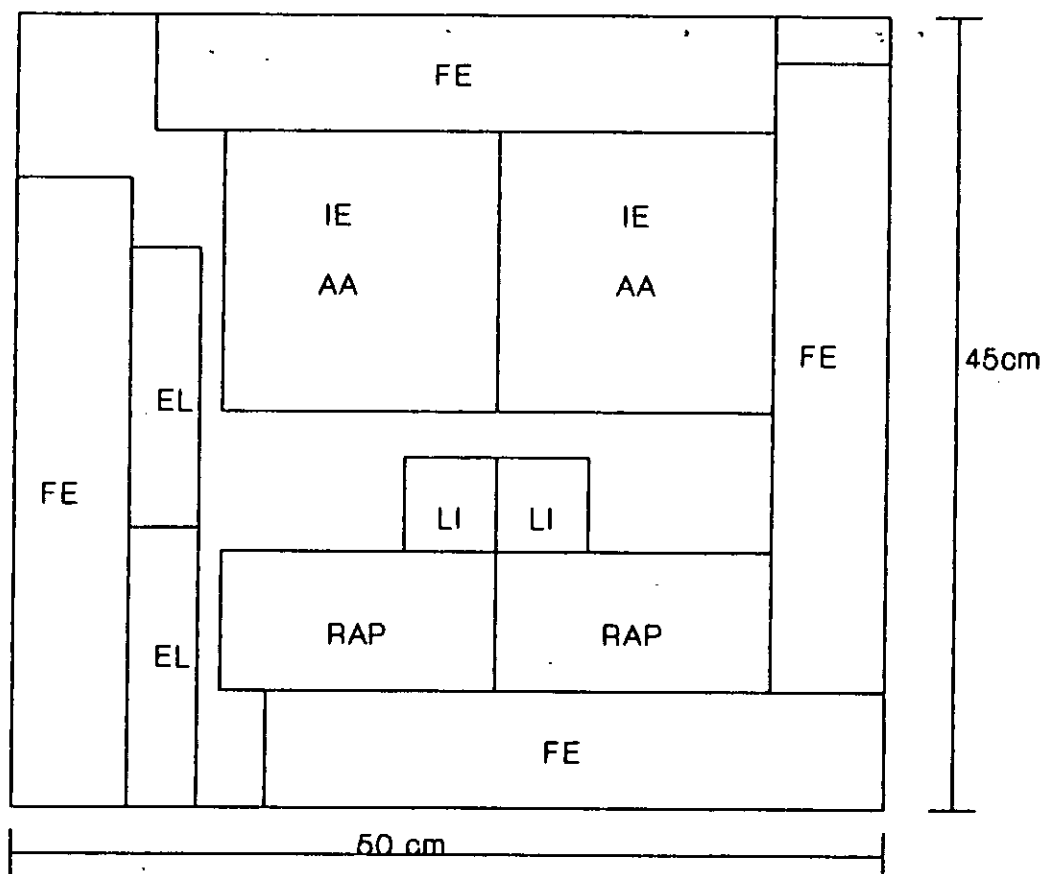
b) Ligação Interna

Este teste foi avaliado através da norma ASTM D 1037, seção 29, para a elaboração dos corpos de prova, num total de 120 e seções 28, 30-33, para a execução do teste.

c) Arrancamento de Parafuso

O teste de arrancamento de parafuso foi executado através da seção 48 para a confecção dos corpos de prova, num total de 60 e seções 47, 49, 51-53 para a execução do teste, através da norma ASTM D 1037. O teste só foi executado na face da chapa e como a espessura média original da chapa foi de 1.25 cm e a norma recomendasse a introdução do parafuso a uma profundidade de 1.7 mm, cada corpo de prova foi composto de duas unidades sobrepostas, atingindo desta maneira uma

FIGURA 6: ESQUEMA DE RETIRADA DOS CORPOS DE PROVA NAS CHAPAS PARA AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES.



Legenda:

FE : flexão estática

LI : ligação interna

RAP : arrancamento de parafuso

IE/AA : inchamento em espessura e absorção em água

EL : expansão linear

espessura de 2.50 cm e satisfazendo as recomendações da norma. Foi usado um parafuso número 10 com 1 polegada de comprimento e introduzido no corpo de prova até 2/3 do seu comprimento total.

d) Absorção de Água e Inchamento em Espessura

Foram confeccionados cerca de 120 corpos de prova segundo a seção 101 e testados segundo as seções 100, 102-106 da norma ASTM D 1037.

e) Expansão Linear

Os corpos de prova foram confeccionados de acordo com a seção 108 da ASTM D 1037, perfazendo um total de 120 corpos de prova. A metodologia usada não seguiu a norma ASTM, os corpos de prova foram imersos em água à temperatura de $20 \pm 1^\circ\text{C}$, durante 24 horas. A EL foi calculada apartir das dimensões iniciais, feitas antes da imersão e das dimensões finais, feitas depois da imersão, de acordo com a seguinte fórmula:

$$EL = \frac{D_f - D_i}{D_i} \times 100 ;$$

onde:

EL = expansão linear(%);

D_i = dimensão inicial(mm);

D_f = dimensão final(mm).

3.5 ANALISE ESTATISTICA

Com a finalidade de testar os efeitos do comprimento das partículas, espessura e densidade das chapas, bem como o

efeito das interações entre estes fatores sobre as propriedades da resistência e da estabilidade dimensional, o experimento foi conduzido por uma Análise Fatorial de Covariância de 2 x 3 x 2, para delineamento completamente ao acaso, com 12 tratamentos e cinco repetições cada. O delineamento experimental, formulado para cada uma das propriedades estudadas é apresentado a seguir:

Comprimento das partículas (mm)	Densidade das chapas(g/cm ³)			
	0.60		0.75	
	Espessura das partículas(mm)			
	0.64	0.34	0.64	0.34
25.0				
50.0				
75.0				

A análise de covariância foi feita em virtude da dificuldade de se poder controlar a densidade das chapas em laboratório. Havendo assim a necessidade de ajuste dos valores médios das propriedades a uma densidade média(covariável), esta análise foi feita para cada propriedade estudada e nos fatores e interação de fatores considerados significativos, os valores médios obtidos foram testados através do teste Tukey, ao nível de 95% e 99% de probabilidades. Com base nestes resultados, foram determinadas as combinações ideais dos diferentes níveis de fatores, para a obtenção das propriedades desejadas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 DENSIDADE DAS CHAPAS

As chapas foram produzidas com densidades nominais de 0.60 e 0.75 g/cm³, mas devido a grande dificuldade de um controle rigoroso sobre os parâmetros diretamente relacionados com a densidade das chapas, constataram-se pequenas diferenças entre os valores médios das densidades das chapas. Justificando o ajuste dos dados obtidos em cada propriedade estudada através de uma análise de covariância.

A Tabela 4, apresenta os valores médios da densidade das chapas obtidos para cada geometria em estudo. Uma análise de variância da covariável densidade, apresentada na Tabela A1 em anexo, demonstrou que foi significativa a 99% de probabilidade, a diferença entre os valores médios das densidades das chapas para os diferentes tratamentos.

4.2 GEOMETRIA DAS PARTICULAS

Na Tabela 5, são apresentados os valores médios do comprimento e espessura das partículas, obtidos após o processo de secagem das partículas. A razão entre o comprimento e a espessura das partículas define a razão de esbeltez(RE).

TABELA 4: VALORES MÉDIOS DA DENSIDADE DAS CHAPAS PARA CADA GEOMETRIA.

=====				
Geometria				
C	E	Dn	Dr	CU

27.3	0.64	0.60	0.63	10.09
27.3	0.64	0.75	0.81	8.94
27.3	0.34	0.60	0.71	9.63
27.3	0.34	0.75	0.88	8.41
49.6	0.64	0.60	0.62	9.95
49.6	0.64	0.75	0.84	8.79
49.6	0.34	0.60	0.69	9.82
49.6	0.34	0.75	0.83	8.28
72.5	0.64	0.60	0.72	9.78
72.5	0.64	0.75	0.83	8.43
72.5	0.34	0.60	0.78	9.56
72.5	0.34	0.75	0.96	8.66

Legenda:

C (mm) : comprimento das partículas;

E (mm) : espessura das partículas;

Dn (g/cm^3) : densidade nominal;

Dr (g/cm^3) : densidade real;

CU (%) : conteúdo de umidade.

TABELA 5: DIMENSOES MÉDIAS DAS PARTICULAS
E SUA RAZAO DE ESBELTEZ (RE).

Geometria		
Comprimento (mm)	Espessura (mm)	Razão de esbeltez (RE)
27.3	0.34	80.29
49.6	0.34	145.88
72.5	0.34	213.24
27.3	0.64	42.66
49.6	0.64	77.50
72.5	0.64	113.28

4.3 PROPRIEDADES DAS CHAPAS

Todas as propriedades mecânicas e não mecânicas que a seguir serão apresentados os seus resultados, foram comparados com a Norma Comercial Americana CS 236-66(Tabela 6), que estabelece os valores mínimos das diversas propriedades das chapas, exigidas para qualificar as chapas de várias densidades e tipos, para sua produção, comercialização e utilização.

4.3.1 Módulo de Elasticidade(MOE) e de Ruptura(MOR)

O módulo de elasticidade(MOE) é um parâmetro que indica a rigidez de um material submetido a um determinado esforço e o módulo de ruptura(MOR) é uma propriedade muito importante que determina a aplicabilidade da chapa de partículas para o uso estrutural (IWAKIRI¹⁸). Estes valores são de grande importância, pois dão uma boa ideia da resistência do material, constituindo-se na prática, de grande aplicação na classificação de materiais (BRITO⁴).

Os valores médios obtidos para o MOE, variaram de 35718 a 77864 Kg/cm² (Tabela 7), para o MOR, variaram de 252.73 a 574.11 Kg/cm² (Tabela 8). Estes resultados superaram as exigências da Norma Comercial CS 236-66.

a) Efeito da Geometria das Partículas

As Figuras 7 e 8, mostram a relação entre as variáveis em estudo, com os valores médios ajustados do MOE e do MOR. A tendência destas propriedades aumentarem com o comprimento

TABELA 6: PROPRIEDADES EXIGIDAS PARA CHAPAS DE PARTICULAS*

-VALORES MÉDIOS MÍNIMOS - NORMA CS 236-66⁸

Densidade (média mínima)				
	Alta 0.80 g/cm ³ e acima		Média 0.60 e 0.80 g/cm ³	
	Classe**		Classe**	
	1	2	1	2
MOR (kg/cm ²)	168	238	126	175
MOE (kg/cm ²)	24500	35000	17500	31500
LI (kg/cm ²)	8.75	28.0	4.55	4.20
EL (%)***	0.55	0.55	0.35	0.25
RAP-face (kg)	204.12	226.80	102.06	113.40
RAP-borda(kg)	----	158.76	72.58	90.72

Legenda:

- * : Chapa de partícula feita com resina durável e altamente resistente à umidade e calor(geralmente resina fenólica) adequada para a aplicações interiores e certas aplicações exteriores quando assim classificada.
- ** : Classificações de resistência baseadas nas propriedades dos painéis correntemente produzidos.
- *** : Média máxima.

TABELA 7: VALORES MEDIOS DE MODULO DE ELASTICIDADE(MOE).

C	E	Dn	Dr	MOE	MOEa	CU
27.3	0.64	0.60	0.63	35718	35221	10.09
27.3	0.64	0.75	0.81	46145	46271	8.94
27.3	0.34	0.60	0.71	38483	38263	9.63
27.3	0.34	0.75	0.88	61437	61800	8.41
49.6	0.64	0.60	0.62	39666	39142	9.95
49.6	0.64	0.75	0.84	57902	58109	8.79
49.6	0.34	0.60	0.69	45081	44787	9.82
49.6	0.34	0.75	0.83	72647	72834	8.28
72.5	0.64	0.60	0.72	45678	45479	9.78
72.5	0.64	0.75	0.83	76573	76766	8.43
72.5	0.34	0.60	0.78	45162	45193	9.56
72.5	0.34	0.75	0.96	77864	78491	8.66

Legenda:

C (mm) : comprimento das partículas;

E (mm) : espessura das partículas;

Dn (g/cm^3) : densidade nominal;

Dr (g/cm^3) : densidade real;

MOE (kg/cm^2) : módulo de elasticidade(média dos valores
originais);

MOEa (kg/cm^2) : módulo de elasticidade(médias ajustadas);

CU (%) : conteúdo de umidade.

TABELA 8: VALORES MÉDIOS DE MÓDULO DE RUPTURA(MOR)

C	E	Dn	Dr	MOR	MORa	CU
27.3	0.64	0.60	0.63	252.73	270.96	10.09
27.3	0.64	0.75	0.81	419.78	415.17	8.94
27.3	0.34	0.60	0.71	329.91	337.95	9.63
27.3	0.34	0.75	0.88	457.74	444.44	8.41
49.6	0.64	0.60	0.62	290.27	309.49	9.95
49.6	0.64	0.75	0.84	479.08	471.49	8.79
49.6	0.34	0.60	0.69	412.92	423.69	9.82
49.6	0.34	0.75	0.83	560.55	553.71	8.28
72.5	0.64	0.60	0.72	411.55	418.85	9.78
72.5	0.64	0.75	0.83	565.14	558.04	8.43
72.5	0.34	0.60	0.78	399.64	398.50	9.56
72.5	0.34	0.75	0.96	574.11	551.13	8.66

Legenda:

C (mm) : comprimento das partículas;

E (mm) : espessura das partículas;

Dn (g/cm^3) : densidade nominal;

Dr (g/cm^3) : densidade real;

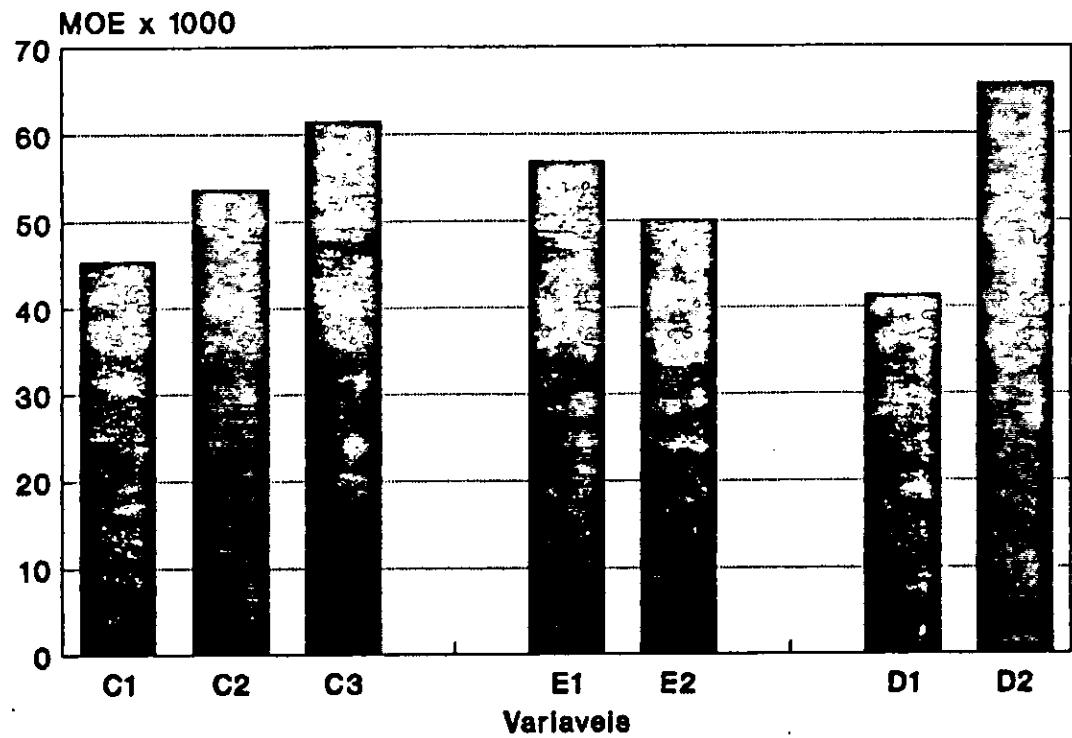
MOR (kg/cm^2) : módulo de ruptura(média dos valores originais);

MORa (kg/cm^2) : módulo de ruptura(médias ajustadas);

CU (%) : conteúdo de umidade.

FIGURA 7: RELAÇÃO ENTRE O MÓDULO DE ELASTICIDADE(MOE) COM AS VARIÁVEIS EM ESTUDO.

-VALORES MÉDIOS AJUSTADOS.



Legenda:

MOE = módulo de elasticidade (kg/cm^2)

C1 = 27.3 mm

C2 = 49.6 mm

C3 = 72.5 mm

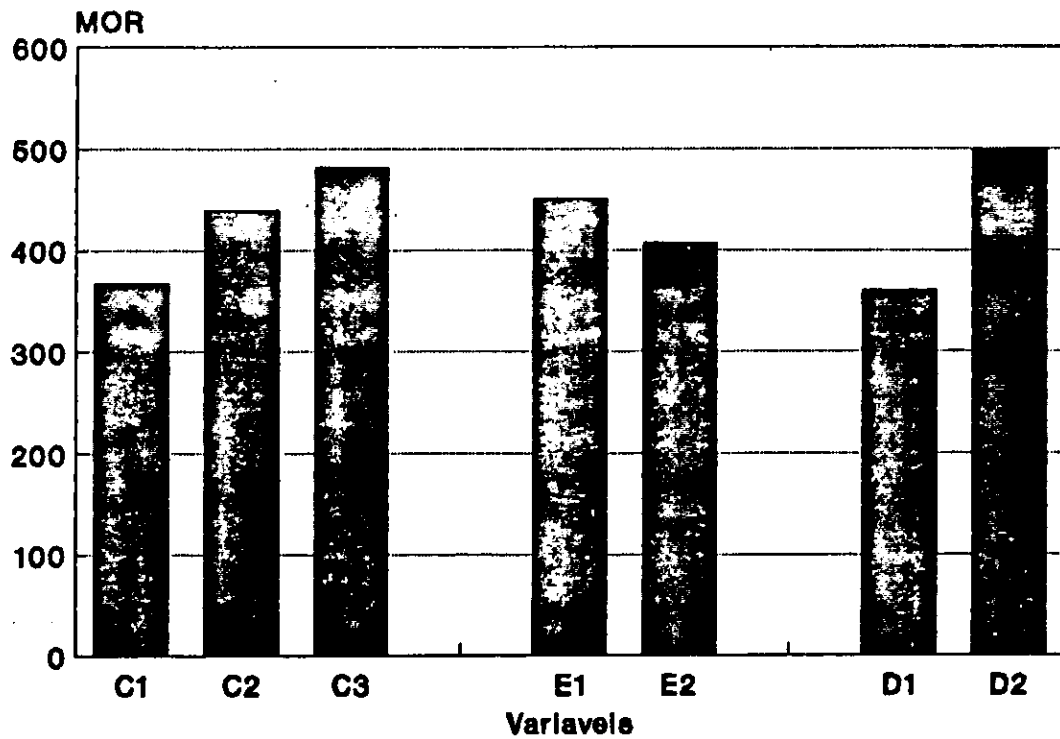
E1 = 0.34 mm

E2 = 0.64 mm

D1 = 0.69 g/cm^3

D2 = 0.86 g/cm^3

FIGURA 8: RELAÇÃO ENTRE O MÓDULO DE RUPTURA (MOR) COM AS
VARIÁVEIS EM ESTUDO
-VALORES MÉDIOS AJUSTADOS.



Legenda:

MOR = módulo de ruptura (kg/cm²)

C1 = 27.3 mm

C2 = 49.6 mm

C3 = 72.5 mm

E1 = 0.34 mm

E2 = 0.64 mm

D1 = 0.69 g/cm³

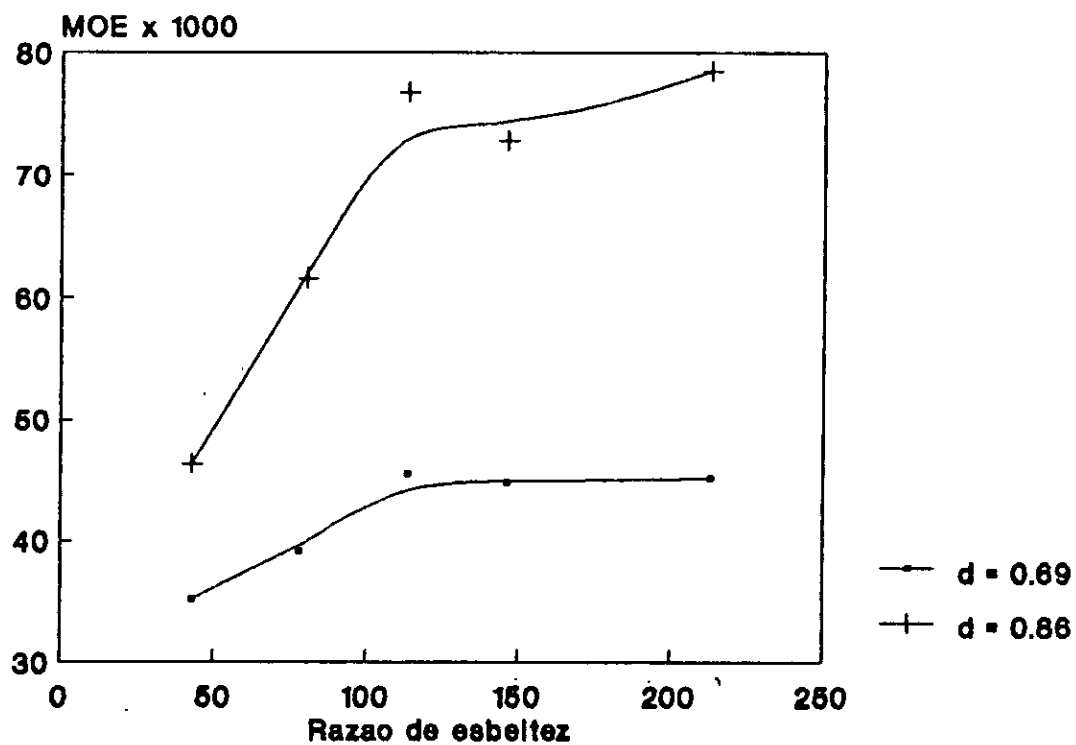
D2 = 0.86 g/cm³

das partículas e redução da espessura é bem clara. Este fato já era esperado na medida em que o MOE e o MOR tem um determinado aumento até um certo valor da razão de esbeltez(RE), como pode ser observado nas Figuras 9 e 10. Numerosos autores acharam uma relação ideal entre o comprimento e a espessura das partículas em torno de 120 a 300, acima deste valor as propriedades de flexão mantêm-se constantes(BRUMBAUGH⁵, GEIMER & PRICE¹¹, MALONEY³¹, MOSLEMI³³). No presente estudo o MOE e o MOR tiveram um aumento contínuo, até uma RE em torno de 120. Acima desta RE houve uma tendência destas propriedades manterem-se constantes(Figuras 9 e 10). Estes valores da RE são ideais visto que correspondem a valores médios do MOE e do MOR, muito acima dos níveis exigidos pela Norma Comercial CS 236-66(Tabela 6).

A Tabela 9, apresenta uma comparação feita com outros trabalhos. Os valores referentes a Dissertação foram estimados a partir do gráfico da RE (Figuras 9 e 10). Sómente os valores do MOE obtidos neste trabalho foram inferiores aos obtidos por BRITO⁴. Mesmo não apresentando grandes diferenças de MOE e do MOR com relação aos valores obtidos por IWAKIRI¹⁸, para *Pinus taeda* e *Pinus serotina* e MATOS³², para *Pinus taeda*. De um modo geral pode-se observar na Tabela 9 que *Pinus patula* demonstrou ser melhor que *Pinus taeda* e *Pinus serotina*.

FIGURA 9: RELAÇÃO ENTRE A RAZAO DE ESBELTEZ DAS PARTICULAS
COM O MODULO DE ELASTICIDADE.

-VALORES MÉDIOS AJUSTADOS.



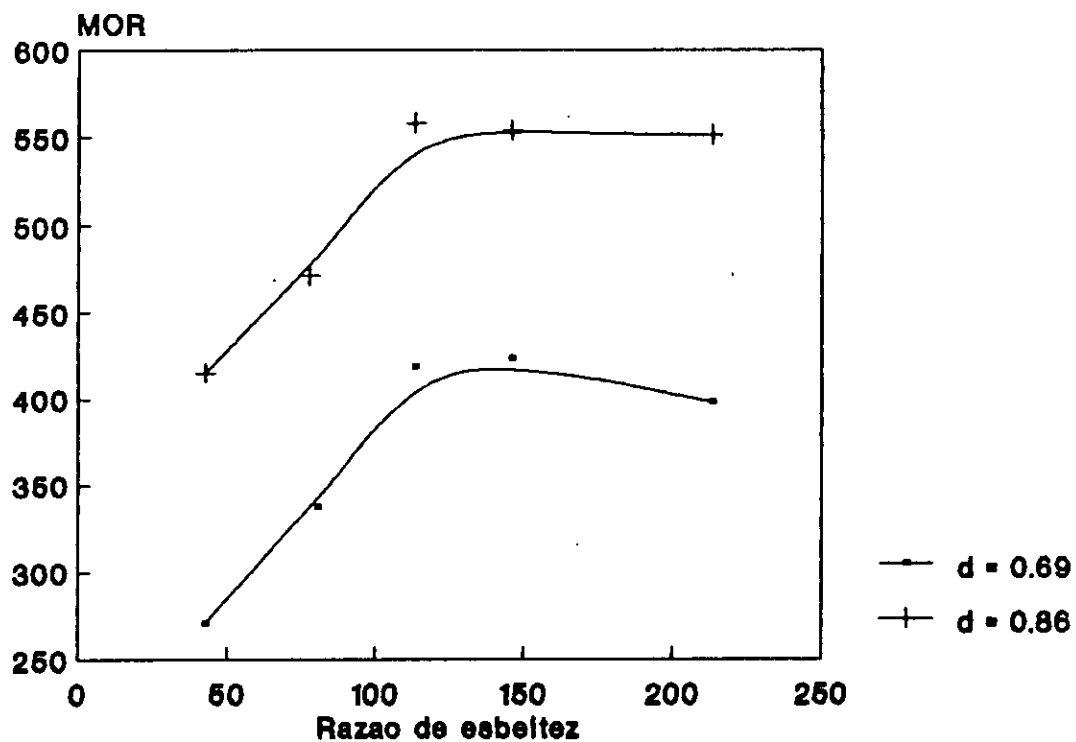
Legenda:

MOE = módulo de elasticidade (kg/cm^2)

d = densidade das chapas (g/cm^3)

FIGURA 10: RELAÇÃO ENTRE A RAZAO DE ESBELTEZ DAS PARTICULAS
COM O MODULO DE RUPTURA.

-VALORES MÉDIOS AJUSTADOS.



Legenda:

MOR = módulo de ruptura (kg/cm^2)

d = densidade das chapas (g/cm^3)

TABELA 9: COMPARAÇÃO DE VALORES ESTIMADOS DO MÓDULO DE ELASTICIDADE E MÓDULO DE RUPTURA COM OUTROS VALORES TOMADOS DA LITERATURA.

Fonte	MOE	MOR	RE	CR	Dr	Espécie
BRITO ⁴	80111	461.68	69.23	8	0.74	<i>P. patula</i>
IWAKIRI ¹⁴	55966	401.95	55.05	8	0.80	<i>P. taeda</i> *
	52967	458.20	55.05	8	0.80	<i>P. serotina</i> **
MATOS ²⁷	***45093	366.10	60.00	5	0.78	<i>P. taeda</i>
	37797	308.30	60.00	5	0.78	<i>P. taeda</i>
DISSER.	***52000	440.5	55.05	8	0.86	<i>P. patula</i>
	***53500	448.8	60.00	8	0.86	<i>P. patula</i>
	***58000	460.0	69.23	8	0.86	<i>P. patula</i>

Legenda:

MOE (kg/cm²) : módulo de elasticidade;

MOR (kg/cm²) : módulo de ruptura;

RE (%) : razão de esbeltez;

CR (%) : conteúdo de resina;

Dr (g/cm³) : densidade real das chapas;

DISSER. : Dissertação;

* : das 4 espécies estudadas foi a que teve um MOE mais elevado;

** : das 4 espécies estudadas foi a que teve um MOR mais elevado;

*** : com 1% de parafina.

b) Efeito da Densidade das Chapas

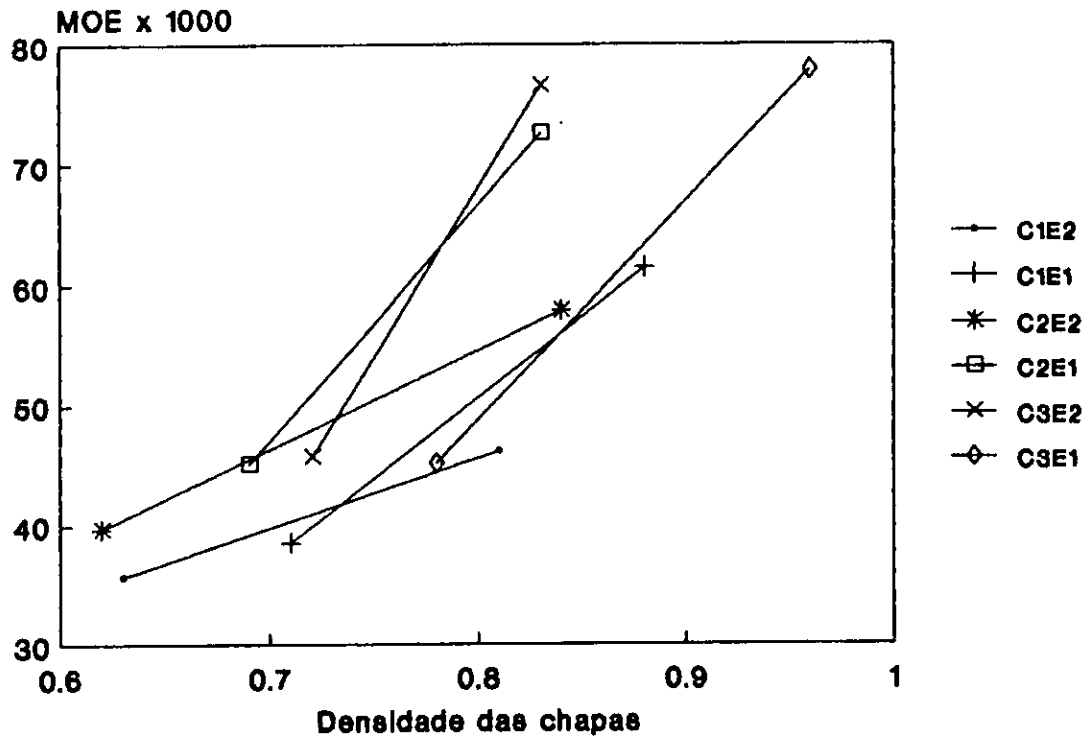
Para as seis geometrias em estudo, houve um aumento nas duas propriedades de resistência quando se aumentou a densidade das chapas, como pode ser observado nas Figuras 11 e 12. Estes resultados estão de acordo com a literatura (BRITO⁴, VITAL *et alii*⁴³, STEWART & LEHMANN³⁹).

c) Análise de Covariância

Nos anexos são apresentadas as Tabelas A2 e A3, correspondentes a análise de covariância. O resumo de significância estatística de cada um dos fatores estudados sobre o MOE e o MOR é apresentado na Tabela 10. Os níveis considerados de comprimento de partículas, espessura e densidade das chapas, afetaram de uma maneira altamente significativa o MOE e o MOR. Na interação de fatores verificou-se de que algumas combinações de dois fatores afetaram de uma maneira significativa o MOE e o MOR, com a exceção de interação de três fatores que não foram significativos, mostrando que dentro dos níveis considerados existiu independência entre os fatores.

A significância dos diferentes fatores sobre o MOE e o MOR, vem confirmar de que os diferentes níveis estudados para cada fator, originaram chapas de qualidade estatisticamente diferentes. Os valores médios obtidos foram comparados, mediante o teste Tukey, para se estabelecer quais são os melhores níveis de cada fator. As comparações efetuadas são apresentadas nas Tabelas A11 e A12 em anexo. A Tabela 11 por sua vez, apresenta o resumo dos resultados obtidos do teste Tukey efetuado para os valores médios dos três fatores

FIGURA 11: TENDENCIAS OBSERVADAS ENTRE A RELAÇÃO MÓDULO DE ELASTICIDADE X DENSIDADE DA CHAPA, PARA AS SEIS GEOMETRIAS EM ESTUDO.



Legenda:

MOE = módulo de elasticidade (kg/cm²)

Densidade = g/cm³

Geometria

C1E1 = 27.3 x 0.34 mm

C1E2 = 27.3 x 0.64 mm

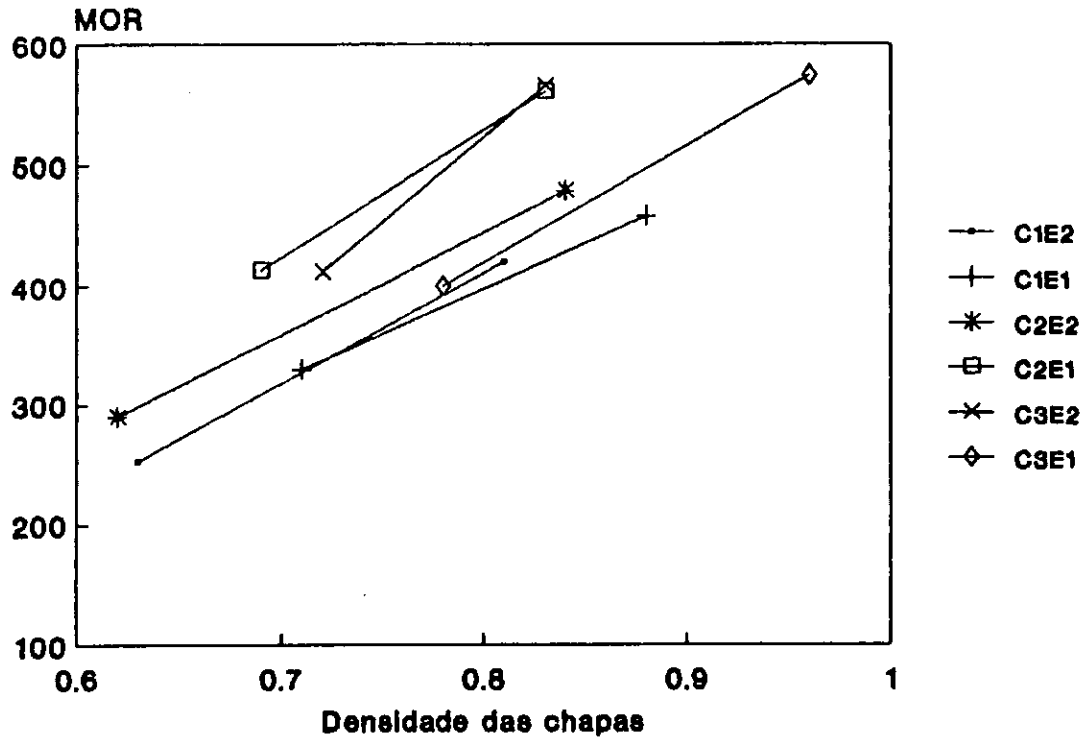
C2E1 = 49.6 x 0.34 mm

C2E2 = 49.6 x 0.64 mm

C3E1 = 72.5 x 0.34 mm

C3E2 = 72.5 x 0.64 mm

FIGURA 12: TENDENCIAS OBSERVADAS ENTRE A RELAÇÃO MÓDULO DE RUPTURA X DENSIDADE DA CHAPA, PARA AS SEIS GEOMETRIAS EM ESTUDO.



Legenda:

MOR = módulo de ruptura (kg/cm^2)

Densidade = g/cm^3

Geometria

C1E1 = 27.3 x 0.34 mm

C1E2 = 27.3 x 0.64 mm

C2E1 = 49.6 x 0.34 mm

C2E2 = 49.6 x 0.64 mm

C3E1 = 72.5 x 0.34 mm

C3E2 = 72.5 x 0.64 mm

TABELA 10: RESUMO DE SIGNIFICANCIA ESTATISTICA DOS TRES

FATORES SOBRE O MOE E O MOR.

-ANALISE DE COVARIANCIA.

FATOR	MOE	MOR
Comprimento de partículas (C)	**	**
Espessura de partículas (E)	**	**
Densidade da chapa (D)	**	**
INTERAÇÃO DE FATORES		
C X E	**	**
C X D	**	ns
E X D	*	ns
C X E X D	ns	ns

Legenda:

** : altamente significativo

* : significativo

ns : não significativo

analisados. Desta tabela, observa-se que, para a obtenção de altos valores do MOE, a combinação ideal das variáveis é de: 72.5 mm de comprimento de partículas, 0.34 mm de espessura e 0.86 g/cm³ de densidade. Para o MOR, a combinação ideal é de: 72.5 mm ou 49.6 mm de comprimento de partículas, 0.34 mm de espessura e 0.86 g/cm³ de densidade.

TABELA 11: RESUMO DOS RESULTADOS OBTIDOS DO TESTE TUKEY EFETUADO PARA AS MEDIAS DOS FATORES SIGNIFICATIVOS DO MOE E DO MOR.

Melhores combinações	MOE	MOR
99% de probabilidades	(C ₃ C ₂)E ₁ D ₂	(C ₃ C ₂)E ₁ D ₂
95% de probabilidades	(C ₃ C ₂)E ₁ D ₂	(C ₃ C ₂)E ₁ D ₂
Combinação Certa	C ₃ E ₁ D ₂	(C ₃ C ₂)E ₁ D ₂

-Com uma probabilidade de 99% em todos os casos C₃(72.5mm) e C₂(49.6mm), foram os melhores comprimentos, E₁(0.34mm) a melhor espessura e a D₂(0.75g/cm³) a melhor densidade.

-O comprimento C₃(72.5mm), foi melhor do que o comprimento C₂(49.6mm) a 99% de probabilidade para o MOE.

4.3.2 Ligação Interna(LI)

A resistência à Ligação Interna(LI) é frequentemente usada como um indicador na qualidade da colagem e da durabilidade (GEIMER & PRICE¹¹). Tem sido considerada como um dos melhores parâmetros para medir a adesão entre as partículas.

Os valores médios obtidos da LI variaram de 2.51 a 7.64 kg/cm², para todos os tratamentos(Tabela 12). Três geometrias de 49.6x0.34 mm, com densidade média de 0.69 g/cm³, 72.5x0.34 mm com densidade média de 0.78 g/cm³ e 72.5x0.34 mm com densidade média de 0.96 g/cm³, não superaram os valores mínimos exigidos pela Norma Comercial CS 236-66(Tabela 6). As demais geometrias foram de acordo com a norma.

a) Efeito da Geometria de Partículas.

Na Figura 13, pode-se observar a grande influência exercida pela geometria das partículas sobre a LI. Um aumento no comprimento das partículas causou de um modo geral uma redução na LI e um aumento na espessura causou uma situação inversa. As chapas produzidas com menor RE, ou seja, com partículas curtas e espessas, apresentaram valores da LI relativamente altos(Figura 14).

Os resultados obtidos, concordam com a afirmação feita por BRUMBAUGHT⁵ e GEIMER & PRICE¹¹ de que chapas produzidas com partículas curtas e espessas apresentam maior resistência da LI do que chapas produzidas com partículas longas e finas. De acordo com IWAKIRI¹⁸, a maior área superficial específica das partículas menores, embora com menor disponibilidade de resina por unidade de área, com relação as partículas maiores,

possa talvez influenciar em termos de melhor distribuição de esforços de tração, resultando em melhor ligação interna.

Numa comparação feita entre os valores obtidos da LI no presente trabalho com os valores obtidos por BRITO⁴, IWAKIRI¹⁸, e MATOS³², (Tabela 13) verificou-se que a aplicação de parafina e o teste usado para avaliar a LI podem ter sido os principais fatores que causaram baixos valores da LI neste trabalho. A adição de parafina melhora a resistência à água nas chapas de partículas, mas é extremamente duvidosa essa melhoria também na ligação interna, como tem sido reportado, visto que não é suficientemente forte a atração química entre a parafina e partículas de madeira, para melhorar a adesão entre as partículas (KELLY²⁴). Para SUCHSLAND⁴², o teste de tração perpendicular à superfície da chapa, geralmente avalia o plano mais fraco dentro da chapa. Normalmente atribui-se comportamento inverso entre as características de MOR e MOE de uma chapa com a LI, ou seja, chapas com altos valores de MOR e MOE possuem baixa LI devido a maior densificação das camadas superficiais e baixa densificação das camadas interiores e, ao contrário, quando a LI é elevada, implicaria em baixos valores de MOR e MOE isto porque a densificação no interior dos painéis é mais elevada (MATOS³²).

b) Efeito da Densidade das Chapas

Em todas as seis geometrias estudadas houve um aumento da LI com o aumento da densidade das chapas, como mostra a Figura 15. Resultados similares foram obtidos por vários pesquisadores citados na literatura (BRITO⁴, GERTEJANSEN *et alii*¹², RAMAKER & LEHMANN³⁶).

TABELA 12: VALORES MÉDIOS DA LIGAÇÃO INTERNA(LI).

C	E	Dn	Dr	LI	Lia	CU
27.3	0.64	0.60	0.63	7.07	6.74	10.09
27.3	0.64	0.75	0.81	7.37	7.45	8.94
27.3	0.34	0.60	0.71	4.44	4.23	9.63
27.3	0.34	0.75	0.88	4.68	4.93	8.41
49.6	0.64	0.60	0.62	5.59	5.23	9.95
49.6	0.64	0.75	0.84	7.64	7.78	8.79
49.6	0.34	0.60	0.69	3.02	2.82	9.82
49.6	0.34	0.75	0.83	4.47	4.59	8.28
72.5	0.64	0.60	0.72	5.93	5.80	9.78
72.5	0.64	0.75	0.83	6.17	6.30	8.43
72.5	0.34	0.60	0.78	2.51	2.53	9.56
72.5	0.34	0.75	0.96	3.20	3.62	8.66

Legenda:

C (mm) : comprimento das partículas;

E (mm) : espessura das partículas;

Dn (g/cm^3) : densidade nominal;

Dr (g/cm^3) : densidade real;

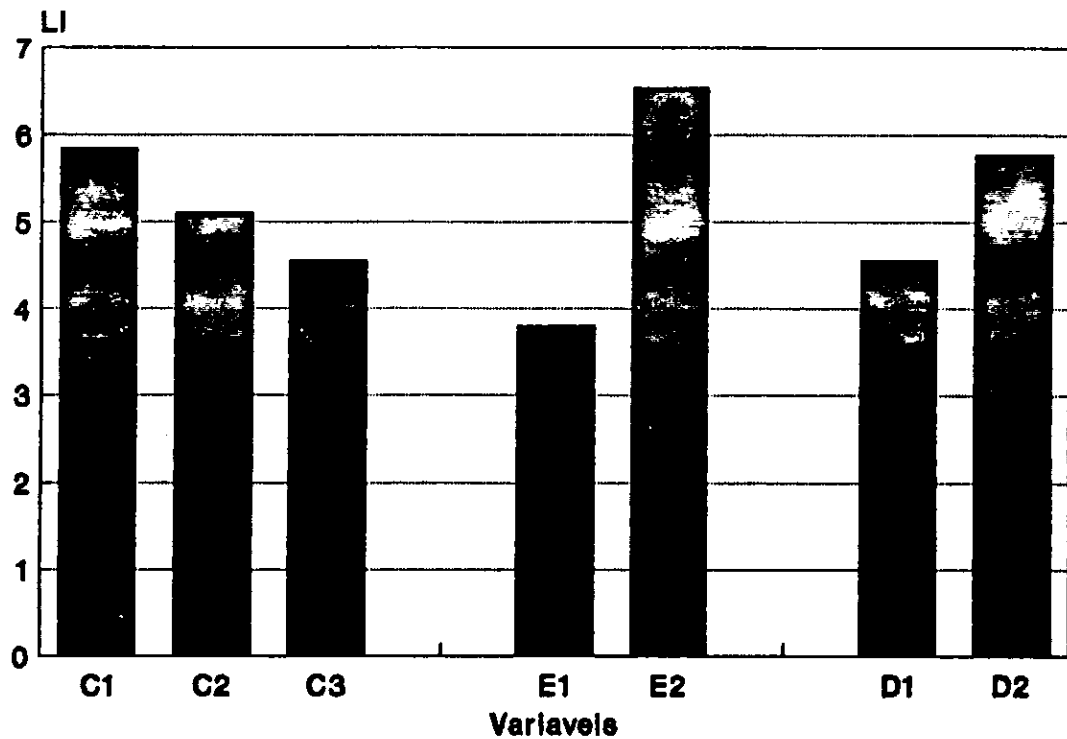
LI (kg/cm^2) : ligação interna(média dos valores originais);

Lia (kg/cm^2): ligação interna(médias ajustadas);

CU (%) : conteúdo de umidade.

FIGURA 13: RELAÇÃO ENTRE A LIGAÇÃO INTERNA(LI) COM AS
VARIÁVEIS EM ESTUDO.

-VALORES MÉDIOS AJUSTADOS.



Legenda:

LI = ligação interna (kg/cm²)

C1 = 27.3 mm

C2 = 49.6 mm

C3 = 72.5 mm

E1 = 0.34 mm

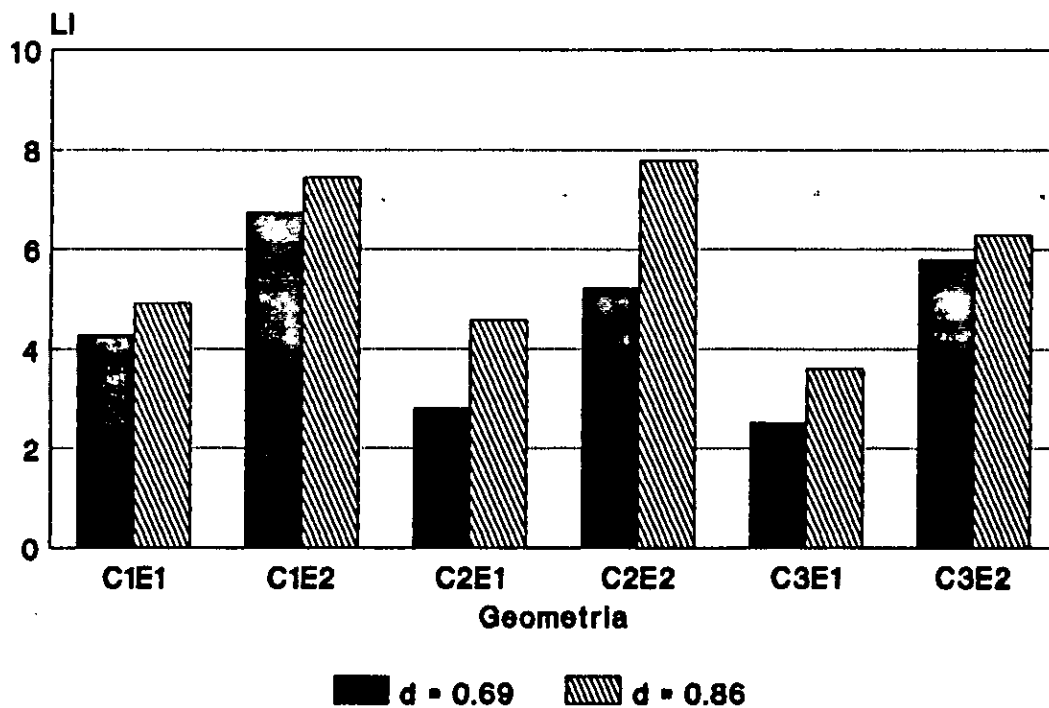
E2 = 0.64 mm

D1 = 0.69 g/cm³

D2 = 0.86 g/cm³

FIGURA 14: RELAÇÃO ENTRE A RAZÃO DE ESBELTEZ DAS PARTICULAS
COM A LIGAÇÃO INTERNA.

-VALORES MÉDIOS AJUSTADOS.



Legenda:

LI = ligação interna (kg/cm^2)

d = densidade das chapas (g/cm^3)

Geometria	RE
C1E1	= 80.29
C1E2	= 42.66
C2E1	= 145.88
C2E2	= 77.50
C3E1	= 213.24
C3E2	= 113.28

TABELA 13: COMPARAÇÃO DOS VALORES OBTIDOS DA LIGAÇÃO INTERNA
COM OUTROS VALORES TOMADOS DA LITERATURA.

Fonte	LI	RE	CR	Dr	Espécie
BRITO ⁴	15.95	69.23	8	0.74	<i>P. patula</i>
	21.69	69.23	8	1.00	<i>P. patula</i>
IWAKIRI ¹⁴	8.83	55.05	8	0.80	<i>P. taeda</i>
	12.95	55.05	8	0.81	<i>P. serotina</i>
MATOS ²⁷	*10.18	60.00	5	0.78	<i>P. taeda</i>
	12.59	60.00	5	0.78	<i>P. taeda</i>
DISSER.	* 7.07	42.60	8	0.63	<i>P. patula</i>
	* 7.30	42.60	8	0.81	<i>P. patula</i>
	* 5.59	77.50	8	0.62	<i>P. patula</i>
	* 7.78	77.50	8	0.84	<i>P. patula</i>

Legenda:

LI (kg/cm²) : ligação interna;

RE (%) : razão de esbeltez;

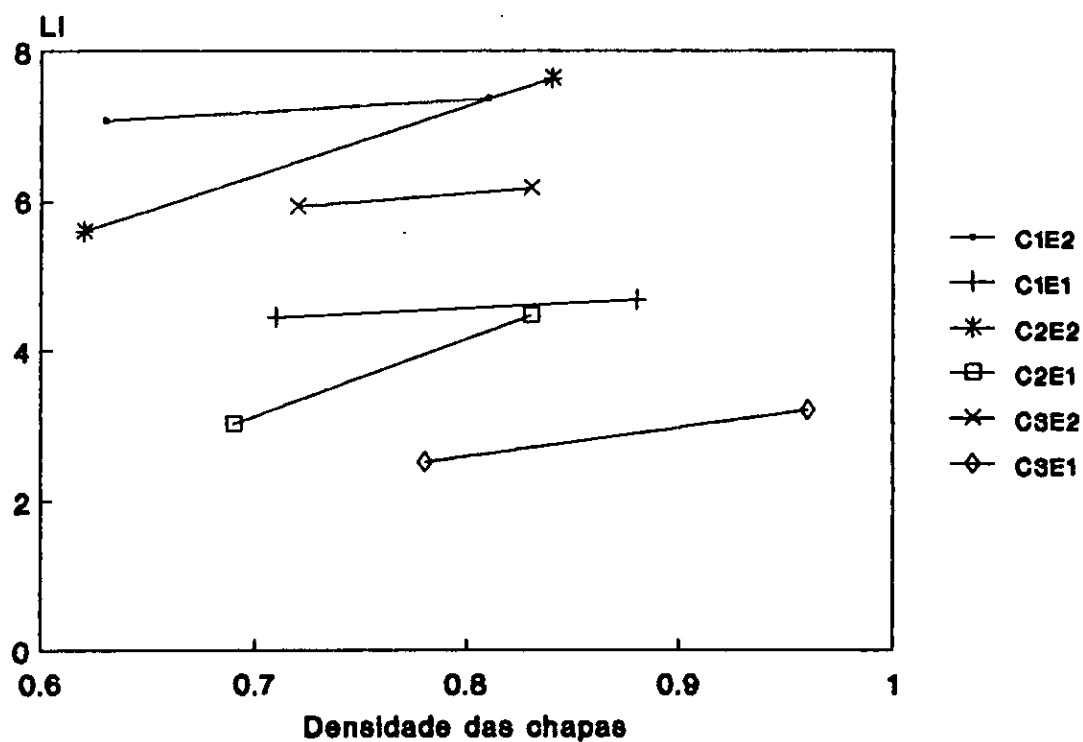
CR (%) : conteúdo de resina;

Dr (g/cm³) : densidade real das chapas;

DISSER. : Dissertação;

* : com 1% de parafina.

FIGURA 15: TENDENCIAS OBSERVADAS ENTRE A RELAÇÃO LIGAÇÃO INTERNA X DENSIDADE DA CHAPA, PARA AS SEIS GEOMETRIAS EM ESTUDO.



Legenda:

LI = ligação interna (kg/cm²)

Densidade = g/cm³

Geometria

C1E1 = 27.3 x 0.34 mm

C1E2 = 27.3 x 0.64 mm

C2E1 = 49.6 x 0.34 mm

C2E2 = 49.6 x 0.64 mm

C3E1 = 72.5 x 0.34 mm

C3E2 = 72.5 x 0.64 mm

c) Análise de Covariância

Na Tabela A4 em anexo é apresentada a análise de covariância correspondente a LI. Para níveis considerados do comprimento e da espessura das partículas, afetaram a LI de uma forma altamente significativa a 99% de probabilidade e a densidade das chapas a 95% de probabilidade. Na interação de fatores somente a interação comprimento das partículas com a densidade das chapas, foi significativa a 95% de probabilidade.

As comparações feitas através do teste Tukey para os valores médios dos fatores significativos são apresentadas na Tabela A13 e mostram que o comprimento C_1 (27.3 mm) e espessura E_2 (0.64 mm) foram os melhores a 99% de probabilidade e a densidade D_2 (0.86 g/cm³), foi a melhor ao nível de 95% de probabilidade. A combinação destes três fatores é ideal para a obtenção de altos valores de LI.

4.3.3 Arrancamento de Parafuso(RAP)

O conhecimento da resistência das chapas de partículas a RAP é de grande importância para fins moveleiros.

Os valores médios obtidos da RAP, variaram de 150.80 a 232.00 kg, para todas as geometrias(Tabela 14). As duas geometrias que tiveram uma redução da RAP, com o aumento da densidade das chapas, produziram valores médios inferiores aos mínimos exigidos pela Norma Comercial CS 236-66(Tabela 6). As demais geometrias foram de acordo com esta norma.

TABELA 14: VALORES MÉDIOS DA RESISTENCIA AO ARRANCAMENTO DE
PARAFUSO(RAP).

C	E	Dn	Dr	RAP	RAPa	CU
27.3	0.64	0.60	0.63	157.00	150.53	10.99
27.3	0.64	0.75	0.81	206.20	207.85	8.94
27.3	0.34	0.60	0.71	190.80	187.90	9.63
27.3	0.34	0.75	0.88	188.00	192.77	8.41
49.6	0.64	0.60	0.62	177.00	170.09	9.95
49.6	0.64	0.75	0.84	220.00	222.72	8.79
49.6	0.34	0.60	0.69	150.80	146.92	9.82
49.6	0.34	0.75	0.83	165.20	167.65	8.28
72.5	0.64	0.60	0.72	187.00	184.37	9.78
72.5	0.64	0.75	0.83	232.00	234.54	8.43
72.5	0.34	0.60	0.78	167.00	167.40	9.56
72.5	0.34	0.75	0.96	162.20	170.45	8.66

Legenda:

C (mm) : comprimento das partículas;

E (mm) : espessura das partículas;

Dn (g/cm³) : densidade nominal;

Dr (g/cm³) : densidade real;

RAP (kg) : resistência ao arrancamento de parafuso(média dos valores originais);

RAPa (kg): resistência ao arrancamento de parafuso(médias ajustadas);

CU (%) : conteúdo de umidade

a) Efeito da Geometria de Partículas

A Figura 16 mostra a relação existente entre os valores médios ajustados da RAP com as variáveis em estudo. Um aumento na espessura das partículas causou um pequeno aumento na RAP. O comprimento das partículas demonstrou causar uma pequena variação na RAP. Na Figura 17 observou-se que as chapas produzidas com partículas de 0.64 mm de espessura, apresentaram um aumento contínuo na RAP com o aumento do comprimento das partículas e da densidade das chapas. As chapas produzidas com partículas de 0.34 mm de espessura, tiveram uma redução no valor da RAP quando o comprimento das partículas passou de 27.3 mm para 49.6 mm e por fim tiveram um pequeno aumento neste valor quando o comprimento das partículas passou de 49.6 mm para 72.5 mm. Em suma as chapas produzidas com partículas longas e espessas RE 77.50 e 113 foram melhores em termos de RAP. IWAKIRI¹⁸, obteve melhores resultados na RAP para as chapas tipo "wafer", produzidas com *Pinus serotina*, com uma RE de 55.05(Tabela 15). *Pinus taeda* também apresentou melhores resultados que *Pinus patula*.

b) Efeito da Densidade das Chapas

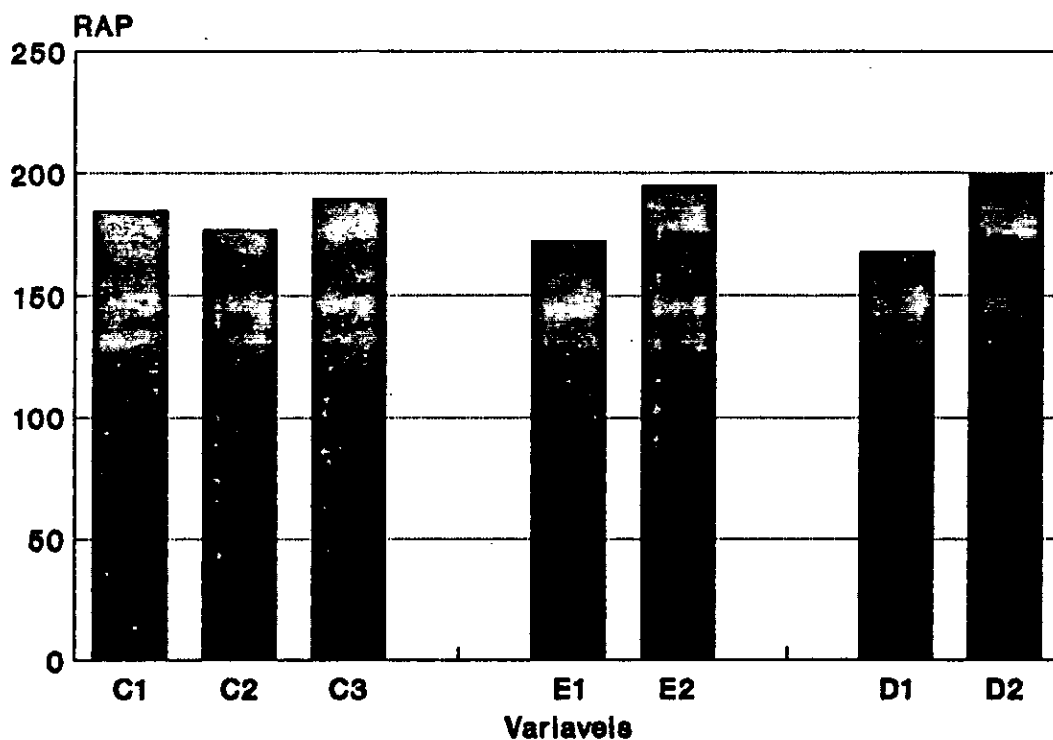
No presente trabalho a RAP, mostrou para as seis geometrias estudadas, uma tendência de aumentar com a densidade das chapas(Figura 18), com a exceção das geometrias de 27.3x0.34 mm e 72.5x0.34 mm que mostraram uma situação inversa. A mesma tendência foi verificada mesmo quando os valores médios foram ajustados, como mostra a Figura 16.

c) Análise de Covariância

Na análise de covariância efetuada(Tabela A5 em Anexo),

FIGURA 16: RELAÇÃO ENTRE A RESISTENCIA AO ARRANCAMENTO DE PARAFUSO(RAP) COM AS VARIÁVEIS EM ESTUDO.

-VALORES MÉDIOS AJUSTADOS.



Legenda:

RAP = resistência ao arrancamento de parafuso (kg)

C1 = 27.3 mm

C2 = 49.6 mm

C3 = 72.5 mm

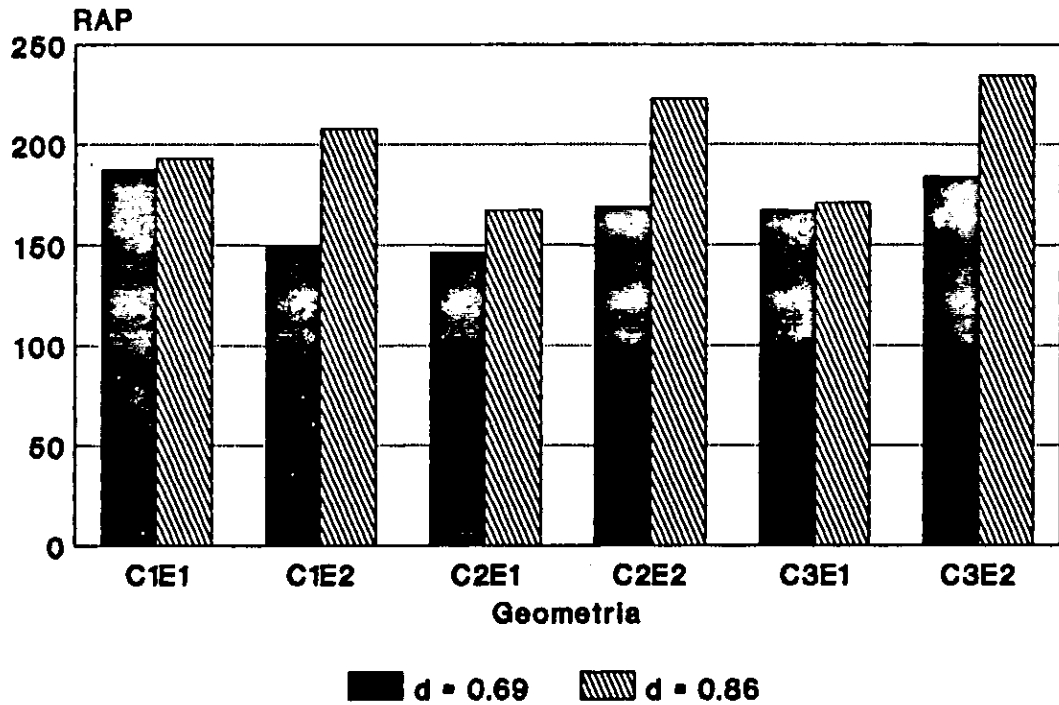
E1 = 0.34 mm

E2 = 0.64 mm

D1 = 0.69 g/cm³

D2 = 0.86 g/cm³

FIGURA 17: RELAÇÃO ENTRE A RAZÃO DE ESBELTEZ DAS PARTICULAS
 COM A RESISTENCIA AO ARRANCAMENTO DE PARAFUSO.
 -VALORES MÉDIOS AJUSTADOS.



Legenda:

RAP = resistência ao arrancamento de parafuso(kg)

d = densidade das chapas (g/cm^3)

Geometria	RE
C1E1	= 80.29
C1E2	= 42.66
C2E1	= 145.88
C2E2	= 77.50
C3E1	= 213.24
C3E2	= 113.28

TABELA 15: COMPARAÇÃO DOS VALORES OBTIDOS DA RESISTENCIA AO ARRANCAMENTO DE PARAFUSO COM OUTROS VALORES TOMADOS DA LITERATURA.

Fonte	RAP	RE	CR	Dr	Espécie
BRITO ⁴	176.8	69.23	8	0.68	<i>P. patula</i>
	243.8	69.23	8	0.81	<i>P. patula</i>
IWAKIRI ¹⁴	276.5	55.05	8	0.78	<i>P. taeda</i>
	406.7	55.05	8	0.78	<i>P. serotina</i>
MATOS ²⁷	*258.0	60.00	5	0.78	<i>P. taeda</i>
	235.0	60.00	5	0.78	<i>P. taeda</i>
DISSER.	*177.0	77.50	8	0.62	<i>P. patula</i>
	*220.0	77.50	8	0.84	<i>P. patula</i>
	*187.0	113.30	8	0.72	<i>P. patula</i>
	*232.5	113.30	8	0.83	<i>P. patula</i>

Legenda:

RAP (kg): resistência ao arrancamento de parafuso;

RE (%) : razão de esbeltez;

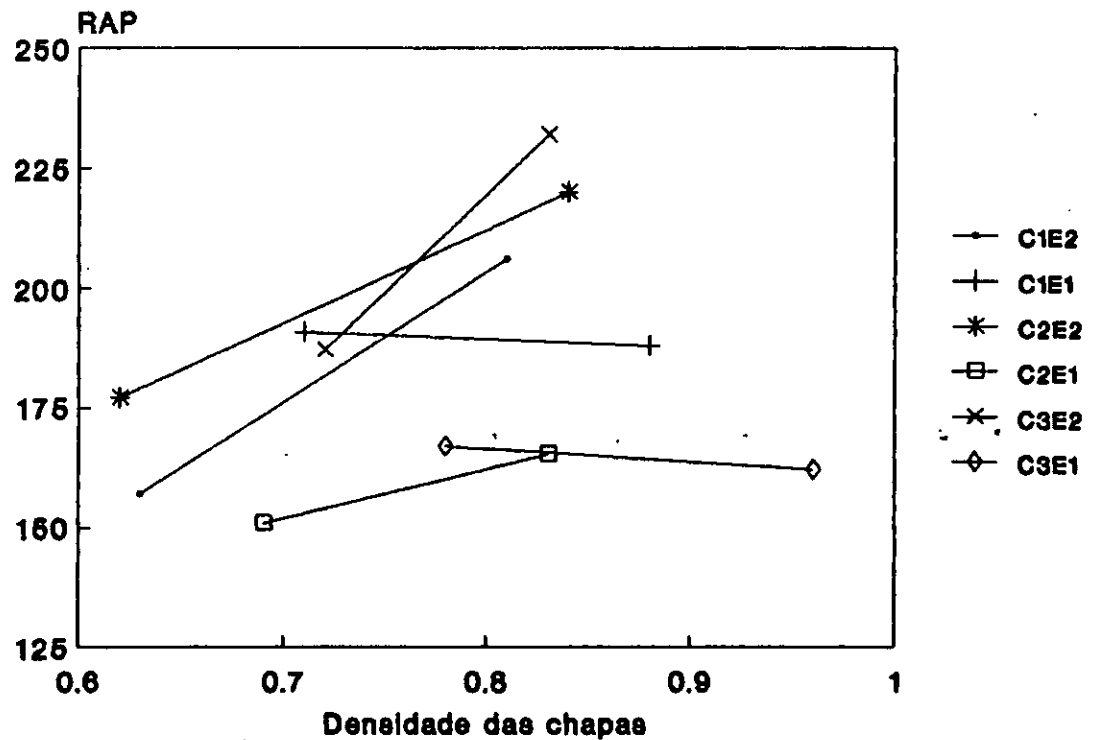
CR (%) : conteúdo de resina;

Dr (g/cm³) : densidade real das chapas;

DISSER. : Dissertação;

* : com 1% de parafina.

FIGURA 18: TENDENCIAS OBSERVADAS ENTRE A RELAÇÃO ARRANCAMENTO DE PARAFUSO X DENSIDADE DA CHAPA, PARA AS SEIS GEOMETRIAS EM ESTUDO.



Legenda:

RAP = resistência ao arrancamento de parafuso(kg/cm)

Densidade = g/cm^3

Geometria

C1E1 = 27.3 x 0.34 mm

C1E2 = 27.3 x 0.64 mm

C2E1 = 49.6 x 0.34 mm

C2E2 = 49.6 x 0.64 mm

C3E1 = 72.5 x 0.34 mm

C3E2 = 72.5 x 0.64 mm

sómente a espessura das partículas e a interação entre o comprimento das partículas com a espessura das partículas foram significantes a 95% de probabilidade e a interação espessura das partículas com a densidade da chapa, foi significativa a 99% de probabilidade. Por sua vez comparações efetuadas das médias para o fator espessura, não demonstraram nenhuma significância ao nível de 95% de probabilidade(Tabela A14 em anexo).

4.3.4 Absorção de Água(AA)

Os efeitos da umidade sobre as chapas de partículas são de suma importância no tocante às suas propriedades e usos finais, principalmente quando se trata de uso estrutural e em ambiente externo(IWAKIRI¹⁸).

Os valores médios de AA, para o tempo de imersão de 2 horas variaram de 9.16 a 31.35 por cento(Tabela 16) e para o tempo de imersão de 24 horas variaram de 26.76 a 60.65 por cento para todas as geometrias(Tabela 17).

a) Efeito da Geometria das Partículas

A relação entre a AA com as variáveis em estudo é apresentada através da Figura 19. As chapas produzidas com partículas finas, apresentaram uma redução no valor da AA, nos dois testes de imersão. Este resultado foi de acordo com as afirmações feitas por BRUMBAUGH⁵ e VITAL *et alii*⁴³. IWAKIRI¹⁸ explica este fato, baseando-se na razão de que a menor massa de madeira em cada partícula e o aumento no número de interfaces entre as partículas possibilita melhor dispersão do inchamento higroscópico para os espaços interpartículas.

TABELA 16: VALORES MEDIOS DE ABSORÇÃO DE AGUA(AA)

-IMERSAO 2 HORAS

C	E	Dn	Dr	AA	AAa	CU
27.3	0.64	0.60	0.63	22.76	21.66	9.46
27.3	0.64	0.75	0.81	9.79	10.07	7.93
27.3	0.34	0.60	0.71	17.91	17.42	8.75
27.3	0.34	0.75	0.88	11.21	12.00	7.87
49.6	0.64	0.60	0.62	31.35	30.19	9.60
49.6	0.64	0.75	0.84	11.90	12.36	8.63
49.6	0.34	0.60	0.69	17.33	16.68	8.55
49.6	0.34	0.75	0.83	11.10	11.51	7.63
72.5	0.64	0.60	0.72	27.45	27.00	9.25
72.5	0.64	0.75	0.83	15.40	15.83	8.09
72.5	0.34	0.60	0.78	21.24	21.31	9.02
72.5	0.34	9.75	0.96	9.16	10.55	7.45

Legenda:

C (mm) : comprimento das particulas;

E (mm) : espessura das particulas;

Dn (g/cm^3) : densidade nominal;Dr (g/cm^3) : densidade real;

AA (%) : absorção de água(média dos valores originais);

AAa (%) : absorção de água(médias ajustadas)

CU (%) : conteúdo de umidade.

TABELA 17: VALORES MÉDIOS DE ABSORÇÃO DE ÁGUA(AA)

-IMERSÃO 24 HORAS

C	E	Dn	Dr	AA	AAa	CU
27.3	0.64	0.60	0.63	55.45	52.33	9.46
27.3	0.64	0.75	0.81	28.25	29.04	7.93
27.3	0.34	0.60	0.71	45.94	44.55	8.75
27.3	0.34	0.75	0.88	28.10	30.39	7.87
49.6	0.64	0.60	0.62	60.65	57.33	9.60
49.6	0.64	0.75	0.84	33.42	34.73	8.63
49.6	0.34	0.60	0.69	52.33	50.47	8.55
49.6	0.34	0.75	0.83	26.76	27.94	7.63
72.5	0.64	0.60	0.72	57.34	56.08	9.25
72.5	0.64	0.75	0.83	36.21	37.44	8.09
72.5	0.34	0.60	0.78	51.90	52.09	9.02
72.5	0.34	0.75	0.96	26.95	30.92	7.45

Legenda:

C (mm) : comprimento das partículas;

E (mm) : espessura das partículas;

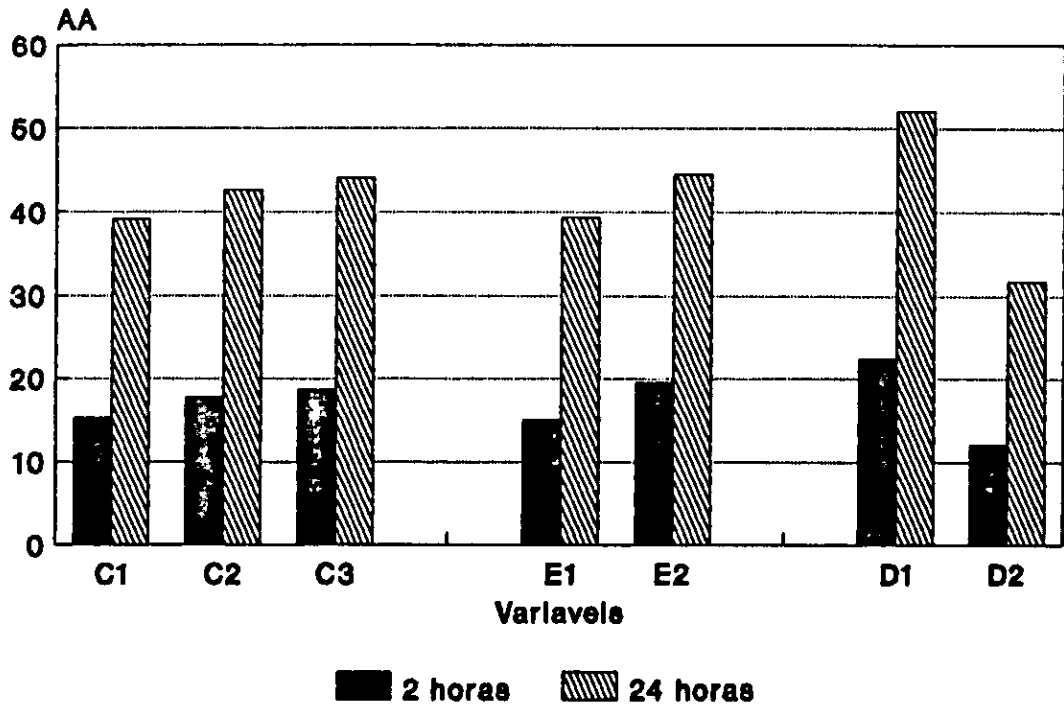
Dn (g/cm^3) : densidade nominal;Dr (g/cm^3) : densidade real;

AA (%) : absorção de água (média dos valores originais);

AAa (%) : absorção de água (médias ajustadas);

CU (%) : conteúdo de umidade.

FIGURA 19: RELAÇÃO ENTRE A ABSORÇÃO DE ÁGUA(AA)
 COM AS VARIÁVEIS EM ESTUDO
 -VALORES MÉDIOS AJUSTADOS.



Legenda:

AA = absorção de água (%)

C1 = 27.3 mm

C2 = 49.6 mm

C3 = 72.5 mm

E1 = 0.34 mm

E2 = 0.64 mm

D1 = 0.69 g/cm³

D2 = 0.86 g/cm³

Contrariando as afirmações feitas por BRUMBAUGH⁵ e HALLIGAN¹⁵, um aumento no comprimento das partículas demonstrou uma tendência de um aumento na AA, nos dois testes de imersão. No tocante à relação RE com a AA, as chapas produzidas com menor e maior RE, demonstraram uma tendência de reduzirem os valores de AA (Figuras 20 e 21).

Da Tabela 18 ficou claro que os valores de AA, obtidos neste estudo foram relativamente inferiores aos obtidos por outros autores, independentemente das condições impostas em cada estudo. A incorporação de 1% de parafina, teve efeitos considerados positivos.

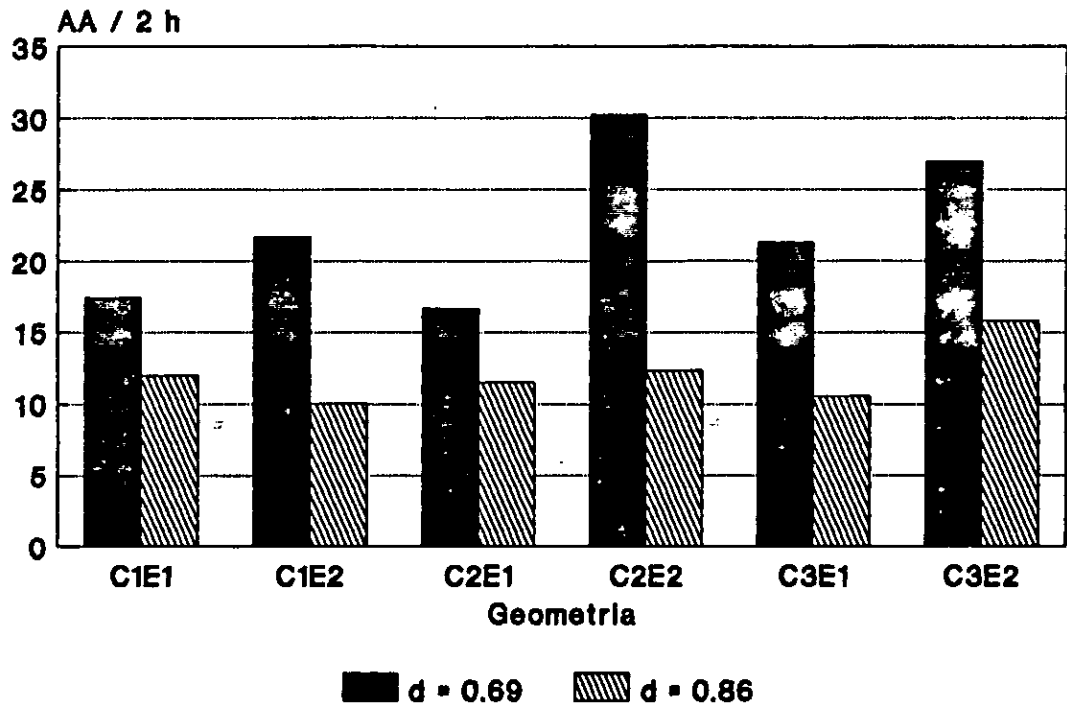
b) Efeito da Densidade das Chapas

As Figuras 22 e 23, mostram a relação entre a AA, com a densidade das chapas, para as seis geometrias estudadas, nos dois testes de imersão. Das tendências observadas, um aumento na densidade das chapas causou uma diminuição na AA. Quando se aumentou o tempo de imersão em água de 2 para 24 horas, houve um conseqüente aumento na AA. O mesmo resultado foi encontrado por BRITO⁴.

c) Análise de Covariância

Da análise de covariância efetuada, cujas tabelas são mostradas em Anexo (Tabelas A6 e A7), verificou-se de que para níveis considerados dos fatores espessura das partículas, densidade das chapas e da interação da espessura das partículas com a densidade das chapas, foram significantes ao nível de 99% de probabilidade, o comprimento das partículas foi significativa ao nível de 95% de probabilidade na imersão em água durante 2 horas. Na passagem para 24 horas de imersão

FIGURA 20: RELAÇÃO ENTRE A RAZÃO DE ESBELTEZ DAS PARTICULAS
 COM A ABSORÇÃO DE AGUA (IMERSAO - 2 HORAS).
 -VALORES MEDIOS AJUSTADOS.



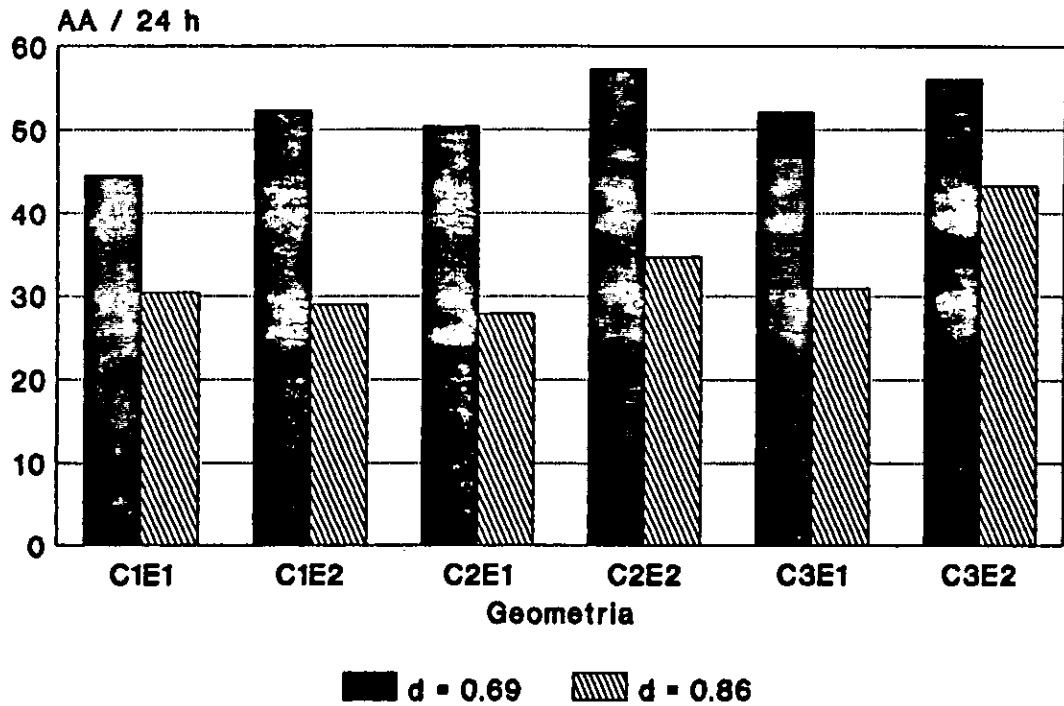
Legenda:

AA = absorção de água(%)

d = densidade das chapas (g/cm^3)

Geometria	RE
C1E1	= 80.29
C1E2	= 42.66
C2E1	= 145.88
C2E2	= 77.50
C3E1	= 213.24
C3E2	= 113.28

FIGURA 21: RELAÇÃO ENTRE A RAZÃO DE ESBELTEZ DAS PARTICULAS
 COM A ABSORÇÃO DE AGUA (IMERSAO - 24 HORAS).
 -VALORES MÉDIOS AJUSTADOS.



Legenda:

AA = absorção de água(%)

d = densidade das chapas (g/cm^3)

Geometria	RE
C1E1	= 80.29
C1E2	= 42.66
C2E1	= 145.88
C2E2	= 77.50
C3E1	= 213.24
C3E2	= 113.28

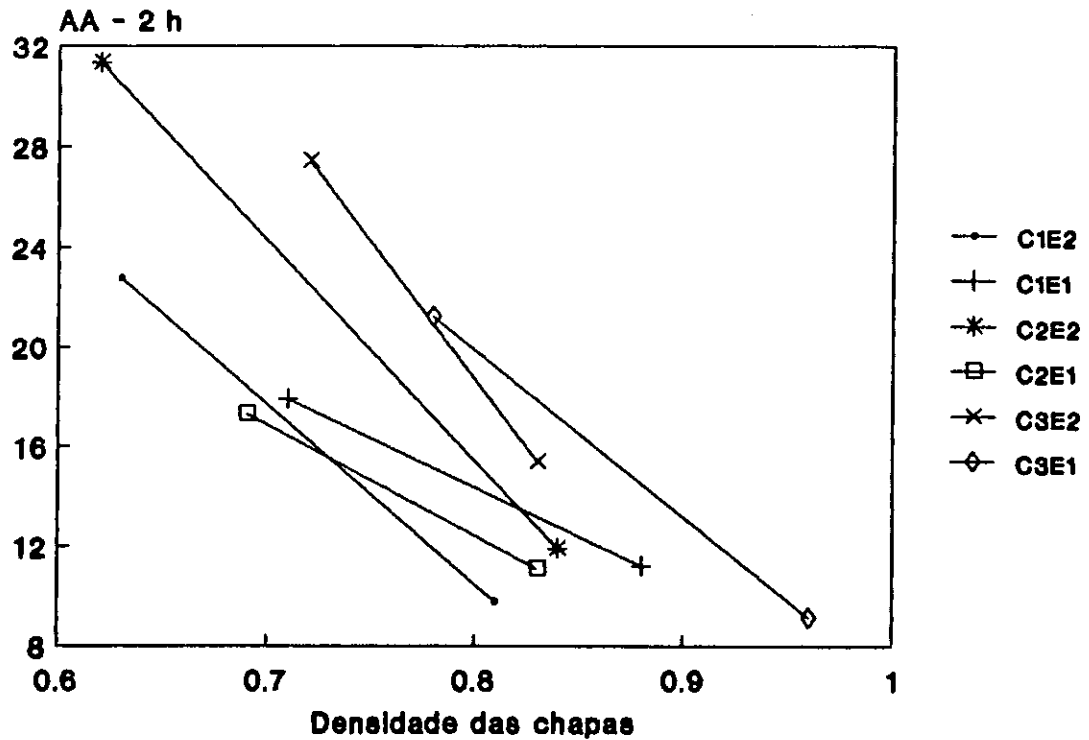
TABELA 18: COMPARAÇÃO DOS VALORES MEDIOS OBTIDOS DA ABSORÇÃO DE AGUA COM OUTROS VALORES TOMADOS DA LITERATURA.

Fonte	Imersão(%)		Dimensões				Espécie
	2 h	24 h	E	C	CR	Dr	
BRITO ⁴	* 62.92	78.97	0.76	31.75	8	0.68	<i>P. patula</i>
	* 34.81	49.19	0.76	31.75	8	0.81	<i>P. patula</i>
IWAKIRI ^{14*}	26.25	45.82	0.70	36.00	8	0.77	<i>P. taeda</i>
MATOS ²⁷	** 9.88	34.57	0.50	30.00	5	0.78	<i>P. taeda</i>
	* 42.29	71.59	0.50	30.00	5	0.78	<i>P. taeda</i>
DISSER.	** 22.76	55.45	0.64	27.30	8	0.71	<i>P. patula</i>
	** 31.35	60.65	0.64	49.60	8	0.66	<i>P. patula</i>
	** 9.79	28.25	0.64	27.30	8	0.89	<i>P. patula</i>
	** 11.90	33.42	0.64	49.60	8	0.86	<i>P. patula</i>

Legenda:

- E (mm) : espesura das partículas;
- C (mm) : comprimento das partículas;
- CR (%) : conteúdo de resina;
- Dr (g/cm³) : densidade real das chapas;
- DISSER. : Dissertação;
- * : sem incorporação de parafina;
- ** : com 1% de parafina.

FIGURA 22: TENDENCIAS OBSERVADAS ENTRE A RELAÇÃO ABSORÇÃO DE AGUA(IMERSAO- 2 HORAS) X DENSIDADE DA CHAPA, PARA AS SEIS GEOMETRIAS EM ESTUDO.



Legenda:

AA = absorção de água(%)

Densidade = g/cm³

Geometria

C1E1 = 27.3 x 0.34 mm

C1E2 = 27.3 x 0.64 mm

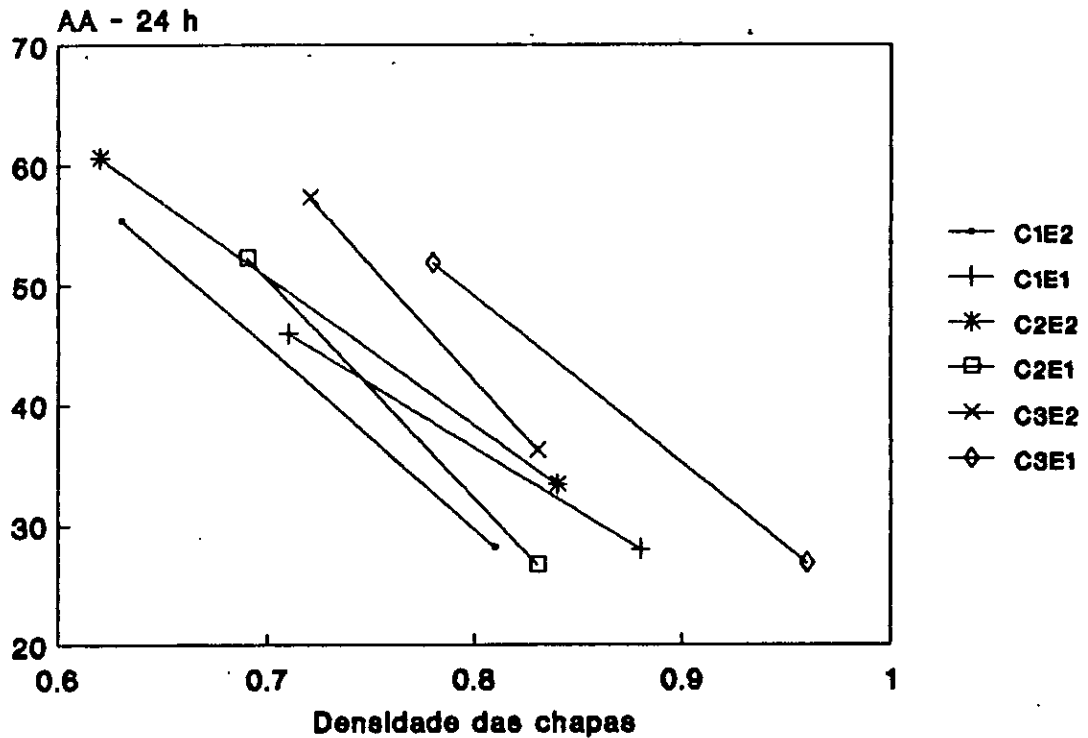
C2E1 = 49.6 x 0.34 mm

C2E2 = 49.6 x 0.64 mm

C3E1 = 72.5 x 0.34 mm

C3E2 = 72.5 x 0.64 mm

FIGURA 23: TENDENCIAS OBSERVADAS ENTRE A RELAÇÃO ABSORÇÃO DE AGUA(IMERSAO- 24 HORAS) X DENSIDADE DA CHAPA, PARA AS SEIS GEOMETRIAS EM ESTUDO.



Legenda:

AA = absorção de água(%)

Densidade = g/cm³

Geometria

C1E1 = 27.3 x 0.34 mm

C1E2 = 27.3 x 0.64 mm

C2E1 = 49.6 x 0.34 mm

C2E2 = 49.6 x 0.64 mm

C3E1 = 72.5 x 0.34 mm

C3E2 = 72.5 x 0.64 mm

a significância estatística foi ao nível de 99% de probabilidade para a densidade das chapas e ao nível de 95% de probabilidade para a espessura das partículas. O fator comprimento das partículas não apresentou nenhuma significância estatística, quando os seus valores médios ajustados nos diferentes níveis foram testados através do teste Tukey (Anexo, Tabelas A15). Já os fatores espessura das partículas e densidade das chapas, demonstraram que as chapas produzidas com espessura de partículas de 0.34 mm e 0.86 g/cm³, foram mais estáveis nos dois testes de imersão (Tabelas A15 e A16 em anexo).

4.3.5 Inchamento em Espessura (IE)

Os valores médios do IE, para o tempo de imersão de 2 horas variaram de 12.21 a 17.40 por cento (Tabela 19) e para o tempo de imersão de 24 horas variaram de 23.35 a 27.84 por cento (Tabela 20), para todos os tratamentos.

a) Efeito da Geometria de Partículas

O efeito exercido pelo comprimento das partículas e sua espessura na AA foi o mesmo para o IE, ou seja, houve uma tendência de um aumento no IE com o aumento no comprimento e espessura das partículas. Alguns autores também acharam um melhoramento no IE com o uso de partículas finas (BRUMBAUGH⁵, JORGENSEN & ODELL¹⁹ e POST³⁴). O comportamento do fator comprimento das partículas, foi contrária a literatura. A RE não apresentou uma grande influência nos dois testes de imersão (Figuras 25 e 26).

TABELA 19: VALORES MÉDIOS DE INCHAMENTO EM ESPESSURA(IE)

- IMERSAO 2 HORAS

C	E	Dn	Dr	IE	IEa	CU
27.3	0.64	0.60	0.63	15.48	14.75	9.46
27.3	0.64	0.75	0.81	12.21	12.39	7.93
27.3	0.34	0.60	0.71	13.32	13.00	8.75
27.3	0.34	0.75	0.88	12.59	13.12	7.87
49.6	0.64	0.60	0.62	17.40	16.63	9.60
49.6	0.64	0.75	0.84	12.76	13.07	8.63
49.6	0.34	0.60	0.69	13.96	13.53	8.55
49.6	0.34	0.75	0.83	13.43	14.70	7.63
72.5	0.64	0.60	0.72	16.91	16.62	9.25
72.5	0.64	0.75	0.83	16.24	16.52	8.09
72.5	0.34	0.60	0.78	14.86	14.90	9.02
72.5	0.34	0.75	0.96	13.16	14.08	7.45

Legenda:

C (mm) : comprimento das particulas;

E (mm) : espessura das particulas;

Dn (g/cm^3) : densidade nominal;Dr (g/cm^3) : densidade real;

IE (%) : inchamento em espessura(média dos valores originais);

IEa (%) : inchamento em espessura(médias ajustadas);

CU (%) : conteúdo de umidade.

TABELA 20: VALORES MÉDIOS DE INCHAMENTO EM ESPESSURA(IE)

-IMERSÃO 24 HORAS.

C	E	Dn	Dr	IE	IEa	CU
27.3	0.64	0.60	0.63	26.39	24.88	9.46
27.3	0.64	0.75	0.81	25.11	25.49	7.93
27.3	0.34	0.60	0.71	23.40	22.74	8.75
27.3	0.34	0.75	0.88	23.35	24.45	7.87
49.6	0.64	0.60	0.62	27.57	25.97	9.60
49.6	0.64	0.75	0.84	26.12	26.75	8.63
49.6	0.34	0.60	0.69	27.84	26.95	8.55
49.6	0.34	0.75	0.83	24.24	24.81	7.63
72.5	0.64	0.60	0.72	27.31	26.71	9.25
72.5	0.64	0.75	0.83	26.77	27.36	8.09
72.5	0.34	0.60	0.78	24.60	24.69	9.02
72.5	0.34	0.75	0.96	23.62	25.53	7.45

Legenda:

C (mm) : comprimento das partículas;

E (mm) : espessura das partículas;

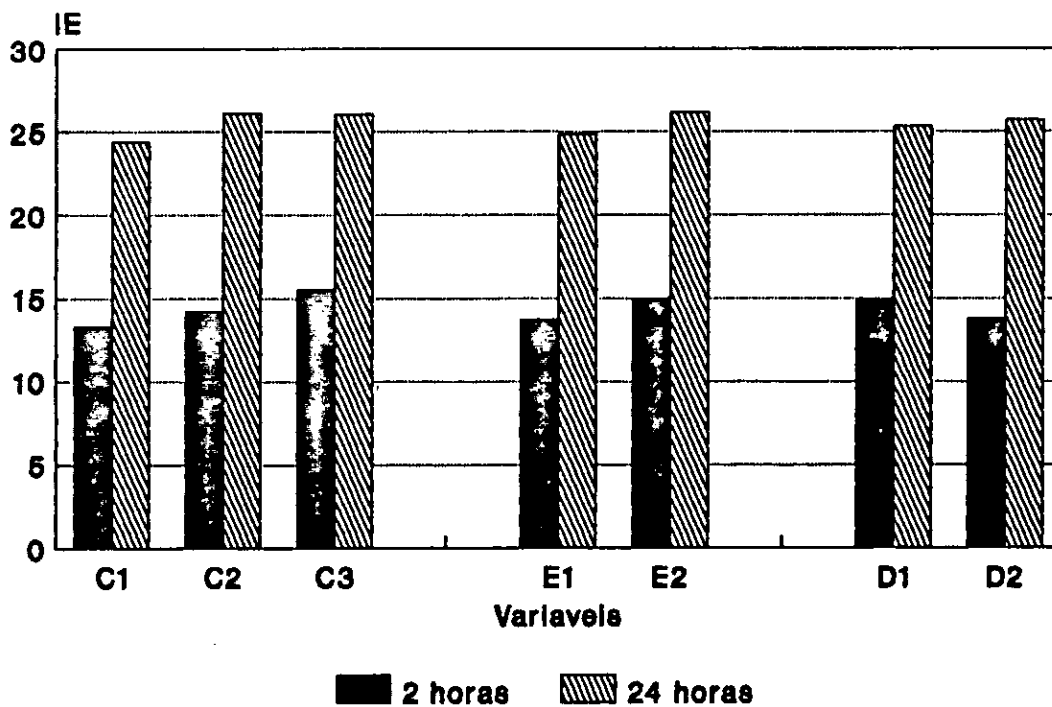
Dn (g/cm^3) : densidade nominal;Dr (g/cm^3) : densidade real;

IE (%) : inchamento em espessura(média dos valores originais);

IEa(%) : inchamento em espessura(médias ajustadas);

CU (%) : conteúdo de umidade.

FIGURA 24: RELAÇÃO ENTRE O INCHAMENTO EM ESPESSURA (IE)
 COM AS VARIÁVEIS EM ESTUDO.
 -VALORES MÉDIOS AJUSTADOS.



Legenda:

IE = inchamento em espessura (%)

C1 = 27.3 mm

C2 = 49.6 mm

C3 = 72.5 mm

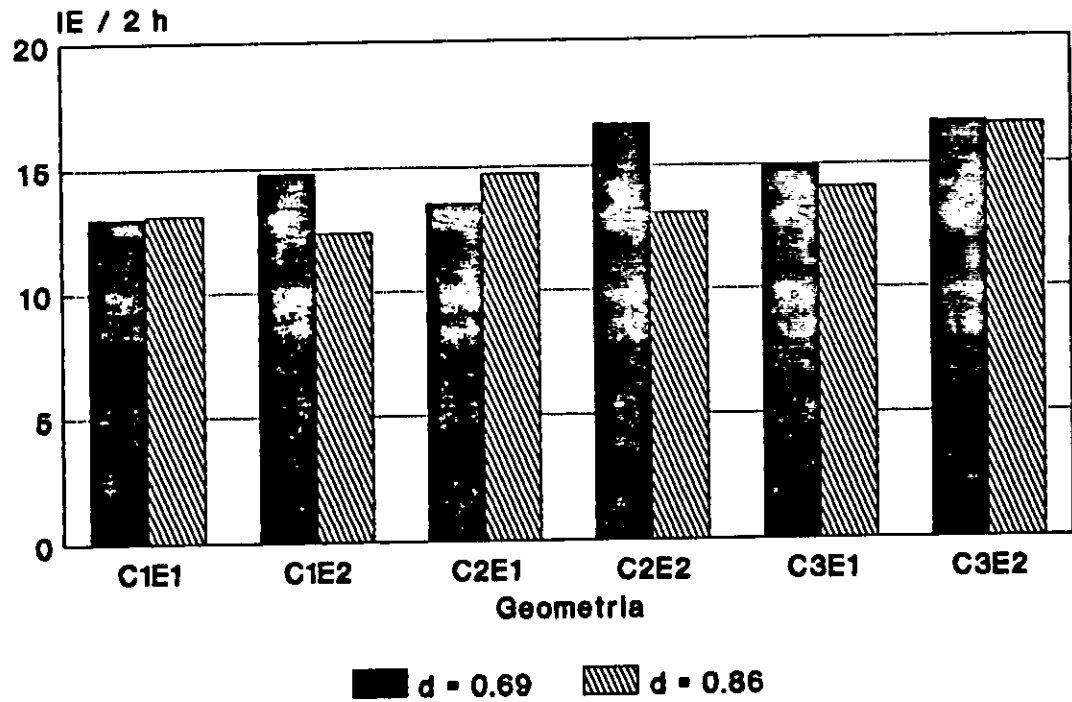
E1 = 0.34 mm

E2 = 0.64 mm

D1 = 0.69 g/cm³

D2 = 0.86 g/cm³

FIGURA 25: RELAÇÃO ENTRE A RAZÃO DE ESBELTEZ DAS PARTICULAS
 COM O INCHAMENTO EM ESPESSURA (IMERSÃO - 2 HORAS).
 -VALORES MÉDIOS AJUSTADOS.



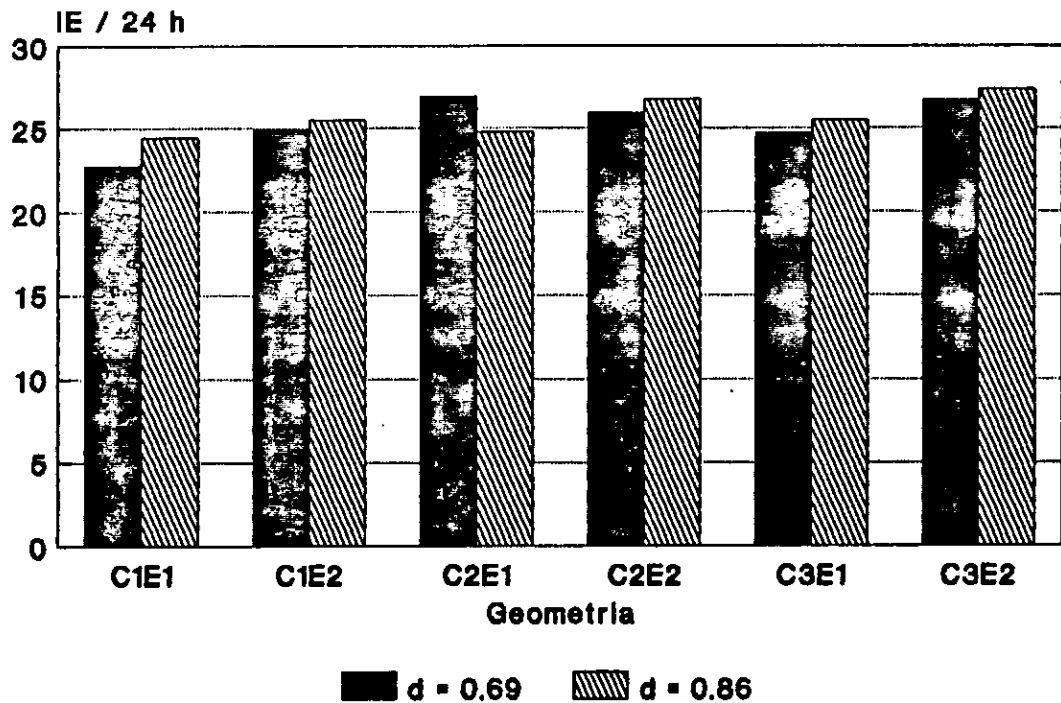
Legenda:

IE = inchamento em espessura(%)

d = densidade das chapas (g/cm^3)

Geometria	RE
C1E1	= 80.29
C1E2	= 42.66
C2E1	= 145.88
C2E2	= 77.50
C3E1	= 213.24
C3E2	= 113.28

FIGURA 26: RELAÇÃO ENTRE A RAZÃO DE ESBELTEZ DAS PARTICULAS
 COM O INCHAMENTO EM ESPESSURA (IMERSÃO - 24 HORAS).
 -VALORES MÉDIOS AJUSTADOS.



Legenda:

IE = inchamento em espessura(%)

d = densidade das chapas (g/cm^3)

Geometria	RE
C1E1	= 80.29
C1E2	= 42.66
C2E1	= 145.88
C2E2	= 77.50
C3E1	= 213.24
C3E2	= 113.28

A Tabela 21, apresenta as comparações feitas com os resultados obtidos na literatura. No teste de imersão em 2 horas houve uma tendência dos valores obtidos no presente estudo serem inferiores aos valores obtidos por outros autores citados, o que não aconteceu no teste de imersão em 24 horas onde os valores obtidos no presente trabalho não foram muito diferentes dos outros.

b) Efeito da Densidade das Chapas

O teste de IE, comportou-se também da mesma maneira como na AA em relação a densidade das chapas. Um aumento desta propriedade causou uma redução no IE, nas diferentes geometrias estudadas, tanto para a imersão em água durante 2 horas, como para a imersão durante 24 horas (Figuras 27 e 28).

c) Análise de Covariância

As Tabelas correspondentes à análise de covariância são apresentadas em Anexo (Tabelas A8 e A9). Para os níveis considerados de comprimento de partículas, foram significativos a 99% de probabilidade, a espessura das partículas foi significativa a 95% de probabilidade para o teste de imersão a 2 horas. No teste de imersão a 24 horas, os tratamentos não foram significativos ao nível de 95% de probabilidade, apesar do fator comprimento ter sido significante a 95% de probabilidade.

No teste de médias efetuado para o teste de imersão de 2 horas (Tabela A17), o comprimento das partículas de 72.5 mm, demonstrou ser o pior em relação aos comprimentos 27.3 e 49.6 mm. As duas espessuras de partículas não afetaram com significância estatística o IE.

TABELA 21: COMPARAÇÃO DOS VALORES MEDIOS OBTIDOS DE INCHAMENTO EM ESPESSURA COM OUTROS VALORES TOMADOS DA LITERATURA.

Fonte	Imersão(%)		Dimensões				Espécie
	2 h	24 h	E	C	CR	Dr	
BRITO ⁴	* 27.93	31.19	0.76	31.75	8	0.68	<i>P. patula</i>
	* 19.07	24.90	0.76	31.75	8	0.81	<i>P. patula</i>
IWAKIRI ^{14*}	24.09	31.41	0.70	36.00	8	0.77	<i>P. taeda</i>
MATOS ²⁷	** 14.55	31.80	0.50	30.00	5	0.78	<i>P. taeda</i>
	* 39.44	47.98	0.50	30.00	5	0.78	<i>P. taeda</i>
DISSER.	** 15.48	26.39	0.64	27.30	8	0.71	<i>P. patula</i>
	** 17.40	27.57	0.64	49.60	8	0.66	<i>P. patula</i>
	** 12.21	25.11	0.64	27.30	8	0.89	<i>P. patula</i>
	** 12.76	26.12	0.64	49.60	8	0.86	<i>P. patula</i>

Legenda:

E (mm) : espessura das partículas;

C (mm) : comprimento das partículas;

CR (%) : conteúdo de resina;

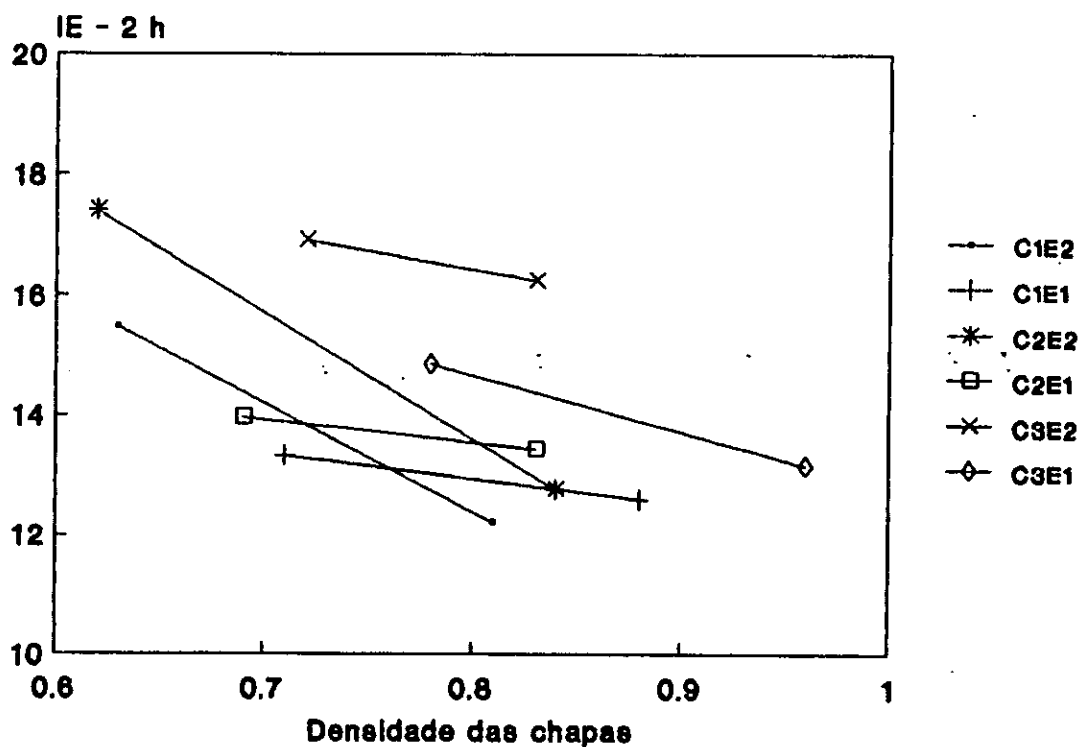
Dr (g/cm³) : densidade real das chapas;

DISSER. : Dissertação

* : sem incorporação de parafina

** : com incorporação de 1% de parafina.

FIGURA 27: TENDENCIAS OBSERVADAS ENTRE A RELAÇÃO INCHAMENTO EM ESPESSURA(IMERSAO- 2 HORAS) X DENSIDADE DA CHAPA, PARA AS SEIS GEOMETRIAS EM ESTUDO.



Legenda:

IE = inchamento em espessura(%)

Densidade = g/cm^3

Geometria

C1E1 = 27.3 x 0.34 mm

C1E2 = 27.3 x 0.64 mm

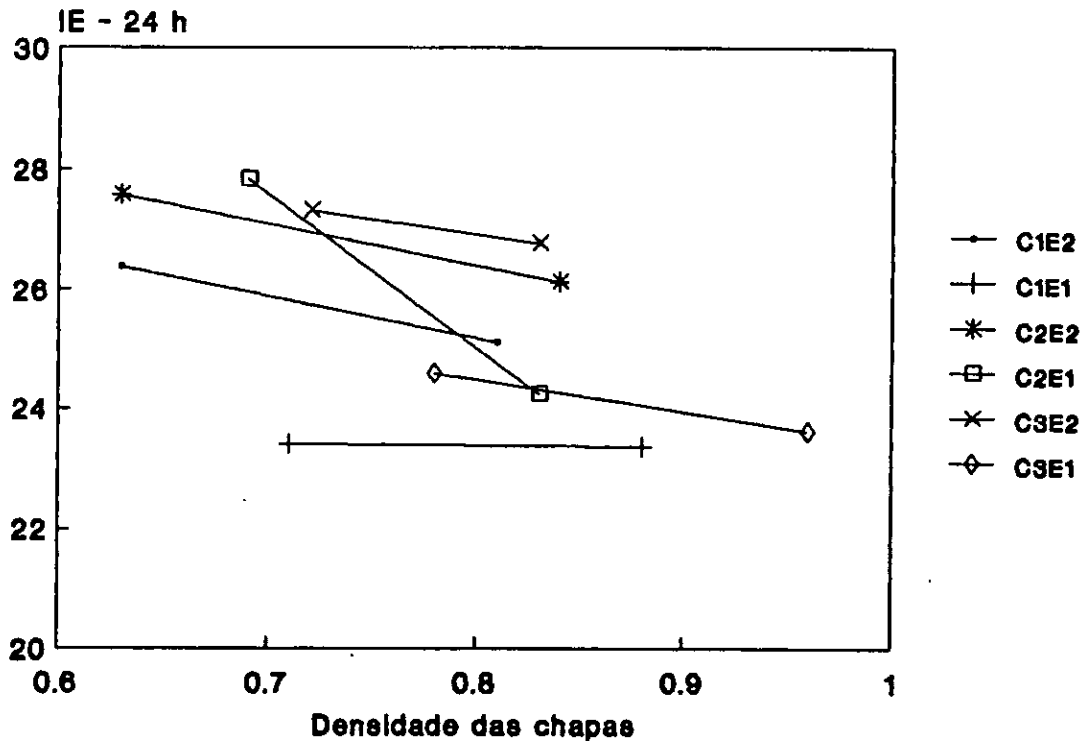
C2E1 = 49.6 x 0.34 mm

C2E2 = 49.6 x 0.64 mm

C3E1 = 72.5 x 0.34 mm

C3E2 = 72.5 x 0.64 mm

FIGURA 28: TENDENCIAS OBSERVADAS ENTRE A RELAÇÃO INCHAMENTO EM ESPESSURA (IMERSAO-24 HORAS) X DENSIDADE DA CHAPA, PARA AS SEIS GEOMETRIAS EM ESTUDO.



Legenda:

IE = inchamento em espessura(%)

Densidade = g/cm³

Geometria

C1E1 = 27.3 x 0.34 mm

C1E2 = 27.3 x 0.64 mm

C2E1 = 49.6 x 0.34 mm

C2E2 = 49.6 x 0.64 mm

C3E1 = 72.5 x 0.34 mm

C3E2 = 72.5 x 0.64 mm

4.3.6 Expansão Linear(EL)

A EL ganha dimensões em importância quando as chapas são confeccionadas com propósitos estruturais(BRITO⁴).

Os valores médios de EL variaram de 0.06 a 0.15 por cento, para todos os tratamentos(Tabela 22). Todos estes valores foram muito bem inferiores àqueles máximos permitidos pela Norma Comercial CS 236-66(Tabela 6), demonstrando assim um excelente comportamento das chapas fabricadas com relação a esta propriedade. O método de imersão usado neste trabalho, para a determinação da EL, demonstrou ser eficaz em relação ao método recomendado pela norma ASTM D 1037, devido a grande dificuldade de se conseguir um melhor acondicionamento dos corpos de prova.

a) Efeito da Geometria de Partículas

A Figura 29, apresenta a relação entre a EL com as variáveis em estudo. As chapas produzidas com partículas longas e finas apresentaram valores mínimos ajustados da EL. Os mesmos resultados foram encontrados por BRAUMBAGH⁵. A maior RE (145.88 e 213.24), apresentou chapas mais estáveis, como pode ser observado na Figura 30. Excelentes resultados foram obtidos também por BRITO⁴.

b) Efeito da Densidade das Chapas

Vários autores não encontraram uma relação clara entre a EL e a densidade das chapas. No presente estudo quatro geometrias, mostraram uma tendência clara de reduzirem a EL com o aumento da densidade(Figura 31).

TABELA 22: VALORES MÉDIOS DE EXPANSÃO LINEAR(EL)

C	E	Dn	Dr	EL	ELa	CU
27.3	0.64	0.60	0.63	0.15	0.15	10.99
27.3	0.64	0.75	0.81	0.12	0.12	8.94
27.3	0.34	0.60	0.71	0.10	0.11	9.63
27.3	0.34	0.75	0.88	0.08	0.07	8.41
49.6	0.64	0.60	0.62	0.13	0.13	9.95
49.6	0.64	0.75	0.84	0.13	0.13	8.79
49.6	0.34	0.60	0.69	0.09	0.09	9.82
49.6	0.34	0.75	0.83	0.07	0.07	8.28
72.5	0.64	0.60	0.72	0.11	0.11	9.78
72.5	0.64	0.75	0.83	0.11	0.11	8.43
72.5	0.34	0.60	0.78	0.08	0.08	9.56
72.5	0.34	0.75	0.96	0.06	0.06	8.66

Legenda:

C (mm) : comprimento das partículas;

E (mm) : espessura das partículas;

Dn (g/cm^3) : densidade nominal;

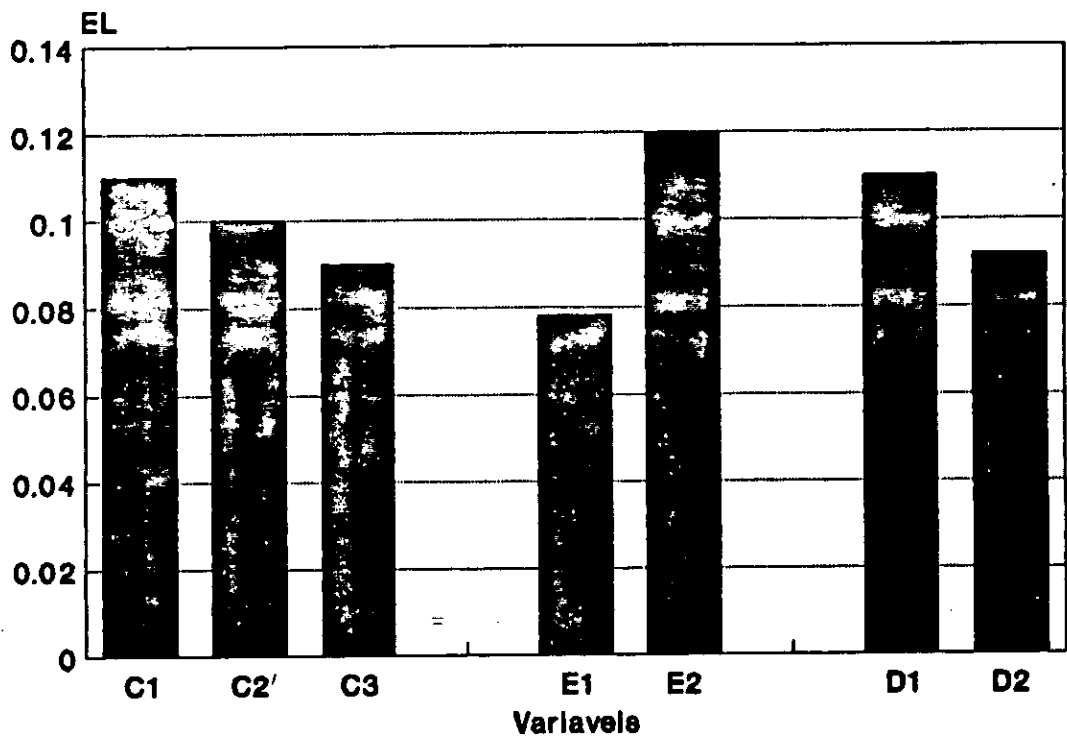
Dr (g/cm^3) : densidade real;

EL (%) : expansão linear(média dos valores originais);

ELa(%) : expansão linear(médias ajustadas);

CU (%) : conteúdo de umidade.

FIGURA 29: RELAÇÃO ENTRE A EXPANSÃO LINEAR(EL) COM
VARIÁVEIS EM ESTUDO.
-VALORES MÉDIOS AJUSTADOS.



Legenda:

EL = expansão linear (%)

C1 = 27.3 mm

C2 = 49.6 mm

C3 = 72.5 mm

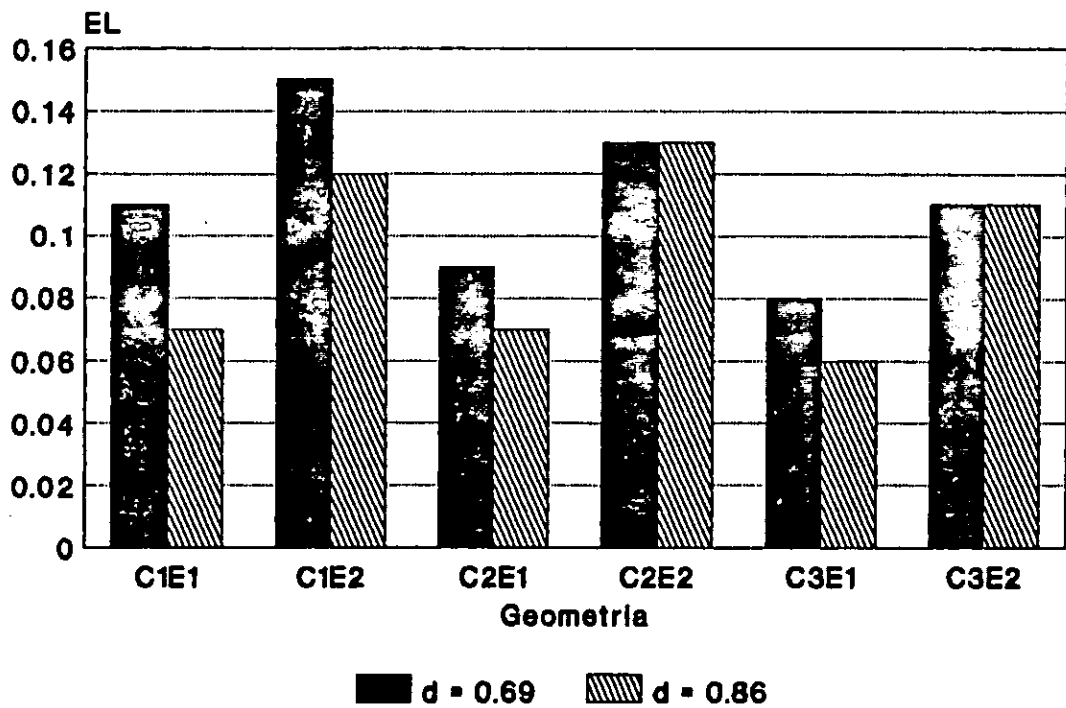
E1 = 0.34 mm

E2 = 0.64 mm

D1 = 0.69 g/cm³

D2 = 0.86 g/cm³

FIGURA 30: RELAÇÃO ENTRE A RAZÃO DE ESBELTEZ DAS PARTICULAS
COM A EXPANSÃO LINEAR.
-VALORES MEDIOS AJUSTADOS.



Legenda:

EL = expansão linear(%)

d = densidade das chapas (g/cm^3)

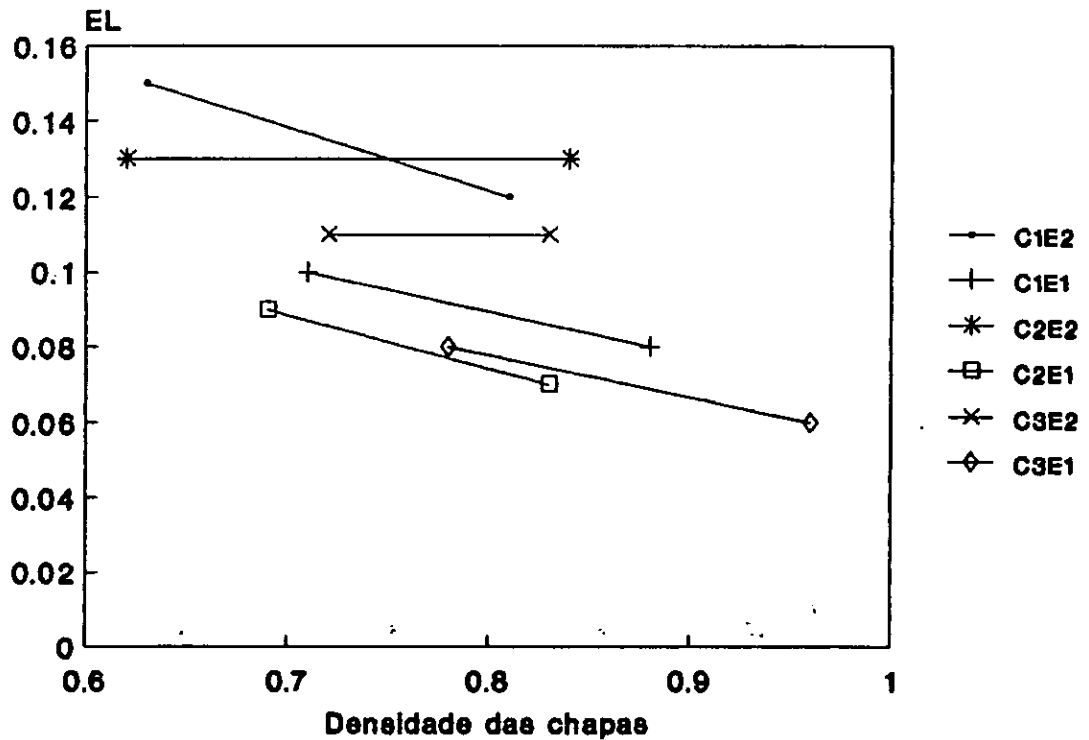
Geometria	RE
C1E1	= 80.29
C1E2	= 42.66
C2E1	= 145.88
C2E2	= 77.50
C3E1	= 213.24
C3E2	= 113.28

c) Análise de Covariância

A tabela correspondente a análise de covariância é apresentada em Anexo(Tabela A10). Para níveis considerados do comprimento das partículas, foram significativos a 95% de probabilidade e para níveis considerados da espessura das partículas, foram significativos a 99% de probabilidade.

O teste Tukey foi feito para os valores médios dos fatores significantes e as comparações efetuadas são apresentadas em Anexo(Tabela A18). A 95% de probabilidade, as chapas de partículas produzidas com partículas de 49.2 ou 72.5 mm de comprimento, apresentaram uma EL mínima. O mesmo aconteceu com as chapas produzidas com 0.34mm de espessura das partículas quando testadas a 99% de probabilidade. Perante estes resultados, uma combinação ideal para a produção de chapas com uma EL mínima seria de, 49.6 mm ou 72.5 mm de comprimento das partículas, 0.34 mm de espessura e 0.69 g/cm^3 ou 0.86 g/cm^3 de densidade.

FIGURA 31: TENDENCIAS OBSERVADAS ENTRE A RELAÇÃO EXPANSÃO LINEAR X DENSIDADE DA CHAPA, PARA AS SEIS GEOMETRIAS EM ESTUDO.



Legenda:

EL = expansão linear(%)

Densidade = g/cm^3

Geometria

C1E1 = 27.3 x 0.34 mm

C1E2 = 27.3 x 0.64 mm

C2E1 = 49.6 x 0.34 mm

C2E2 = 49.6 x 0.64 mm

C3E1 = 72.5 x 0.34 mm

C3E2 = 72.5 x 0.64 mm

5 CONCLUSOES E RECOMENDACOES

A partir da análise dos resultados obtidos, foram feitas as seguintes conclusões:

- a) As variáveis em estudo, tiveram uma grande influência nas propriedades do módulo de elasticidade(MOE) e do módulo de ruptura(MOR). Um aumento no comprimento das partículas e da densidade das chapas causou um aumento no MOE e no MOR, acontecendo o contrário com a espessura das partículas. A razão de esbeltez(RE) para as duas propriedades foi em torno de 120. Acima desta RE as propriedades tiveram uma tendência de se manterem constantes.
- b) *Pinus patula*, demonstrou boas propriedades do MOE e do MOR, nas comparações feitas com os outros trabalhos.
- c) No teste de ligação interna(LI), partículas curtas e espessas, com menores valores da RE, apresentaram valores altos da LI. Um aumento na densidade das chapas, causou também um aumento da LI.
- d) Nas comparações feitas, os valores obtidos da LI foram relativamente inferiores aos obtidos por BRITO⁴, IWAKIRI¹⁸ e MATOS³². O tipo de teste usado e o uso da parafina podem ter sido os principais fatores que causaram uma queda nos valores da LI.

e) Na resistência ao arrancamento de parafuso(RAP), as chapas produzidas com partículas longas e espessas tiveram uma tendência de valores altos da RAP. Mesmo assim os valores mais altos, obtidos com uma RE de 77.50 e 113, não superaram os valores, citados na literatura.

f) Nos testes de absorção de água(AA) e de inchamento em espessura(IE), houve uma tendência das chapas produzidas com partículas finas e densas se estabilizarem melhor. Contrariando a literatura, um aumento no comprimento das partículas, causou um aumento da AA e do IE. A RE não apresentou uma grande influência sobre as propriedades de IE. Na AA houve uma tendência das chapas produzidas com menor e maior RE, demonstrarem valores baixos da AA.

g) O uso de 1% de parafina teve efeitos considerados positivos, na medida em que os valores da AA e do IE obtidos no presente trabalho foram relativamente inferiores, quando comparados com os valores tomados da literatura.

h) As variáveis em estudo tiveram uma influência sobre a expansão linear(EL). As chapas de partículas produzidas com partículas longas e finas, RE 145.88 e 213.24, foram mais estáveis, assim como as chapas mais densas.

i) A geometria de partículas, demonstrou relações que já são claras na literatura. A principal contribuição deste trabalho se verificou na propriedade LI onde a RE demonstrou também ser importante indicador de comportamento de qualidade de colagem.

Aseguir são apresentadas algumas recomendações:

- a) Recomenda-se para obter melhores propriedades do módulo de elasticidade(MOE) e do módulo de ruptura(MOR), produzir chapas com partículas de 72.5 mm de comprimento e 0.34 mm de espessura e densidade da chapa 0.86 g/cm^3 .
- b) Para a obtenção de chapas com valores relativamente altos de ligação interna(LI) é recomendável produzir chapas com partículas de 27.3mm de comprimento e 0.64 mm de espessura e densidade da chapa 0.86g/cm^3 .
- c) Com a finalidade de melhorar a estabilidade dimensional das chapas AA e IE é aconselhável produzir chapas com partículas de 0.34 mm de espessura e 0.86 g/cm^3 de densidade.
- d) Se o interesse é de produzir chapas de partícula com valores mínimos da expansão linear(EL), recomenda-se produzir chapas com partículas de 49.6 mm ou 72.5 mm de comprimento, 0.34 mm de espessura e densidade de 0.69g/cm^3 ou 0.86g/cm^3 .
- e) Recomenda-se um estudo comparativo entre o método proposto por SUCHSLAND⁴² com o método normatizado pela ASTM D-1037¹ sobre a determinação da ligação interna(LI).
- f) Recomenda-se um estudo sobre a influência da parafina na LI, das chapas de partícula.

SUMMARY

In this research, were manufactured structural particleboard from *Pinus patula*. Six types of particles were used; wafer length: 27.3mm, 49.6mm and 72.5mm, wafer thickness: 0.64mm and 0.34mm. Conditions for board manufacturing were: nominal board density - 0.60 g/cm³ and 0.75 g/cm³, resin content - 8%, Phenol-formaldehyde liquid resin, additives - 1% wax emulsion, particle moisture content - 5%, press closing time - 35 seconds, pressing temperature - 180°C, pressing time - 8 minutes and pressure - 40 kg/cm². A factorial covariance analysis was used, for wafer length, wafer thickness and board density. The variables measured: modulus of elasticity(MOE), modulus of rupture(MOR), internal bond(IB), screw holding capacity(SHC), water absorption(WA), thickness swelling(TS) and linear expansion(LE). All obtained average values of MOE and MOR, showed values above the minimum required by the American Standard CS 236-66. The manufactured boards, demonstrated an increase on values of MOE and MOR with an increase on wafer length and reduction of thickness, up to a slenderness ratio of about 120. To obtain the higher values of MOE and MOR, the boards with particles length of 72.5mm, particles thickness of 0.34mm and boards density of 0.86g/cm³, are recommended. The increase on wafer length and reduction of thickness, gave lower values of IB. The best values of IB were obtained with manufactured boards of particle length 27.3mm, particle thickness 0.64mm and board density of 0.86g/cm³. In the SHC, the use of longer and thicker wafers, originated higher values of SHC. The WA and TS, demonstrate a decrease with length and thickness wafer reduction. The board density increase, originated WA and TS reduction. The manufactured boards with particle thickness of 0.34 mm and boards density of 0.86g/cm³ for WA and manufactured with particle length of 27.3mm and 49.6mm for TS, were more stable. The TS showed lower values than the minimum required by the American Standard CS 236-66. The manufactured boards with particle length of 49.6mm or 72.5mm, particle thickness of 0.34mm and board density 0.69g/cm³ or 0.86g/cm³, showed lower values of TS.

ANEXOS
ANALISE ESTATISTICA

TABELA A1: ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA COVARIÁVEL DENSIDADE, PARA AS PROPRIEDADES ESTUDADAS.

Causa da Variação	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F Calculado
Tratamentos	11	0.053649	27.23**
Comprimento das partículas (C)	2	0.035852	18.20**
Espessura das partículas (E)	1	0.070042	35.55**
Densidade das chapas (D)	1	0.421682	214.05**
Interações:			
C X E	2	0.005832	2.96ns
C X D	2	0.001762	0.89ns
E X D	1	0.000282	0.14ns
C X E X D	2	0.005622	2.85ns
Erro	48	0.001970	
Total	59	0.011605	

** : significativo a 99% de probabilidade
 ns : não significativo

F tabelado:

GL (1-48; 95%) = 4.048

GL (1-48; 99%) = 7.218

GL (2-48; 95%) = 3.198

GL (2-48; 99%) = 5.10

GL (11-48; 95%) = 2.004

GL (11-48; 99%) = 2.662

TABELA A2: ANÁLISE DE COVARIÂNCIA DA VARIÁVEL MÓDULO DE ELASTICIDADE AJUSTADA PARA A DENSIDADE.

Causa da Variação	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F Calculado
Tratamentos	11	461805081	13.00**
Comprimento das partículas (C)	2	977492224	26.49**
Espessura das partículas (E)	1	390271808	10.58**
Densidade das chapas (D)	1	1631000000	44.20**
Interações:			
C X E	2	126739888	3.43*
C X D	2	275717184	7.47**
E X D	1	230929392	6.26*
C X E X D	2	33878048	0.92ns
Erro	47	36900308	
Total	58		

* : significativo a 95% de probabilidade
 ** : significativo a 99% de probabilidade
 ns : não significativo

F tabelado:

GL (1-47; 95%) = 4.052	GL (1-47; 99%) = 7.229
GL (2-47; 95%) = 3.202	GL (2-47; 99%) = 5.110
GL (11-47; 95%) = 2.009	GL (11-47; 99%) = 2.671

TABELA A3: ANÁLISE DE COVARIÂNCIA DA VARIÁVEL MÓDULO DE RUPTURA AJUSTADA PARA A DENSIDADE.

Causa da Variação	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F Calculado
Tratamentos	11	19115.4	11.00**
Comprimento das partículas (C)	2	54434.2	31.33**
Espessura das partículas (E)	1	16865.1	9.71**
Densidade das chapas	1	53152.6	30.59**
Interações:			
C X E	2	14079.6	8.10**
C X D	2	702.4	0.40ns
E X D	1	1315.7	0.76ns
C X E X D	2	909.3	0.52ns
Erro	47	1737.5	
Total	58		

* : significativo a 95% de probabilidade
 ** : significativo a 99% de probabilidade
 ns : não significativo.

F tabelado:

GL (1-47; 95%) = 4.052

GL (1-47; 99%) = 7.229

GL (2-47; 95%) = 3.202

GL (2-47; 99%) = 5.110

GL (11-47; 95%) = 2.009

GL (11-47; 99%) = 2.671

TABELA A4: ANÁLISE DE COVARIÂNCIA DA VARIÁVEL LIGAÇÃO INTERNA
AJUSTADA PARA A DENSIDADE.

Causa da Variação	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F calculado
Tratamentos	11	8.2600	9.21**
Comprimento das partículas (C)	2	6.5657	7.32**
Espessura das partículas (E)	1	65.2765	72.74**
Densidade das chapas (D)	1	4.0402	4.50*
Interações:			
C X E	2	0.3050	0.34ns
C X D	2	3.3945	3.78*
E X D	1	0.0272	0.03ns
C X E X D	2	0.5153	0.57ns
Erro	47	0.8974	
Total	58		

* : significativo a 95% de probabilidade
 ** : significativo a 99% de probabilidade
 ns : não significativo.

F tabelado:

GL (1-47; 95%) = 4.052	GL (1-47; 99%) = 7.229
GL (2-47; 95%) = 3.202	GL (2-47; 99%) = 5.110
GL (11-47; 95%) = 2.009	GL (11-47; 99%) = 2.671

TABELA A5: ANÁLISE DE COVARIÂNCIA DA VARIÁVEL ARRANCAMENTO
DE PARAFUSO AJUSTADA PARA A DENSIDADE.

Causa da Variação	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F Calculado
Tratamentos	11	2239.1	2.52*
Comprimento das partículas (C)	2	525.1	0.59ns
Espessura das partículas (E)	1	4509.9	5.07*
Densidade das chapas (D)	1	2726.9	3.06ns
Interações:			
C X E	2	4320.8	4.85*
C X D	2	124.0	0.14ns
E X D	1	7183.6	8.07**
C X E X D	2	134.8	0.15ns
Erro	47	890.0	
Total	58		

* : significativo a 95% de probabilidade
 ** : significativo a 99% de probabilidade
 ns : não significativo

F tabelado:

GL (1-47; 95%) = 4.052	GL (1-47; 99%) = 7.229
GL (2-47; 95%) = 3.202	GL (2-47; 99%) = 5.110
GL (11-47; 95%) = 2.009	GL (11-47; 99%) = 2.671

TABELA A6: ANÁLISE DE COVARIÂNCIA DA VARIÁVEL ABSORÇÃO DE
 ÁGUA AJUSTADA PARA A DENSIDADE
 -IMERSÃO 2 HORAS.

Causa da Variação	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F Calculado
Tratamentos	11	85.120	6.15**
Comprimento das partículas (C)	2	51.210	3.70*
Espessura das partículas (E)	1	182.811	13.19**
Densidade das chapas (D)	1	293.010	21.15**
Interações:			
C X E	2	47.243	3.41*
C X D	2	12.765	0.92ns
E X D	1	154.135	11.12**
C X E X D	2	41.980	3.03ns
Erro	47	13.850	
Total	58		

* : significativo a 95% de probabilidade
 ** : significativo a 99% de probabilidade
 ns : não significativo

F tabelado:

GL (1-47; 95%) = 4.052

GL (1-47; 99%) = 7.229

GL (2-47; 95%) = 3.202

GL (2-47; 99%) = 5.110

GL (11-47; 95%) = 2.009

GL (11-47; 99%) = 2.671

TABELA A7: ANÁLISE DE COVARIÂNCIA DA VARIÁVEL ABSORÇÃO DE
 ÁGUA AJUSTADA PARA A DENSIDADE.

-IMERSÃO 24 HORAS.

Causa da Variação	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F Calculado
Tratamentos	11	161.380	4.36**
Comprimento das partículas (C)	2	113.460	3.07ns
Espessura das partículas (E)	1	223.720	6.05*
Densidade das chapas (D)	1	114.210	30.94**
Interações:			
C X E	2	15.760	0.43ns
C X D	2	19.300	0.52ns
E X D	1	18.480	0.50ns
C X E X D	2	46.410	1.26ns
Erro	47	36.950	
Total	58		

* : significativo a 95% de probabilidade
 ns : não significatibo

F tabelado:

GL (1-47; 95%) = 4.052

GL (1-47; 99%) = 7.229

GL (2-47; 95%) = 3.202

GL (2-47; 99%) = 5.110

GL (11-47; 95%) = 2.009

GL (11-47; 99%) = 2.671

TABELA A8: ANÁLISE DE COVARIÂNCIA DA VARIÁVEL INCHAMENTO
EM ESPESSURA AJUSTADA PARA A DENSIDADE.
-IMERSÃO 2 HORAS.

Causa da Variação	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F Calculado
Tratamentos	11	7.8447	2.52*
Comprimento das partículas (C)	2	17.4690	5.80**
Espessura das partículas (E)	1	13.9490	4.47*
Densidade das chapas (D)	1	3.2560	1.04ns
Interações:			
C X E	2	3.0390	0.97ns
C X D	2	1.8490	0.59ns
E X D	1	12.4680	4.00ns
C X E X D	2	5.9520	1.91ns
Erro	47	3.1190	
Total	58		

* : significativo a 95% de probabilidade
** : significativo a 99% de probabilidade
ns : não significativo

F tabelado:

GL (1-47; 95%) = 4.052	GL (1-47; 99%) = 7.229
GL (2-47; 95%) = 3.202	GL (2-47; 99%) = 5.110
GL (11-47; 95%) = 2.009	GL (11-47; 99%) = 2.671

TABELA A9: ANÁLISE DE COVARIÂNCIA DA VARIÁVEL INCHAMENTO
EM ESPESSURA AJUSTADA PARA A DENSIDADE.

-IMERSÃO 24 HORAS.

Causa da Variação	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F Calculado
Tratamentos	11	7.1695	1.66ns
Comprimento das partículas (C)	2	18.5579	4.30*
Espessura das partículas (E)	1	15.2528	3.53ns
Densidade das chapas (D)	1	0.4600	0.11ns
Interações:			
C X E	2	2.5468	0.59ns
C X D	2	4.6875	1.09ns
E X D	1	1.1086	0.26ns
C X E X D	2	5.2288	1.21ns
Erro	47	4.3158	
Total	58		

* : significativo a 95% de probabilidade
ns : não significativo

F tabelado:

GL (1-47; 95%) = 4.052

GL (2-47; 95%) = 3.202

GL (11-47; 95%) = 2.009

GL (1-47; 99%) = 7.229

GL (2-47; 99%) = 5.110

GL (11-47; 99%) = 2.671

TABELA A10: ANÁLISE DE COVARIÂNCIA DA VARIÁVEL EXPANSÃO
 LINEAR AJUSTADA PARA A DENSIDADE.

Causa da Variação	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F Calculado
Tratamentos	11	0.002520	5.61**
Comprimento das partículas (C)	2	0.001834	4.08*
Espessura das partículas (E)	1	0.019502	43.35**
Densidade das chapas (D)	1	0.001097	2.44ns
Interações:			
C X E	2	0.000110	0.24ns
C X D	2	0.000920	2.04ns
E X D	1	0.000842	1.87ns
C X E X D	2	0.000292	0.65ns
Erro	47	0.000450	
Total	58		

* : significativo a 95% de probabilidade
 ** : significativo a 99% de probabilidade
 ns : não significativo

F tabelado:

GL (1-47; 95%) = 4.052	GL (1-47; 99%) = 7.229
GL (2-47; 95%) = 3.202	GL (2-47; 99%) = 5.110
GL (11-47; 95%) = 2.009	GL (11-47; 99%) = 2.671

TABELA A11: TESTE TUKEY PARA OS VALORES MÉDIOS DE MÓDULO DE ELASTICIDADE NOS TRÊS NÍVEIS DO FATOR COMPRIMENTO DAS PARTÍCULAS (C), DOIS NÍVEIS DOS FATORES ESPESURA DAS PARTÍCULAS (E) E DENSIDADE (D) -VALORES MÉDIOS AJUSTADOS.

	(C ₃) 61484	(C ₂) 53718	(C ₁) 45389
(C ₁) 45389	16093**	8329**	0
(C ₂) 53718	7764**	0	
(C ₃) 61482	0		

-Os comparadores usados foram:

- a) 95% de probabilidade = 6588
- b) 99% de probabilidade = 7742

-Os comprimentos C₃(72.5mm) e C₂(49.6mm), foram os melhores que C₁(27.3mm) a 99% de probabilidade. O C₃ foi o melhor que o C₂ a 99% de probabilidade.

	MOE	E ₁ - E ₂		MOE	D ₂ - D ₁
E ₂	50165		D ₁	41348	
E ₁	56895	6730**	D ₂	65712	24364**

-Os comparadores usados foram:

- a) 95% de probabilidade = 5379
- b) 99% de probabilidade = 6322

-A espessura E₁(0.34mm), foi a melhor que a E₂(0.64mm) a 99% de probabilidade.

-A densidade D₂(0.86g/cm³), foi a melhor que a D₁(0.69g/cm³) a 99% de propriedade.

TABELA A12: TESTE TUKEY PARA OS VALORES MÉDIOS DE MÓDULO DE RUPTURA NOS TRÊS NÍVEIS DO FATOR COMPRIMENTO DAS PARTICULAS(C), DOIS NÍVEIS DOS FATORES ESPESSURA DAS PARTICULAS(E) E DENSIDADE(D).

-VALORES MÉDIOS AJUSTADOS.

	(C ₃) 481.63	(C ₂) 439.59	(C ₁) 367.13
(C ₁) 367.13	114.5**	72.46**	0
(C ₂) 439.59	42.04ns	0	
(C ₃) 481.63	0		

-Os comparadores usados foram:

a) 95% de probabilidade = 45

b) 99% de probabilidade = 53

-Os comprimentos C₃(72.5mm) e C₂(49.6mm), foram melhores que o C₁(27.3mm) a 99% de probabilidade.

	MOR	E ₁ - E ₂		MOR	D ₂ - D ₁
E ₂	407.33		D ₁	359.91	
E ₁	451.57	44.24**	D ₂	499.00	139.09**

-Os comparadores usados foram:

a) 95% de probabilidade = 37

b) 99% de probabilidade = 43

-A espessura E₁(0.34mm), foi a melhor que a E₂(0.64mm) a 99% de probabilidade.

-A densidade D₂(0.86g/cm³) foi a melhor que a D₁(0.69g/cm³) a 99% de probabilidade.

TABELA A13: TESTE TUKEY PARA OS VALORES MEDIOS DA LIGAÇÃO INTERNA, NOS TRES NIVEIS DO FATOR COMPRIMENTO DAS PARTICULAS(C), DOIS NIVEIS DOS FATORES ESPESSURA (E) E DENSIDADE(D).

-VALORES MEDIOS AJUSTADOS.

	(C ₁) 5.85	(C ₂) 5.10	(C ₃) 4.56
(C ₃) 4.56	1.29**	0.54	0
(C ₂) 5.10	0.75	0	
(C ₁) 5.85	0		

-Os comparadores usados foram:

a) 95% de probabilidades = 1.03

b) 99% de probabilidades = 1.21

-O comprimento C₁(27.3mm), foi o melhor que C₂ e C₃ a 99% de probabilidade.

	LI	E ₂ - E ₁		LI	D ₂ - D ₁
E ₂	6.55	2.75**	D ₁	4.57	1.21*
E ₁	3.80		D ₂	5.78	

-Os comparadores usados foram:

a) 95% de probabilidade = 0.84

b) 99% de probabilidade = 0.99

-A espessura E₂(0.64mm), foi altamente significativa a 99% de probabilidades, por isso foi a melhor, que a E₁(0.34mm).

-A densidade D₂(0.86g/cm³), foi a melhor que a D₁(0.69g/cm³).

TABELA A14: TESTE TUKEY PARA OS VALORES MÉDIOS DO TESTE DE
 ARRANCAMENTO DE PARAFUSO, NOS DOIS NIVEIS DO FATOR
 ESPESSURA DAS PARTICULAS(E).
 -VALORES MEDIOS AJUSTADOS.

	RAP	$E_2 - E_1$
E_2	195.02	
E_1	172.18	22.84ns

-Os comparadores usados fora:

a) 95% de probabilidades = 26.41

b) 99% de probabilidades = 31.04

-Nenhuma espessura afectou com significância estatística o
 ARAP.

TABELA A15: TESTE TUKEY PARA OS VALORES MEDIOS DA ABSORÇÃO EM
 AGUA NOS TRES NIVEIS DO FATOR COMPRIMENTO DAS
 PARTICULAS(C) E DOIS NIVEIS DO FATOR ESPESSURA(E).
 -VALORES MÉDIOS AJUSTADOS. IMERSAO EM 2 HORAS.

	(C ₃) 18.67	(C ₂) 17.69	(C ₁) 15.29
(C ₁) 15.29	3.38ns	2.40ns	0
(C ₂) 17.69	0.98ns	0	
(C ₃) 18.67	0		

-Os comparadores usados foram:

a) 95% de probabilidades = 4.03

b) 99% de probabilidades = 4.74

-Nenhum comprimento afectou com significância a ABA.

	AA	E ₂ - E ₁		AA	D ₁ - D ₂
E ₂	19.52	4.61**	D ₁	22.38	10.33**
E ₁	14.91		d ₂	12.05	

-Os comparadores usados foram:

a) 95% de probabilidade = 3.29.

b) 99% de probabilidade = 3.87

-A espessura E₂(0.64 mm), foi altamente significativa a 99% de probabilidade, por isso foi a pior.

-A densidade D₁(0.69 g/cm³), também foi altamente significativa a 99% de probabilidade, por isso é considerada a pior.

TABELA A 16: TESTE TUKEY PARA OS VALORES MÉDIOS DA ABSORÇÃO EM AGUA, NOS TRES NIVEIS DO FATOR COMPRIMENTO DAS PARTICULAS(C).

-VALORES MEDIOS AJUSTADOS. IMERSAO EM 24 HORAS.

	AA	$E_2 - E_1$		AA	$D_1 - D_2$
E_2	44.49	5.09ns	D_1	52.14	20.40**
E_1	39.40		d_2	31.74	

-Os comparadores usados foram:

a) 95% de probabilidade = 5.38

b) 99% de probabilidade = 6.33

-Nenhuma espessura afetou com significância a AA.

-A densidade D_1 (0.69 g/cm^3), foi altamente significativa a 99% de probabilidade, por isso é considerada a pior.

TABELA A17: TESTE TUKEY PARA OS VALORES MÉDIOS DO INCHAMENTO EM ESPESSURA NOS TRES NIVEIS DO FATOR COMPRIMENTO DAS PARTICULAS(C) E DOIS NIVEIS DO FATOR ESPESSURA (E). -VALORES MÉDIOS AJUSTADOS. IMESAO EM 2 HORAS.

	(C ₃) 15.53	(C ₂) 14.23	(C ₁) 13.32
(C ₁) 13.32	2.21*	0.91ns	0
(C ₂) 14.23	1.30ns	0	
(C ₃) 15.53	0		

-Os comparadores usados foram:

a) 95% de probabilidade = 1.92

b) 99% de probabilidade = 2.25

-O comprimento C₃(72.5 mm), foi significativo a 95 % de probabilidade, demonstrando assim ser o pior em relação aos comprimentos C₁ e C₂.

	IE	E ₂ - E ₁
E ₂	15.00	1.37ns
E ₁	13.72	

-Os comparadores usados foram:

a) 95% de probabilidade = 1.56

b) 99% de probabilidade = 1.84

-Nenhuma espessura foi significativa.

TABELA A18: TESTE TUKEY PARA OS VALORES MÉDIOS DA EXPANSÃO LINEAR NOS TRES NIVEIS DO FATOR COMPRIMENTO DAS PARTICULAS(C) E DOIS NIVEIS DO FATOR ESPESSURA(E).
-VALORES MÉDIOS AJUSTADOS.

	(C ₁) 0.11	(C ₂) 0.10	(C ₃) 0.09
(C ₁) 0.09	0.02*	0.01ns	0
(C ₂) 0.10	0.01ns	0	
(C ₃) 0.11	0		

-Os comparadores usados foram:

a) 95% de probabilidade = 0.02

b) 99% de probabilidade = 0.03

-O comprimento C₁ foi o pior que os comprimentos C₂ e C₃ a 95% de probabilidades.

	EL	E ₂ - E ₁
E ₂	0.13	0.05**
E ₁	0.08	

-Os comparadores usados foram:

a) 95% de probabilidade = 0.019

b) 99% de probabilidade = 0.022

-A espessura E₂, foi a pior que a E₁ a 99% de probabilidades.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Standard of evaluating the properties of wood-base fiber and particle panel materials. In: Annual Book of ASTM Standards, ASTM D 1037-78B. Philadelphia, 1981.
2. ----- . Standard methods for nonvolatile content of phenol, resorcinol, and melamine adhesives. In: Annual book of ASTM standards. ASTM D 1582-60 (1981). Philadelphia, 1982.
3. BADEJO, S.O.O. Effect of flake geometry on properties of cement-bonded particleboard from mixed tropical hardwoods. Wood Science and Technology. 24(4) 357-369, 1988.
4. BRITO, E.O. A viabilidade de utilização de espécies de Pinus para produção de chapas de composição estruturais waferboards. Curitiba, 1984. 104p. Dissertação de Mestrado Universidade Federal do Paraná. Setor de Ciências Agrárias. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal.
5. BRUMBAUGH, J. Effect of flake dimensions on properties of particle boards. For. Prod. J. 5: 243-46, 1960.
6. CARROL, M.N. Growth of Waferboard in Canada. For. Prod. J. 26(11): 26-30, 1976.
7. CASTRO, J.H.F. Recursos Florestais em Mocambique e seu Uso Racional. Ministério de Agricultura. Projeto FO: MO/76/007. Documento de Trabalho 2. Maputo, 1978.
8. COMMERCIAL Standard CS 236-66 - Mat formed wood particleboard, 1968.

9. DIREÇÃO NACIONAL DE FLORESTAS E FAUNA BRAVIA. Estratégia para o Desenvolvimento do Setor Florestal e Fauna Bravia em Mocambique. Maputo, 1990.
10. FOREST PRODUCTS LABORATORY. Wood Handbook. Wood as an engineering material. Agric. Hand. 72. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture; rev. 1987, 466p.
11. GEIMER, R.L. & PRICE, E.W., 1978. Construction variables considered in the fabrication of structural flakeboard. In: Proceedings of Structural Flakeboard from Forest Residuos. Gen. Tech. Rep. Wo-5, Forest Service, U.S.A. Department of Agriculture, Washington D.C., pp. 69-80.
12. GERTJENJANSEN, R., HYVARINEM, M., HAYGREEN, J. & FRENCH, D., 1973. Physical Properties of Phenolic Bonded Wafer Type Particleboard from Mixture of Aspen paper Birch, Tamarack. For. Prod. J. 23(6): 24-28.
13. GOMES, F.P. 1963. Curso de Estatística Experimental. Décima segunda edição. ESLQ.
14. HALLIGAN, A.F. A review of thickness swelling. In particleboard. Wood Science and Technology. 4: 301-312, 1970.
15. -----, and SCHNIENIND, A.P. Effect of moisture on physical and creep properties of particleboards. For. prod. J. 22(4): 41-8, 1972.
16. HEEBINK, B.G., LEHMANN, W.F. & HEFTY, F.V. Reducing particleboard pressing time: exploratory study. USDA. For. Serv. Res. Pap. FPL-180, 1972. 13P.
17. HSE, C.Y. Properties of flakeboards from hardwoods growing on southern pine sites. For. Prod. J. 25(3): 48-53, 1975.

18. IWAKIRI, S. A Influência de variáveis de processamento sobre propriedades de chapas de partículas de diferentes espécies de pinus. Curitiba, 1989. 130p. Tese. Doutorado. Universidade Federal do Paraná. Setor de Ciências Agrárias. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal.
19. JORGENSEN, R.M. and R.L. ODELL. Dimensional stability of oak flakeboard as affected by particles geometry and resin spread. For. Prod. J. 11(10): 463-466.
20. KEINERT Jr.S. Laboratory evaluation of Eucalyptus grandis and Eucalyptus robusta for the manufacture of composition board. Michigan, 1980. 184p. Dissertação. Doutorado. Michigan State University.
21. -----, A viabilidade de utilização de espécies de Eucalyptus saligna e Eucalyptus viminalis para a produção de chapas de composição. Tese. Professor Titular. Curitiba. 1985. 76p.
22. -----, Chapas de partículas estruturais a partir de pinus e eucalyptus spp. In: SIMPOSIO BILATERAL BRASIL-FINLANDIA SOBRE ATUALIDADES FLORESTAIS. Curitiba. Universidade Federal do Paraná, 1988. 315-326.
23. -----, & MATOS, J.L.M. Utilização de Pinus pinaster para a fabricação de chapas de partículas. Revista Floresta, 17 (1/2): 113-120, 1987.
24. KELLY, M.W. Critical literature review of relationships between processing parameters and physical properties of particleboard. USDA. For. Serv. Gen. Tech. Rep. EPL-10, 1977. 66p.
25. KOLLMANN, F.P. & KUENZI, E. & STAMM, A.J. Principles of Wood Science and Technology II. Wood Based Materials. 1975, 703p.
26. LEHMANN, W.F. 1972. Moisture stability relationship in wood-base composition boards. For. Prod. J., 22(7): 53-59.

27. -----, & HEFTY, F.V. Resin efficiency and dimensional stability of flakboards. USDA For. Ser. Res. Pap. FPL 207, 1973. 8p.
28. -----, Properties of structural particleboards. For. Prod. J., 24(1): 19-26, 1974.
29. -----, Cyclic moisture conditions and their effect on strenght and stability of structural flakeboards. For. Prod. J., 28(6): 23-31, 1978.
30. LIU, J.Y. & MCNATT, J.D. Thicness swelling and density variation in aspen flakeboards. Wood Sci. Technol. 25: 73-82. 1991.
31. MALONEY, T.M. Modern particleboard and drv-process fiberboard manufacturing. San Francisco, Miller Freeman, 1977. 672p.
32. MATOS, J.L.M. Ciclo da prensa em chapas de particulas estruturais "waferboard". Curitiba, 1988. 164p. Dissertação. Mestrado. Universidade Federal do Paraná. Setor de Ciências Agrárias. Curso de Pós-graduação em Engenharia Florestal.
33. MOSLEMI, A.A. Particleboard. Illinois, Southern illionis. University Press, 1974. V.1.
34. POST, P.W. Effect of particle geometry and resin content on bending strenght of oak flake board. For. Prod. J. 11: 317-22, 1958.
35. 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.
36. RAMAKER, T., & LEHMANN, W.F., 1976. High performance structural flakeboards, from Douglas-fir and lodgpole pine forest residues. USDA For. Serv. Res. Pap. FPL 286. For. Prod., Madison, Wis.

37. RICE, J.T. & CAREY, R.H. Wood density and board composition effects on phenolic resin-bond flake-board. For. Prod. J., 28(4): 21-28, 1978.
38. SMITH, D.C. Waferboard press closing strategies. For. Prod. J., 32(3): 40-45, 1982.
39. STEWART, H.A. & LEHMANN, W.F. High-quality particle-board from cross-grain, knife-planed hardwood flakes. For. Prod. J., 9(7): 203-215, 1959.
40. SUCHSLAND, O. The density distribution in flake boards. Q. Bull. Michigan Agr. Exp. Sta. Michigan State Univ. 45(1): 104-121, 1962.
41. -----, Higrscopic thicness swelling and related properties of selected commercial particleboards. For. Prod., 23(7): 26-30, 1973.
42. -----, Compression shear test for determination of internal bond strenght in particleboard. For. Prod. J., 27(1) 32-36, 1977.
43. VITAL, B.R., LEHMANN, W.F. & BOONE, R.S. How species and board densites affect properties of exotic hardwood particleboards. For. Prod. J., 24(12): 37-45, 1974.
44. -----, & 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 e madeira aglomerada. Rev. Arvore. 4(2): 179-187, 1980.