

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL**

**COMPÓSITOS DE SERRAGEM DE MADEIRA
E RESÍDUOS DE RECAUCHUTAGEM DE PNEU**

DENÍZIA GONÇALVES MACEDO

ORIENTADOR: JOAQUIM CARLOS GONÇALEZ

CO-ORIENTADOR: DIVINO ETERNO TEIXEIRA

TESE DE DOUTORADO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

PUBLICAÇÃO: PPGEFL.TD - 012/2008

BRASÍLIA/DF: DEZEMBRO – 2008

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL

COMPÓSITOS DE SERRAGEM DE MADEIRA
E RESÍDUOS DE RECAUCHUTAGEM DE PNEU

DENÍZIA GONÇALVES MACEDO

TESE DE DOUTORADO SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL DA FACULDADE DE TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR.

APROVADA POR:

Prof. Dr. Joaquim Carlos González (Departamento de Engenharia Florestal/UnB)
(Orientador)

Prof. Dr. Alexandre Florian da Costa (Departamento de Engenharia Florestal/UnB)
(Examinador interno)

Prof. Dr. Gerard Janin (Institute Nationale de Recherche Agronomique)
(Examinador externo)

Prof.^a. Dr.^a. Ghislaine Miranda Bonduelle (Universidade Federal do Paraná EFPR/DETF)
(Examinadora externa)

Dr. Varlone Alves Martins (LPF/SFB/MMA)
(Examinador externo)

Prof. Dr. Ailton Teixeira do Vale (Departamento de Engenharia Florestal/UnB)
(Suplente)

Brasília, 08 de dezembro de 2008.

FICHA CATALOGRÁFICA

MACEDO, DENÍZIA GONÇALVES

Compósitos de Serragem de Madeira e Resíduos de Recauchutagem de Pneu [Distrito Federal] 2008.

xv, 144p., 210 x 297 mm (EFL/FT/UnB, Doutora), Tese de Doutorado em Ciências Florestais – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.

Departamento de Engenharia Florestal

1. Compósito

2. Madeira

3. Borracha

4. Resíduos

5. Cimento

6. Resina

I. EFL/FT/UnB

II. Título (série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

MACEDO, D. G. (2008). Compósitos de Serragem de Madeira e Resíduos de Recauchutagem de Pneu. Tese de Doutorado em Ciências Florestais, Publicação PPGEFL.TD - 012/2008, Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 144p.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Denízia Gonçalves Macedo.

TÍTULO: Compósitos de Serragem de Madeira e Resíduos de Recauchutagem de Pneu.

GRAU: Doutor

ANO: 2008

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta tese de doutorado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta tese de doutorado pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

Denízia Gonçalves Macedo

SQN 216 bloco J ap 616.

70875-100 Brasília - DF - Brasil.

deniziamacedo@gmail.com

O todo sem a parte não é todo,
A parte sem o todo não é parte,
Mas se a parte o faz todo, sendo parte,
Não se diga, que é parte, sendo todo.

Gregório de Matos (1636-1696)

Aos filhos que virão.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus Pai, Filho e Espírito Santo, pelo dom da vida e pela força nesta caminhada.

Aos meus pais, Noel e Luzia, pelo amor, incentivo e fé nas minhas potencialidades.

Ao meu querido Cláudio, pelo amor e companheirismo.

Ao meu orientador, Joaquim Carlos Gonzalez, que confiou na minha capacidade.

Ao meu co-orientador, Divino Eterno Teixeira, pelos ensinamentos.

A CAPES, pela concessão da bolsa de doutorado.

Ao Departamento de Engenharia Florestal da Universidade de Brasília e aos professores do Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais.

Ao Laboratório de Produtos Florestais/SFB/MMA, pela oportunidade da execução dos trabalhos.

Aos pesquisadores e funcionários do LPF, Esmeralda Okino, José Arlete, Pedro Paulo, Eliete, Antônio “Greg”, Dionísio, João, “Lula”, Pádua, Ricardo, Fernando, Lopes, Sérgio Martinez... pelo auxílio sempre gentil.

À empresa Bandag-DF, na pessoa do Sr. Ambrósio, pela cessão das partículas de borracha de pneu.

Aos membros da banca examinadora, Gerard Janin, Ghislaine Bonduelle, Varlone Martins, Ailton Teixeira e Alexandre Florian, pela leitura deste trabalho e sugestões apresentadas.

A amiga Vanessa Daltrozo Munhoz, pela revisão do texto.

Aos meus amigos de curso, Newton Zerbini e Fernando Gouveia, pelo companheirismo na caminhada.

Aos meus amigos e familiares, por entenderem a minha ausência.

RESUMO

COMPÓSITOS DE SERRAGEM DE MADEIRA E RESÍDUOS DE RECICLAGEM DE PNEU

Autor: Denízia Gonçalves Macedo

Orientador: Joaquim Carlos González

Co-orientador: Divino Eterno Teixeira

Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais

Brasília, dezembro de 2008.

A possibilidade de utilizar resíduos sólidos oriundos da indústria madeireira e da recauchutagem de pneus motivou este trabalho de pesquisa, que teve como objetivo avaliar as características tecnológicas de dois tipos de compósitos constituídos de partículas de madeira em mistura com partículas de borracha de pneu, com adição de resina fenólica ou de cimento. Foram confeccionados painéis com esses materiais, variando-se os tratamentos em função das proporções de partículas de borracha de pneu na mistura (0%, 15%, 30% e 45%). Como resultado geral, os compósitos de partículas madeira-borracha-resina não apresentaram diferença na massa específica aparente com a adição de borracha; a adição de borracha aos painéis causou diminuição nas propriedades mecânicas e melhoria na estabilidade dimensional; quanto à colorimetria, a adição de borracha no interior do compósito pouco influenciou sua aparência externa. Nos compósitos cimento-madeira-borracha, a adição de maiores teores de borracha levou à redução da massa específica, do módulo de ruptura, do módulo de elasticidade, da dureza Janka, da ligação interna e da resistência ao arrancamento de parafuso; o inchamento em espessura reduziu com a adição de 15% e aumentou com a de 30% de borracha; a absorção de água se elevou; quanto à colorimetria, a adição de borracha ao compósito influenciou sua aparência. O ensaio não-destrutivo, usando o *stress wave timer*, apresentou alta correlação ($R^2 = 0,99$) entre o módulo de elasticidade estático e o dinâmico. O tempo maior gasto pela onda para varrer as amostras dos painéis com adição de borracha mostra que o pneu confere propriedades acústicas ao material.

ABSTRACT

COMPOSITES MADE WITH WOOD CHIPS AND TIRE RUBBER RESIDUES

Author: Denízia Gonçalves Macedo

Supervisor: Joaquim Carlos Gonçalves

Co-Supervisor: Divino Eterno Teixeira

PhD Programme in Forestry

Brasília, december of 2008.

The possibility of using solid residues from of the lumber industry and the discarded tires motivated this work of research, which had as objective to evaluate the technological characteristics of two types of reconstituted composites of wood particles in the mixture with particles of rubber tires, with the addition of cement or phenolic resin. Panels were manufactured with these materials, varying the treatments in function of the ratio of rubber tires particles in the mixture (0%, 15%, 30% and 45%). As general results, the composites made with wood, rubber and resin did not present difference in the apparent specific mass with the addition of rubber. The addition of rubber caused a drop in mechanical properties and improvement in the dimensional stability of the panels. Regarding colorimetric characteristics, the rubber addition in the interior of the composite had minor influence in the appearance. The increase in the amount of rubber promoted the improvement of the acoustics of the composite, with potential for application as insulator material. In the cement-wood-rubber composites, the addition of rubber led to the reduction of the specific mass, modulus of rupture, modulus of elasticity; Janka hardness, internal bond and resistance to the screw withdrawal; the thickness swelling reduced with the 15% addition and increased with 30% of rubber; the water absorption increased; regarding the colorimetric characteristics, the rubber addition to the composite influenced its appearance.

SUMÁRIO

1 - INTRODUÇÃO	01
1.1 - JUSTIFICATIVA	02
1.2 - OBJETIVOS	03
1.3 - HIPÓTESE	03
2 - REVISÃO DE LITERATURA	04
2.1 - MATÉRIAS-PRIMAS	04
2.1.1 - Madeira (resíduos)	04
2.1.2 - Borracha de pneu	09
2.1.3 - Cimento Portland	13
2.1.4 - Adesivos	14
2.2 - PAINÉIS	20
2.2.1 - Painéis de madeira	20
2.2.2 - Painéis cimento-madeira	24
2.2.3 - Painéis madeira-borracha	30
2.2.4 - Outros compósitos	32
2.3 - COLORIMETRIA	34
2.4 - PROPRIEDADES ACÚSTICAS	38
2.4.1 - <i>Stress wave</i>	39
3 - MATERIAL E MÉTODOS	41
3.1 - SELEÇÃO E PREPARO DOS MATERIAIS	41
3.1.1 - Partículas de madeira	41
3.1.2 - Partículas de borracha de pneu	43
3.1.3 - Resina fenol-formaldeído	44
3.1.4 - Cimento Portland	44
3.2 - CONFECÇÃO DOS COMPÓSITOS	45
3.2.1 - Experimentos preliminares	45
3.2.2 - Compósitos de partículas madeira-borracha-resina	46
3.2.3 - Compósitos cimento-madeira-borracha	47

3.3 - REALIZAÇÃO DE ENSAIOS	49
3.3.1 - Teste de calor de hidratação do cimento	49
3.3.2 - Massa específica aparente	50
3.3.3 - Flexão estática	50
3.3.4 - Inchamento em espessura (após 2 e 24 horas)	50
3.3.5 - Absorção de água (após 2 e 24 horas)	51
3.3.6 - Dureza Janka	51
3.3.7 - Ligação interna	52
3.3.8 - Arrancamento de parafuso	52
3.3.9 - Colorimetria	53
3.3.10 - Propriedades acústicas	53
3.4 - DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E ANÁLISE DOS RESULTADOS	54
4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO	55
4.1 - COMPÓSITOS DE PARTÍCULAS MADEIRA-BORRACHA-RESINA	55
4.1.1 - Propriedades físicas e mecânicas	55
4.1.2 - Características colorimétricas	64
4.1.3 - Propriedades acústicas	67
4.2 - COMPÓSITOS CIMENTO-MADEIRA-BORRACHA	70
4.2.1 - Teste de calor de hidratação do cimento	70
4.2.2 - Propriedades físicas e mecânicas	70
4.2.3 - Características colorimétricas	81
4.2.4 - Propriedades acústicas	83
5 - CONCLUSÃO E SUGESTÕES	85
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	88
APÊNDICE	

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 - Misturas usadas no teste de hidratação.	49
Tabela 4.1 - Média e desvio padrão (DP) dos parâmetros colorimétricos dos compósitos madeira-borracha-resina, de acordo com os tratamentos.	64
Tabela 4.2 - Velocidade de propagação de onda no compósito madeira-borracha-resina em função do tratamento.	69
Tabela 4.3 - Valores do MOE dinâmico e MOE estático (MPa) em função do tratamento.	70
Tabela 4.4 - Índice de inibição do cimento.	70
Tabela 4.5 - Valores médios dos parâmetros colorimétricos dos compósitos cimento-madeira-borracha, de acordo com os tratamentos.	81
Tabela 4.6 - Velocidade de propagação de onda no compósito em função do tratamento.	83
Tabela 4.7 - Valores do MOE dinâmico e MOE estático (MPa) em função do tratamento.	84

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Participação da madeira serrada tropical e reflorestada na produção de serrados.	04
Figura 2.2 - Pneus novos e usados colocados no território brasileiro, de 2002 a 2005.	10
Figura 2.3 - Recauchutagem de pneu.	11
Figura 2.4 - Resina fenol-formaldeído.	19
Figura 2.5 - Projeção espacial da cor CIE – $L^*a^*b^*$ de 1976 (Datacolor, 1996).	36
Figura 2.6 - Projeção espacial da cor CIE – $L^*a^*b^*$, C e h^* (Star Color Co. Ltd., 2002).	36
Figura 3.1- Triturador agrícola e moinho de martelo.	42
Figura 3.2 - Classificador de partículas quanto à granulometria.	42
Figura 3.3 - Partículas de madeira: 35 <i>mesh</i> (esquerda) e 20 <i>mesh</i> (direita).	43
Figura 3.4 - Medidor de umidade infra-vermelho: aberto (esquerda) e fechado (direita).	43
Figura 3.5 - Partículas de borracha: fundo (esquerda) e 35 <i>mesh</i> (direita).	44
Figura 3.6 - Formação do colchão de partículas.	46
Figura 3.7 - Prensagem do painel.	47
Figura 3.8 - Compósitos de partículas madeira-borracha-resina.	47
Figura 3.9 - Misturador de partículas.	48
Figura 3.10 - Formação do colchão cimento-madeira-borracha.	48
Figura 3.11 - Ensaio de flexão estática.	50
Figura 3.12 - Medição da espessura dos corpos-de-prova.	51
Figura 3.13 - Ensaio de dureza Janka.	51
Figura 3.14 - Ensaio de ligação interna.	52
Figura 3.15 - Ensaio de arrancamento de parafuso.	52
Figura 3.16 - <i>Stress Wave Timer</i> .	54
Figura 4.1 - Massa específica aparente em função dos tratamentos.	55
Figura 4.2 - Módulo de ruptura em função dos tratamentos.	56
Figura 4.3 - Módulo de elasticidade em função dos tratamentos.	57
Figura 4.4 - Inchamento em espessura após 2h em função dos tratamentos.	58
Figura 4.5 - Inchamento em espessura após 24h em função dos tratamentos.	59
Figura 4.6 - Absorção de água após 2h em função dos tratamentos.	60
Figura 4.7 - Absorção de água após 24h em função dos tratamentos.	61
Figura 4.8 - Dureza Janka em função dos tratamentos.	61

Figura 4.9 - Ligação interna em função dos tratamentos.	62
Figura 4.10 - Corpos-de-prova submetidos ao ensaio de ligação interna.	63
Figura 4.11 - Arrancamento de parafuso perpendicular em função dos tratamentos.	63
Figura 4.12 - Projeção dos valores médios de a^* e b^* para os compósitos estudados.	65
Figura 4.13 - Amostras de compósitos, segundo percentagem de borracha (0, 15, 30 e 45%).	66
Figura 4.14 - Refletância das cores dos compósitos em função do comprimento de onda e da quantidade de borracha adicionada.	66
Figura 4.15 - <i>Stress wave</i> – calibração do ganho no aparelho.	67
Figura 4.16 - <i>Stress wave</i> – ajuste do <i>offset</i> no aparelho.	68
Figura 4.17 – Relação entre MOE_d e MOE_s dos compósitos madeira-borracha-resina.	69
Figura 4.18 - Massa específica aparente do compósito cimento-madeira-borracha em função da quantidade de borracha adicionada.	71
Figura 4.19 - Módulo de ruptura na flexão estática dos compósitos cimento-madeira-borracha em função da quantidade de borracha adicionada.	72
Figura 4.20 - Módulo de elasticidade na flexão estática dos compósitos cimento-madeira-borracha em função da quantidade de borracha adicionada.	73
Figura 4.21 - Inchamento em espessura após 2h em função da quantidade de borracha.	74
Figura 4.22 - Inchamento em espessura após 24h em função da quantidade de borracha.	75
Figura 4.23 - Absorção de água após 2h em função da quantidade de borracha adicionada.	76
Figura 4.24 - Absorção de água após 24h em função da quantidade de borracha adicionada.	77
Figura 4.25 – Dureza Janka em função da quantidade de borracha adicionada.	77
Figura 4.26 - Compósitos cimento-madeira-borracha após ensaio de dureza Janka.	78
Figura 4.27 - Ligação interna em função da quantidade de borracha adicionada.	78
Figura 4.28 - Aparência dos corpos-de-prova de compósitos cimento-madeira-borracha após o ensaio de ligação interna.	79
Figura 4.29 - Arrancamento de parafuso em função da quantidade de borracha	80
Figura 4.30 - Aparência dos corpos-de-prova de compósitos cimento-madeira-borracha após o ensaio de arrancamento de parafuso.	80
Figura 4.30 - Projeção dos valores médios de a^* e b^* para os compósitos estudados.	82

Figura 4.31 - Amostras de compósitos, segundo percentagem de borracha (0, 15 e 30%).	82
Figura 4.32 - Refletância das cores dos compósitos em função do comprimento de onda e da quantidade de borracha adicionada.	83
Figura 4.33 - Regressão entre MOE_d e MOE_s dos compósitos cimento-madeira-borracha.	84

LISTA DE SÍMBOLOS, NOMENCLATURAS E ABREVIACÕES

AA	absorção de água
ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABIP	Associação Brasileira da Indústria de Pneus Remoldados
Anova	análise de variância
ANIP	Associação Nacional das Indústrias de Pneumáticos
ANSI	<i>American National Standards</i>
AP	arranque de parafuso
ARI	alta resistência inicial
ASTM	<i>Association Standart for Testing and Materials</i>
BR	<i>boil resistente</i>
BTU	<i>British Thermal Unit</i>
CCA	arseniato de cobre cromatado
CIE	Comissão Internacional de Iluminantes
cP	centipoise
CP	cimento <i>Portland</i>
CEMPRE	Compromisso Empresarial para Reciclagem
D	dureza Janka
DIC	delineamento inteiramente casualizado
DIN	<i>Deutsches Institut für Normung E.V.</i>
FF	fenol-formaldeído
IE	inchamento em espessura
LI	ligação interna
LPF	Laboratório de Produtos Florestais
MDF	<i>medium density fiberboard</i>
MDI	difenilmetano diisocianato
MDP	<i>medium density particleboard</i>
MEA	massa específica aparente
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MOE	módulo de elasticidade
MOR	módulo de ruptura
MPa	megapascal

OSB	<i>oriented strand board</i>
SFB	Serviço Florestal Brasileiro
SPSS	<i>Statistical Program for Social Sciences</i>
TAS	Tecnologia Ambientalmente Saudável
WBP	<i>water and boil proof</i>
WPC	<i>wood plastic composite</i>

1 - INTRODUÇÃO

A questão dos resíduos vem ganhando importância no cenário mundial. Assuntos como tratamento, destinação e reciclagem de resíduos começam a fazer parte do vocabulário de pessoas comuns. O tema é de interesse premente, pois trata da melhoria da qualidade de vida da população e da menor agressão ao meio ambiente.

O desenvolvimento de novos produtos e a reciclagem de materiais são dois campos importantes da pesquisa, que podem ser combinados para atender a necessidades sociais, ambientais e do mercado, tendo-se uma Tecnologia Ambientalmente Saudável – TAS.

As TAS protegem o meio ambiente, são menos poluentes, usam os recursos de forma sustentável, reciclam seus resíduos e produtos, e tratam os resíduos de uma maneira mais aceitável do que as tecnologias que vieram substituir. Não são apenas tecnologias isoladas, mas sistemas totais que incluem conhecimentos técnico-científicos, procedimentos, bens e serviços, e equipamentos, assim como os procedimentos de organização e manejo. As TAS devem ser compatíveis com as prioridades sócio-econômicas, culturais e ambientais determinadas nacionalmente (UNITED NATION, 1992).

A indústria madeireira vem ao longo dos anos incrementando sua produção de painéis de madeira, tanto na quantidade produzida como na diversidade de matérias-primas empregadas, oriundas de florestas nativas e plantadas. Tem ocorrido também uma ampliação do leque de outros materiais (orgânicos e inorgânicos) que são misturados à madeira para a fabricação de novos produtos tais como, cimento-madeira, gesso-madeira, madeira-plástico etc., aumentando a sua participação no mercado de compósitos para utilização em fins específicos, onde a madeira sozinha não responde às necessidades de uma determinada aplicação.

Nos últimos anos, tem-se verificado um aumento do descarte de rejeitos sólidos, que, juntamente com os problemas advindos da exaustão de matérias-primas naturais, vêm impulsionando os estudos sobre o aproveitamento de resíduos industriais na forma de novos materiais, com menor impacto ambiental (LOPES, *et al.*, 2006).

Nesse sentido, o aproveitamento dos resíduos oriundos da indústria madeireira, bem como da reciclagem de pneus, tem grande importância ecológica, pois possibilita a diminuição do

passivo ambiental gerado por destinação inadequada e proporciona a utilização desses materiais que poderiam causar danos à saúde da população e contaminar o solo, a água e o ar.

A idéia de juntar esses materiais para a obtenção de um novo produto (compósito) é interessante devido à possibilidade de agregar aos painéis as propriedades físico-mecânicas da borracha, como absorção de impacto, elasticidade, durabilidade, resistência à abrasão e hidrofobia.

1.1 - JUSTIFICATIVA

A possibilidade de utilizar resíduos sólidos (madeira e pneu usado), inadequadamente descartados em lixões, aterros sanitários, rios, pátios de indústrias e à margem de estradas, entre outros locais, ocasionando deterioração da qualidade ambiental, motivou este trabalho de pesquisa.

O aproveitamento de resíduos de madeira (pedaços e serragem) e da borracha de pneu descartados, além de contribuir para redução dos impactos ambientais, também poderá gerar renda e postos de trabalho.

O desenvolvimento de um novo compósito utilizando resíduos de madeira e borracha de pneu como matéria-prima e a indicação de seus possíveis usos repercute positivamente nos âmbitos técnico, econômico, social e ambiental, ao ensejar alternativa de reciclagem, agregação de valor e adequada destinação dos resíduos, mitigando riscos à saúde da população e ao meio ambiente.

Além disso, a produção de um compósito à base de partículas de madeira e de borracha de pneu poderá ser mais uma alternativa no segmento de painéis.

1.2 - OBJETIVO

Esta pesquisa teve como objetivo avaliar as características tecnológicas de dois tipos de compósitos constituídos de partículas de madeira em mistura com partículas de borracha de pneu, com adição de resina fenólica ou cimento.

Os objetivos específicos foram:

- caracterizar o compósito de partículas madeira-borracha-resina, segundo suas propriedades físicas e mecânicas, de acordo com as normas estabelecidas para painéis de madeira, determinando as adequadas proporções de partículas de madeira, borracha de pneu e aglutinante;
- caracterizar o compósito cimento-madeira-borracha, segundo suas propriedades físicas e mecânicas, de acordo com as normas estabelecidas para painéis de madeiras, determinando as adequadas proporções de cimento, partículas de madeira e borracha de pneu;
- caracterizar os compósitos em estudo sob o ponto de vista colorimétrico, obtendo suas curvas espectrais;
- caracterizar os compósitos em estudo quanto às propriedades acústicas;
- indicar as possibilidades de usos dos compósitos obtidos.

1.3 - HIPÓTESE

Os compósitos de partículas de madeira e borracha de pneu possuem qualidades tecnológicas que atendem às normas técnicas de painéis de madeira, constituindo-se em alternativa de utilização no segmento, além de contribuir para a reciclagem de resíduos sólidos, favorecendo o meio ambiente.

2 - REVISÃO DE LITERATURA

2.1 - MATÉRIAS-PRIMAS

2.1.1 - Madeira (resíduos)

Atualmente, no Brasil, tanto a indústria madeireira quanto a indústria de painéis e de celulose e papel se utilizam em grande escala de toras de árvores do gênero *Pinus*. Entre as espécies, *Pinus taeda* destaca-se pela produtividade e qualidade de sua madeira. No Sul do Brasil, essa espécie é cultivada sobretudo nas terras mais altas da Serra Gaúcha e do Planalto Catarinense. Essa madeira é indicada para construções, móveis e caixotaria. Além disso, a espécie pode ser explorada para a produção de resina (OLIVEIRA *et al.*, 2006). Por sua grande participação no mercado madeireiro como matéria-prima de múltiplos produtos, deve-se dar atenção aos resíduos gerados quando do desdobro dessa espécie.

O fato de as indústrias de base florestal gerarem grandes quantidades de resíduos no processo produtivo não é novidade. Porém, o aumento progressivo da quantidade de madeira desdobrada tem revelado o problema da disponibilização de quantidades ainda maiores de resíduos, que muitas vezes não têm utilização na indústria onde foram gerados (BRAND *et al.*, 2004).

A Figura 2.1 mostra a evolução da produção de madeira serrada tropical e reflorestada no Brasil, de 1990 a 2001, e dá uma dimensão da quantidade de resíduos gerados por esse setor, quando a ela se associa a informação de que a estimativa do rendimento em serraria é da ordem de 70%. Ou seja, em 2001, por exemplo, para produzir os 21 milhões de m³ de madeira serrada, formaram-se 9 milhões de m³ de resíduos.

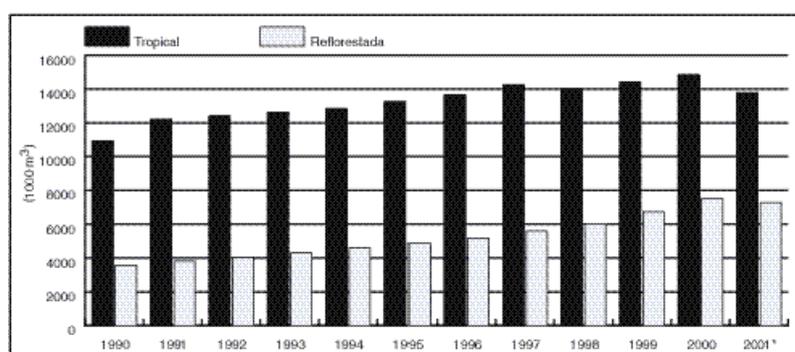


Figura 2.1 - Participação da madeira serrada tropical e reflorestada na produção de serrados.

*Estimativa – Fonte: STCP e ABIMCI (2001)

Em toda a cadeia madeireira pode-se observar a geração de resíduos. DUTRA e NASCIMENTO (sd), num trabalho de quantificação de resíduos em uma serraria, constataram que o maior percentual de resíduos é constituído de aparas (50,4%), seguidos por costaneiras (33,9%) e serragem (15,7%).

Segundo BONDUELLE *et al.* (2002), no Paraná, o rendimento médio ponderado nas indústrias de chapas compensadas, é de 36,52%, sendo que as maiores perdas ocorrem no processo de laminação (49,75%). Na manufatura, a esquadrejadeira tem um rendimento de 89,8% e a lixadeira, 95,6%.

BRAND *et al.* (2004) avaliaram o processo produtivo de painéis, utilizando os princípios do balanço de material e do rendimento da matéria-prima, e concluíram que a atividade com maior potencial gerador de resíduos foi a preparação de sarrafos de madeira (55,71% do total de resíduos gerados). As atividades com maiores rendimentos foram a prensagem (97,44%), o seccionamento (93,92%), o esquadrejamento (93,51%), o lixamento (90,97%) e a preparação de sarrafos (54,51%). O rendimento geral da manufatura foi de 63,16%.

Miyazaki (1989), citado por BRAND *et al.* (2004), trabalhou com a quantificação de resíduos na indústria de compensados no Japão, cuja matéria-prima são toras de madeiras duras importadas. A produção de resíduos no processo produtivo foi: 0,80% de serragem; 1,90% de destopo, 6,60% de rolo-resto; 9,30% de lâminas verdes provenientes do início da laminação das toras; 4,40% de lâminas secas; 3,20% de resíduos de compensados; 1,20% de pó-de-lixia; 0,30% de casca – totalizando 27,70%. O autor também menciona que, nas serrarias e nas indústrias de compensados e de assoalho, o resíduo gerado é quase todo consumido como combustível.

Dentre os resíduos gerados no setor madeireiro, o pó de lixa e a serragem merecem especial atenção, por serem materiais de baixa densidade, exigindo maior espaço para a estocagem, além de serem materiais altamente inflamáveis. Atualmente, cada vez mais os resíduos vêm despertando o interesse de pesquisadores e empresários, principalmente com o fim de verificar as possibilidades de reutilização desses materiais (YAMAJI e BONDUELLE, 2004).

Estudos mostram que o processamento da madeira sólida produz de 15% a 30% de resíduos, que atualmente são queimados ou simplesmente lançados na natureza, causando graves problemas ao meio ambiente. Os mesmos poderiam ser aproveitados de diversas formas, na

fabricação de painéis reconstituídos (PASSEROTTI *et al.*, 2008) e de outros compósitos, poupando diversas árvores do corte. As empresas devem ter como foco a gestão global da produção a fim de diminuir a percentagem de perdas no processo e de empregar os resíduos restantes na reciclagem.

Os produtos derivados da madeira são uma proposta interessante na ampliação dos materiais a serem empregados na indústria da construção civil, moveleira e outras. O Brasil apresenta condições favoráveis para se tornar um importante produtor mundial de painéis de madeira, porque possui tecnologia que possibilita o uso de resíduos do processamento da madeira. A produção de painéis à base de madeira é de relevante importância para a economia brasileira, pois possibilita a geração de divisas e empregos. Entretanto, para que haja desenvolvimento, é preciso investimento em tecnologias voltadas para melhorar a produção de painéis derivados de madeira (CAMPOS e LAHR, 2004).

IWAKIRI *et al.* (2000) estudaram a viabilidade da utilização de costaneiras da madeira de *Eucalyptus maculata*, *E. grandis* e *E. tereticornis*, na forma de resíduos de processamento em serrarias, para a produção de painéis de madeira aglomerada. Foram produzidos painéis com dois níveis de resina uréia-formaldeído (8% e 12%), com pH de 7,2 e teor de sólidos de 55%, com catalisador à base de sulfato de amônia. A densidade nominal foi de 0,75 g/cm³ e o ciclo de prensagem, na temperatura de 140° C, no tempo de 8 min e sob a pressão específica de 40 kg/cm². As propriedades analisadas foram: absorção de água (AA 2h e 24 h), inchamento em espessura (IE 2h e 24 h), ligação interna (LI), módulo de elasticidade (MOE) e módulo de ruptura (MOR). Os resultados dos ensaios indicaram que os painéis produzidos com a madeira dessas espécies de eucalipto apresentam propriedades físico-mecânicas satisfatórias, em comparação com algumas espécies referenciais, como *Pinus elliottii*, *Mimosa scabrella* e *Eucalyptus dunnii*, mencionadas na literatura. Os painéis produzidos com 12% de resina apresentaram melhores resultados que os painéis com 8%. Com base nas propriedades mecânicas, *Eucalyptus maculata* e *E. grandis* foram as espécies que apresentaram melhor comportamento na produção de painéis de madeira aglomerada.

TEIXEIRA (2005) estudou o resíduo de madeira na forma de serragem, pó de serra e maravalha, oriundo de uma empresa beneficiadora de toras de madeira. O resíduo foi classificado e reciclado, para ser utilizado numa empresa de plásticos reforçados, como carga em resina de poliéster insaturado. Essa relação entre processos produtivos mediante o uso de serragem reciclada configurou-se como uma aplicação prática da Ecologia Industrial. Da

mistura de serragem com resina de poliéster surgiu um compósito denominado *WPC – wood plastic composite* – com 14 traços diferentes, formulados de acordo com a granulometria e porcentagem de 10% e 20%. Esses traços foram moldados em corpos-de-prova segundo o processo de prensagem a frio e em seguida testados em três ensaios, seguindo as normas técnicas brasileiras: o ensaio de absorção de água baseado na norma NBR 8514, o ensaio de dureza Shore D baseado na norma NBR 7456 e o ensaio de flexão em três pontos baseado na norma NBR 7447. Os resultados mostraram que o compósito permite o aproveitamento de cerca de 95% da serragem na forma de carga para resinas de poliéster. A absorção de água foi muito inferior à da madeira sólida, e a serragem diminuiu muito pouco a dureza da matriz de poliéster, o que aumentou moderadamente a resistência à flexão e a rigidez da matriz. Apesar de as análises de viabilidade técnico-econômica serem necessárias, conclui-se que o uso da serragem reciclada é uma maneira eco-eficiente tanto de diminuir os resíduos sólidos industriais quanto de obter carga e reforço para resinas plásticas.

BERNARDI e VERNEY (2006) fabricaram aglomerados a partir da desaglomeração das partículas de retalhos (resíduos) de aglomerados, reconstituindo novas chapas, visando a atender à indústria de móveis. Utilizaram resina uréia-formaldeído nas mesmas proporções utilizadas para o processamento de chapas pela indústria. Fizeram a caracterização física e mecânica e compararam com o que determina a norma técnica NBR 14810-2 para a fabricação de chapas de madeira aglomerada. Os valores obtidos com as chapas reconstituídas, que possuem as mesmas características da chapa original, são compatíveis com o estabelecido pela norma.

O trabalho de DACOSTA *et al.* (2005) teve como objetivo avaliar as propriedades mecânicas de chapas de madeira aglomerada confeccionadas com resíduos de *Pinus elliottii*, resultantes do processamento mecânico da madeira. As chapas foram produzidas com dois tipos de resíduos, cavaco e maravalha, sozinhos ou misturados, utilizando uréia-formaldeído a 4%, 8% e 12%, com base no peso seco das partículas de madeira. As densidades nominais das chapas foram 0,6 e 0,7 g/cm³. Foram avaliadas as propriedades de flexão estática, ligação interna e arrancamento de parafuso. Os valores das propriedades de flexão elevaram-se com o aumento da proporção de maravalha, da densidade da chapa e do teor de adesivo. Concluiu-se que, usando partículas do tipo maravalha, maiores densidades e maiores porcentagens de adesivo, obtêm-se chapas com qualidade satisfatória.

VIDAURRE *et al.* (2004) produziram chapas de partículas *strand* e maravalhas, partindo de *Schizolobium parahyba* e *Erytrina verna* e suas combinações. Os parâmetros de manufatura foram: densidade nominal de 0,65 g/cm³, temperatura de prensagem de 180 °C, tempo de prensagem de 14 min, resina fenol-formaldeído de 8% e umidade das partículas de 5%, sem adição de parafina. Os melhores resultados para o ensaio de flexão estática foram encontrados quando se utilizou guapuruvu puro ou na capa, embora a maioria dos tratamentos tenha apresentado valores superiores aos estabelecidos pela norma canadense (CSA O437-0). Em relação à ligação interna, 50% dos tratamentos apresentaram valores superiores aos estabelecidos pela norma. Os valores de absorção de água e inchamento em espessura foram considerados altos para todos os tratamentos.

PEDRAZZI (2006), avaliou a qualidade de chapas aglomeradas fabricadas com resíduos da madeira de *Eucalyptus saligna*, resultantes da picagem das toras para a confecção de cavacos utilizados na produção de celulose. As chapas foram produzidas com dois tipos de resíduos, palitos e serragem, sendo utilizados sozinhos. O adesivo usado foi uréia-formaldeído em proporções de 4%, 8% e 12%, com base na massa seca das partículas, e as densidades nominais das chapas foram de 0,55, 0,65 e 0,75 g/cm³. Foram avaliadas as propriedades de flexão estática, ligação interna, arrancamento de parafusos, absorção de água e inchamento em espessura. Os valores de flexão estática, ligação interna e arrancamento de parafusos aumentaram com a densidade da chapa e com o teor de adesivo, independentemente do tipo de resíduo. No caso da absorção de água, os valores aumentaram com a redução da densidade, nas chapas produzidas com ambos os tipos de resíduos. Os valores de inchamento em espessura elevaram-se com a diminuição do teor de adesivo, sem considerar-se o tipo de resíduo utilizado. Os resultados permitiram concluir que podem ser produzidas chapas com qualidade satisfatória, tanto se usando partículas tipo palito quanto serragem, com maiores percentagens de adesivo e maiores densidades.

A resistência à compressão e à flexão de painéis de cimento-madeira, utilizando farinha de madeira de *Pinus* spp. com granulometria controlada, proveniente do reaproveitamento do rejeito de indústrias madeireiras, foi estudada por MATOSKI e IWAKIRI (2007). O material, na forma de pequenas partículas (pó), com dimensões menores que 0,8 mm, foi gerado pelo processo de moagem com controle da granulometria. As propriedades físico-mecânicas para painéis fabricados com teor de 25% e 36% de farinha foram avaliadas. Utilizaram-se quatro distribuições granulométricas distintas combinadas com cloreto de cálcio (acelerador de cura).

Verificou-se que a farinha com partículas de menor tamanho obteve resultados inferiores aos da farinha de granulometria mais grossa.

SANTOS *et al.* (2008) trabalharam com a madeira de candeia (*Eremanthus erythropappus*), uma espécie florestal nativa de múltiplos usos e especialmente utilizada como produtora de óleos essenciais, verificando a viabilidade da sua utilização, em associação às madeiras de pinus e eucalipto, para produção de painéis cimento-madeira. Os tratamentos foram: duas espécies de madeira e três porcentagens de substituição das madeiras pelo resíduo de candeia. Os resultados das propriedades físico-mecânicas indicaram grande potencial de utilização do resíduo da madeira de candeia. Segundo os autores, o aproveitamento do resíduo para produção de painéis particulados torna-se uma alternativa viável, evitando diversos problemas de ordem ambiental, além de possibilitar a inserção desses produtos no mercado consumidor.

2.1.2 - Borracha de pneu

O Brasil produziu 41 milhões de unidades de pneus, em 2002, 45 milhões em 2003 e 52 milhões em 2004; aproximadamente 40% destinaram-se à reposição e 30% foram exportados. A fabricação de pneus e câmaras de ar consome cerca de 70% da produção nacional de borracha. Descartam-se, anualmente, 20 milhões de unidades de pneus (260 mil toneladas) e recauchutam-se 4 milhões. Cerca de 70% do volume do pneu são formados por borracha; 25%, por aço; e 5%, por nylon (Compromisso Empresarial para Reciclagem - CEMPRE, 2004).

No Brasil existe um passivo ambiental estimado em 100 milhões de carcaças de pneus. Esse material pode causar danos ambientais quando jogado em terrenos baldios, acumulando água da chuva, servindo de local para deposição de ovos de mosquitos transmissores de doenças, como a dengue e a febre amarela. Se colocado em lixões, mistura-se com o resto do lixo e, absorvendo os gases liberados pela decomposição, podem inchar e estourar. Abandonado em grandes pilhas em locais abertos, pode causar incêndios, cada pneu é capaz de ficar em combustão por mais de um mês, liberando mais de dez litros de óleo no solo, contaminando a água do subsolo e aumentando a poluição do ar (SANDRONI e PACHECO, 2003).

Segundo a Associação Brasileira da Indústria de Pneus Remoldados – ABIP (2006), o passivo ambiental deve ser calculado em peso e não em unidades, uma vez que um pneu usado de

automóvel pesa apenas seis kg, enquanto que um pneu novo de caminhão pesa até 70 kg. A Figura 2.2 mostra o número de pneus novos e usados, de 2002 a 2005. Em janeiro de 2002, a resolução Conama 258/99 passou a exigir uma destinação ambientalmente adequada para os pneus inservíveis coletados no território brasileiro, na proporção da quantidade vendida no mercado interno.

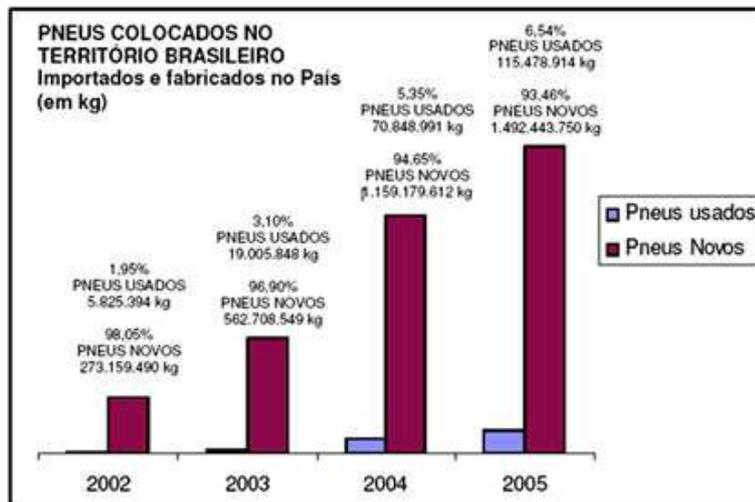


Figura 2.2 - Pneus novos e usados colocados no território brasileiro, de 2002 a 2005.

Fonte: ABIP (2006)

Segundo SANDRONI e PACHECO (2003), quando se trata de um problema de controle de resíduos, é necessário seguir a hierarquia dos 3Rs: reduzir, reutilizar e reciclar. A melhor forma de evitar problemas ambientais é reduzir ao máximo a geração de resíduos. Reciclar, antes de tentar reduzir ou reutilizar, significa contribuir para a perpetuação da geração dos resíduos. Para dar destino a pneus usados, existem processos tecnológicos voltados tanto para a reutilização quanto para a reciclagem. A seguir são apresentadas as destinações dadas aos pneus usados:

- Reutilização: existem vários processos de reutilização, com produção em menor escala, quando comparados com os métodos de reciclagem. São exemplos a produção artesanal de cadeiras, brinquedos etc. e a reutilização de pneus em muros de arrimo, na drenagem de gases e de líquidos percolados em aterros sanitários, na contenção da erosão do solo, na construção e implantação de quebra-mares (tecnologias de baixo custo e facilmente adaptáveis).



Figura 2.3 - Recauchutagem de pneu.

Fonte: Seiza Pneus (2005)

- Reciclagem: para a grande maioria dos processos de reciclagem, há necessidade de reduzir-se o tamanho das partículas do pneu, além de separar-se a borracha das partes metálicas e do *nylon*. A granulação é a primeira etapa a ser feita para a recuperação do pneu, na qual, geralmente, os constituintes são separados. Na trituração inicial obtêm-se pedaços com uma granulometria elevada. Posteriormente, o material é triturado novamente para obter-se uma granulometria inferior (de 7 a 1,5 mm). A moagem prossegue sucessivamente até que se consiga o pó da borracha. O aço é retirado do processo por meio de eletroímã, e os tecidos de *nylon* ficam depositados em peneiras. O material moído tem, no Brasil, três aplicações principais: como combustível, nos fornos de fábricas de cimento, sendo os resíduos sólidos resultantes incorporados ao cimento; na produção de saltos e solados de calçados, mangueiras, tapetes para automóveis, entre vários outros produtos; e na mistura com asfalto, para a pavimentação de vias e pátios de estacionamento (tecnologia em fase experimental). O custo médio das raspas de pneu oriundas do processo de recauchutagem é de R\$ 300,00/t, sendo as menores granulometrias as mais caras. A reciclagem de pneu é mais dispendiosa que a de plástico, pois aquele é vulcanizado, enquanto este não é.

- Reforma: existem, basicamente, dois processos para a reforma de pneu: a remoldagem, que o reconstrói mediante a substituição da banda de rodagem, dos ombros e de toda a superfície de seus flancos; e a recauchutagem, na qual o pneu é reconstruído somente pela substituição da banda de rodagem. Para a reforma do pneu, exige-se que a sua estrutura geral não apresente cortes ou deformações e que a banda de rodagem ainda apresente os sulcos e saliências que permitam sua aderência ao solo.

- Regeneração: os resíduos de pneu passam por modificações químicas (pela adição de óleos aromáticos e produtos químicos desvulcanizantes) que os tornam aptos a receber uma nova

vulcanização. Porém, o material regenerado não tem as mesmas propriedades da borracha crua original. Nesse processo, a borracha é separada dos outros componentes e então degradada. O arame e a malha de aço são recuperados como sucata de ferro, enquanto o tecido de *nylon* é recuperado e utilizado como reforço em embalagens de papelão. A borracha regenerada de pneus pode ser empregada na fabricação de muitos artefatos, como por exemplo, tapetes; pisos para indústrias e para quadras esportivas; sinalizadores de trânsito; rodízios para móveis e carrinhos. Também é utilizada no revestimento de tanques de combustível e como aditivo em peças de plásticos, aumentando-lhes a elasticidade.

- Pirólise: é o processo pelo qual ocorre degradação térmica com ausência de oxigênio, permitindo a extração de óleo e gás a serem utilizados como combustível em processos industriais. O óleo obtido, após condensação e decantação, é usado na indústria química e substitui o petróleo em algumas indústrias petroquímicas. O gás, combustível por excelência, é consumido dentro da própria indústria. Uma vez gerado, aquece a caldeira, onde ocorre a pirólise, gerando mais gás, o qual a reaquece.

- Queima: para fornecimento de energia. O maior problema ambiental desse processo é a exalação de gases, como o dióxido de enxofre e a amônia, que podem levar à precipitação de chuvas ácidas. Assim, faz-se necessário o tratamento desses gases, o que encarece o processo. Para o co-processamento na fabricação do cimento, o pneu é utilizado como combustível no forno da cimenteira e suas cinzas e outros componentes são agregados ao cimento. Na Europa, os pneus são utilizados pelas fábricas de cimento como combustível alternativo no lugar do carvão, pois a borracha do pneu tem maior poder calorífico (de 12 mil a 16 mil BTU/kg) que a madeira ou o carvão.

- Composição asfáltica: partículas de pó de borracha, com dimensão de até 5 mm e umidade máxima de 2%, são misturadas ao asfalto na proporção de 1% a 3% em peso. A mistura da borracha com o asfalto aumenta a elasticidade e retarda o processo de trincamento das pistas. Apesar de ser 25% mais caro do que o asfalto comum, o “asfalto ecológico” dura 40% mais e retira de circulação cerca de mil pneus para cada quilômetro construído. Cada tonelada de mistura asfáltica pode incorporar a borracha de 2 a 6 pneus.

- Aterros sanitários: a disposição em aterros sanitários tem-se mostrado inadequada, por apresentar baixa compressibilidade, reduzindo a vida útil dos aterros. A trituração, que

resolveria o problema da compactação, é um processo caro, devido à elevada quantidade de aço na composição do pneu.

SANTOS *et al.* (2003) após análise gravimétrica em diferentes marcas de pneumáticos, constataram diferentes concentrações de polímeros na raspa da borracha de pneu, como estireno-butadieno-estireno (SBS), borracha de estireno-butadieno (SBR), borracha natural (NR), etc. A concentração de borracha natural variou de 22% a 39%, enquanto a de borracha sintética ficou entre 22% e 44%. A diferença entre os pneus de carros e caminhões está na maior presença de borracha natural nos pneus de veículos pesados.

2.1.3 - Cimento Portland

O cimento Portland é um material em forma de pó, constituído de silicatos e aluminatos de cálcio, que, ao ser misturado com água, hidrata-se e endurece, formando um material de elevada resistência mecânica.

O mercado nacional dispõe de oito opções de cimento Portland, que atendem com igual desempenho aos mais variados tipos de obras. O cimento Portland comum (CP I) é referência, por suas características e propriedades, para os onze tipos básicos de cimento Portland disponíveis no mercado brasileiro. O cimento Portland comum, CP I e CP I-S (NBR 5732), não apresenta quaisquer adições além do gesso (utilizado como retardador da pega). É muito adequado para o uso em construções de concreto em geral, quando não há exposição a sulfatos do solo ou de águas subterrâneas e quando não são exigidas propriedades especiais do cimento. O cimento Portland comum com adições (CP I-S) tem 5% de material pozzolânico em massa e possui as mesmas características do CP I (ABCP, 2008).

O cimento Portland composto tem composição intermediária entre o cimento Portland comum e o cimento Portland com adições (alto-forno e pozzolânico). O cimento Portland CP II (NBR 11578) é modificado e gera calor numa velocidade menor do que a gerada pelo Cimento Portland Comum. Seu uso, portanto, é mais indicado em lançamentos maciços de concreto, onde o grande volume da concretagem e a superfície relativamente pequena reduzem a capacidade de resfriamento da massa. Esse cimento também apresenta melhor resistência ao ataque dos sulfatos contidos no solo. É recomendado para obras correntes de engenharia civil, sob a forma de argamassa, concreto (simples, armado e protendido), elementos pré-moldados

e artefatos de cimento. O Cimento Portland CP II-Z (com adição de material pozolânico) é empregado em obras civis em geral, subterrâneas, marítimas e industriais. O concreto feito com esse produto é mais impermeável e, por isso, mais durável. Atualmente os cimentos Portland compostos são os mais encontrados no mercado, respondendo por aproximadamente 75% da produção industrial brasileira; são utilizados na maioria das aplicações usuais, em substituição ao antigo CP (ABCP, 2008).

A indústria do cimento responde por quase 5% das emissões mundiais de gás carbônico. Isso ocorre porque o processo de produção de cada tonelada de clínquer (seu principal componente) libera na atmosfera a mesma quantidade de CO₂. A saída para combater tamanho impacto no aquecimento global é reduzir a porcentagem desse ingrediente na fórmula. Isso já acontece com o CP III, tipo de cimento que substitui parte do clínquer por escórias de siderúrgicas, material nobre que sobra da fusão de minério de ferro, coque e calcário. O CP III tem maior durabilidade e é mais barato do que os demais. É um cimento de uso geral, compatível com todas as etapas da obra. Ele é mais resistente, estável e impermeável, em relação ao cimento comum, pois seu processo de hidratação ocorre mais lentamente. E, como demora mais para curar, o CP III previne fissuras térmicas. Tais características tornam-no ideal para fundações, lajes e pilares. Para preservar suas qualidades, a cura ou secagem deve ser feita com mais água e acompanhada com atenção. Disponível principalmente na região Sudeste, onde estão os fabricantes de aço, o produto reaproveita 70% do resíduo gerado pelas siderúrgicas. Vale lembrar que no Sul os grandes fabricantes produzem o cimento pozolânico (CP IV), que emprega resíduos das termoelétricas e tem desempenho semelhante ao do CP III (REVISTA ARQUITETURA & CONSTRUÇÃO, 2008).

2.1.4 - Adesivos

Adesivo é a substância capaz de manter reunidas por adesão superficial peças diferentes. Essa capacidade é decorrente de uma propriedade intrínseca da substância, que, sob certas condições, tem interação com um substrato. Deve ser aplicado na forma fluida e ancorar na superfície, ter boa tensão de adesão (ajudar a unir superfícies) e boa tensão de coesão (desenvolver resistência dentro do adesivo). As propriedades adesivas desejáveis são: preparação mínima da superfície, custo razoável, fácil aplicação com o mínimo de habilidade,

fixação dentro de um tempo razoável e rigidez do adesivo menor ou igual à dos substratos. Os mecanismos para fixação ou cura são: evaporação do solvente, remoção de calor (reativação) e reação química (MARRA, 1992).

Adesão e coesão são dois conceitos essenciais quando se fala de adesivos e dos mecanismos de união entre substratos. Adesão é a operação de junção de dois materiais, ou duas superfícies, mediante a aplicação de uma substância química. Essa substância é geralmente um polímero (ou uma substância polimerizável), chamado de adesivo. Até a década de 1940, a adesão ou colagem era usada em aplicações domésticas, em artesanato e em algumas operações da indústria de transformação e de construção civil. Naquela época, os produtos industriais mais importantes obtidos por adesão eram os materiais compensados derivados da madeira. No último meio-século houve um enorme surto de crescimento da ciência e da tecnologia de adesão. Os adesivos são hoje utilizados para construir estruturas sofisticadas, da indústria aeronáutica e da construção civil, e além disso possuem um sem-número de aplicações. Vários métodos de fixação mecânica tradicionais, como rebites, parafusos, grampos, costuras, suturas e soldas, foram substituídos por adesivos. A coesão refere-se à união entre as partes dos materiais, relacionando-se com a força que se opõe à separação dos materiais colados (BORRACHA ATUAL, sd; MARRA, 1992).

A adesão é um fenômeno físico-químico que provê um mecanismo de interação entre superfícies sólidas e uma segunda fase sólida ou líquida (ligante), a qual consiste de partículas individuais, como moléculas, pequenas gotas, pó, etc., ou ainda de uma película contínua, líquida ou sólida (IWAKIRI, 2005).

A evolução dos adesivos está pautada na química orgânica e físico-química de macromoléculas, na físico-química de superfícies, na mecânica de fraturas e na resistência dos materiais, além de outras. Na verdade, a ciência e a tecnologia da adesão são por definição áreas interdisciplinares onde se utiliza largamente conhecimento teórico e experimental desenvolvido nas disciplinas acima mencionadas (BORRACHA ATUAL, sd).

Ainda segundo BORRACHA ATUAL (sd), MARRA (1992) e IWAKIRI (2005), existem várias teorias que procuram explicar o fenômeno, porém nenhuma delas é capaz de justificar todos os aspectos da aderência. Provavelmente, a reunião de todas elas é o que mais se aproxima da realidade. As mais importantes são:

- teoria mecânica ou de encaixe: pressupõe que o adesivo penetra nas superfícies rugosas dos substratos, criando uma travação mecânica;
- teoria eletrostática: propõe que existe travação entre os terminais polares dos compostos químicos do substrato e do adesivo. Não há formação de ligações químicas, estando presentes forças do tipo *Van der Waals*;
- teoria química: admite a formação de ligações simples específicas entre as interfaces. Tais ligações incrementam a resistência mecânica da área unida.

Com relação à madeira, duas das teorias mais importantes são o enganchamento mecânico e a teoria da adsorção. Segundo a teoria do enganchamento mecânico, a penetração do adesivo num substrato poroso leva à formação de ganchos ou ao entrelaçamento mecânico do adesivo, que se prende, após a cura e endurecimento, nas camadas superficiais da madeira. A teoria da adsorção estabelece que a adesão é resultante do contato molecular entre dois materiais que desenvolvem forças de atração superficiais. Para que ocorra um contato íntimo e contínuo entre um adesivo e um substrato, é necessário que o adesivo umidifique a madeira, fenômeno que envolve a migração do adesivo para dentro da estrutura submicroscópica da parede celular, expulsando ar, água e outros componentes estranhos à superfície de contato da madeira. O umedecimento depende da natureza molecular do adesivo, qualidade da superfície, mobilidade molecular do adesivo, pressão no adesivo e tempo disponível para que o endurecimento do adesivo ocorra (GALEMBECK e GANDUR, 2001).

A aplicação do adesivo é o processo pelo qual uma camada uniforme do produto é espalhada sobre a superfície a ser colada (MOSLEMI, 1974). Os métodos mais utilizados para aplicação de adesivos são:

- métodos manuais: aqueles onde o operador exerce função fundamental, utilizando utensílios simples como espátulas, dentadas, pincéis, rolos, *silk-screen*, frascos plásticos, inserção manual e outros;
- métodos semi-automáticos: os que fazem uso de ar comprimido e pressão, com manipulação direta do operador. Ex.: pistolas industriais para aplicação de Araldite;
- métodos automáticos: sistemas recontínuos de aplicação por *spray*, cilindros de transferência e sistemas robotizados onde não há manipulação direta do operador.

Dentre as famílias de adesivos, destacam-se: os protéicos, os organo-sintéticos, as resinas epóxi, os adesivos de poliisocianatos, os adesivos de resina de poliéster, os silicones, os adesivos polivinílicos, os polivinil butiral, os adesivos de poliacetato de vinila (PVA), os adesivos de policloreto de vinila (PVC), os adesivos de resinas acrílicas, os adesivos de cianoacrilato, os adesivos de poliamida, os adesivos de borracha nitrílicas, os adesivos de borracha natural, os adesivos de borracha butadieno estireno (SBR), os adesivos de borracha butílica e de poliisobutileno, os adesivos de epóxi-*nylon*, os adesivos de policloropreno, os adesivos betuminosos e os adesivos inorgânicos (BORRACHA ATUAL, sd; MARRA, 1992; MOSLEMI, 1974).

Os protéicos são: cola animal, cola à base de peixe, adesivos de caseína, adesivos albumínicos e adesivos vegetais. Os adesivos organo-sintéticos são adesivos de uréia formaldeído, de melanina formaldeído, de fenol formaldeído e de resorcina formaldeído (BORRACHA ATUAL, sd; MARRA, 1992).

IWAKIRI (2005) classifica os adesivos em: naturais, sintéticos termoplásticos, sintéticos termoendurecedores ou termofixos. Os adesivos sintéticos termoendurecedores comportam-se, quando submetidos ao aquecimento, com modificações químicas e físicas irreversíveis, que os tornam rígidos e insolúveis, através de reações de policondensação. São exemplos: uréia-formaldeído, melamina-formaldeído, fenol-formaldeído, resorsina-formaldeído, tanino-formaldeído.

De acordo com BORRACHA ATUAL (sd), as características determinantes dos adesivos são:

- viscosidade: é a resistência ao movimento de uma molécula do fluido oferecida pelo contato com outra molécula desse mesmo fluido, sendo na prática entendida como a consistência dos materiais. Tipos de viscosidade: viscosidade dinâmica ou absoluta (medida em relação a fluidos que se deslocam na horizontal) e viscosidade cinemática ou relativa (medida em relação a fluidos que se deslocam na vertical ou em planos inclinados).

- teor de sólidos: é a quantidade de massa que corresponde à parte não volátil de um produto. É uma das propriedades mais importantes, por atuar diretamente sobre a tensão de descolagem. A variação desse parâmetro influencia ainda outras propriedades, como *tack*, viscosidade, tempo aberto, etc.

- tempo de pega: é o tempo necessário para a evaporação parcial do solvente, medido por meio de um filme com espessura padrão, aplicado sobre uma placa de vidro, permitindo a manipulação dos substratos colados.
- tempo aberto: é o tempo necessário para a obtenção da resistência máxima à descolagem, o que se dá após a secagem completa de um filme de adesivo com espessura padrão aplicado sobre uma placa de vidro.
- *tack*: é a propriedade que permite a formação de uma ligação de força mensurável imediatamente após o contato entre os substratos e o adesivo, sob pequena pressão. Ex.: fitas adesivas, etiquetas etc.
- densidade: é a medida física que apresenta a relação entre a massa e o volume de uma referida amostra, sob temperatura pré-determinada.
- tixotropia: é a propriedade dos sistemas adesivos de diminuir sua viscosidade quando submetidos à agitação. Após algum tempo em repouso a viscosidade aumenta, mantendo suas características iniciais.
- *pot life*: é um parâmetro empírico que fornece o tempo médio de reatividade, após a mistura entre dois ou mais componentes. Observa-se o aumento da viscosidade na manipulação até a cura total da mistura.

Segundo MALONEY (1977), os ensaios mecânicos dos adesivos são:

- tensão de tração: constitui-se de forças que atuam perpendicularmente ao plano de colagem, resultando de uma distribuição uniforme sobre a zona de colagem;
- tensão de cisalhamento: é produzida no momento em que a força atua paralelamente ao plano da junta e distribui-se uniformemente sobre a zona de colagem;
- rasgamento: é um estado de tensão pouco recomendado para colagem. Trata-se de uma situação similar à tração e ao esforço que se aplica perpendicularmente ao plano da colagem;
- tensão de despelamento: é a ação do esforço, restringida sob uma camada muito fina de adesivo, para manter a união dos substratos.

As resinas fenólicas são produto da policondensação da reação do fenol com o formaldeído. Elas foram as primeiras resinas sintéticas desenvolvidas comercialmente (PIZZI, 1994).

Os adesivos à base de fenol-formaldeído deram origem a dois tipos de resinas: as termofixas (resol), resinas rígidas que curam a quente, e as novolacas, resinas que, combinadas com várias borrachas sintéticas, curam a frio, sendo muito utilizadas na indústria de adesivos. Suas aplicações são diversas, porém são mais utilizadas em colagens de madeira e metais (BORRACHA ATUAL, sd; MALONEY, 1977; MARRA, 1992).

A reação de fenóis com o aldeído metanal na presença do desidratante ácido sulfúrico dá origem às resinas fenol-formaldeído (Figura 2.4).

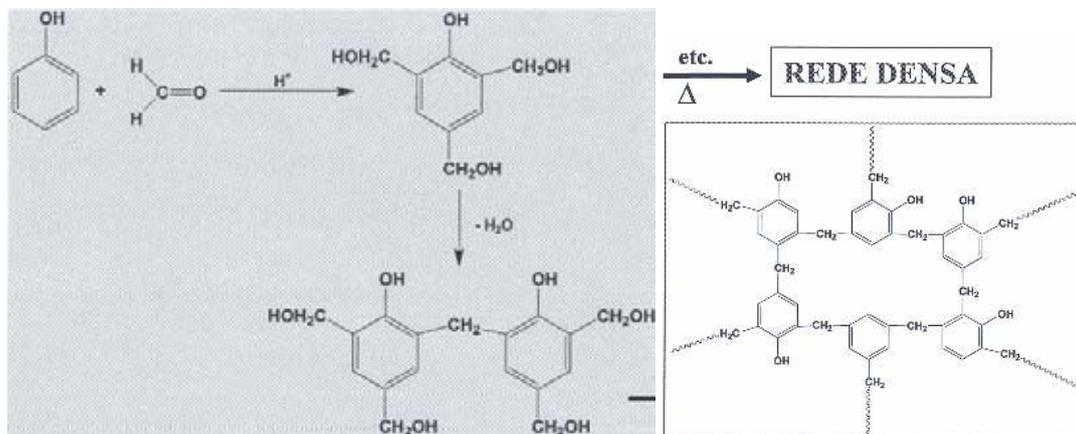


Figura 2.4 - Resina fenol-formaldeído.

Fonte: ISA/DEF (2008)

A resina fenol-formaldeído (FF) foi introduzida comercialmente na década de 1930 e apresenta como característica principal a alta resistência à umidade, sendo classificada como de uso exterior (BR – *boil resistente*, WBP – *water and boil proof*). O seu uso se destina principalmente à produção de compensados à prova d'água, painéis de fibras (duras), painéis aglomerados estruturais *waferboard* e OSB. A resina FF apresenta as seguintes características: coloração marrom-avermelhada, teor de sólidos de 48% a 51%, pH na faixa de 11 a 13, viscosidade de 300 a 600 cp, temperatura de cura na faixa de 130 a 150 °C e vida útil em armazenagem de 4 a 5 meses à temperatura de 20 °C (IWAKIRI, 2005).

2.2 - PAINÉIS

2.2.1 - Painéis de madeira

Os painéis são estruturas fabricadas com madeiras em lâminas ou em diferentes estágios de desagregação, aglutinadas pela ação de pressão e temperatura, com o uso de resinas em alguns casos. Esse tipo de produto substitui a madeira maciça em diferentes usos, como na fabricação de móveis e pisos. Os painéis surgiram, principalmente, para atender a uma necessidade gerada pela escassez e pelo encarecimento da madeira maciça. Há dois tipos de painéis: os que são feitos de madeira reconstituída e os confeccionados com base na madeira processada mecanicamente. Os painéis de madeira reconstituída são fabricados mediante o processamento químico da madeira, que passa por diferentes processos de desagregação. Já os chamados painéis de madeira processada mecanicamente são formados por camadas de lâminas ou sarrafos de madeira maciça (MATTOS, 2008).

Os principais países produtores de painéis de madeira encontram-se na América do Norte e Europa. Esses países são também os principais consumidores. O Brasil tem uma pequena participação, tanto na produção nacional como no mercado internacional, com destaque para a chapa dura de fibra e o compensado de madeira tropical. Enquanto alguns produtos de madeira estão em declínio ou crescendo a taxas bastante reduzidas, a produção mundial de painéis vem crescendo a taxas médias superiores a 3% ao ano e, em alguns países, como é o caso do Brasil, projetam-se para a próxima década taxas anuais de crescimento acima de 6%, segundo ABIPA (2000), citado por CAMPOS e LAHR (2004).

O aglomerado é uma chapa fabricada com partículas de madeira aglutinadas por meio de resina, sob a ação do calor e pressão. No mundo, são empregados como matéria-prima os resíduos industriais de madeira, os resíduos da exploração florestal, as madeiras de qualidade inferior (não industrializáveis de outra forma), as madeiras provenientes de florestas plantadas e as madeiras sem serventia recicladas. No Brasil, a madeira de florestas plantadas – em especial de eucalipto e de pinus – constitui a principal fonte de matéria-prima (MATTOS, 2008).

Conforme mencionado por Maloney (1993), citado por IWAKIRI *et al.* (2005), os aglomerados possuem uma série de vantagens em relação à madeira serrada: minimização dos efeitos da anisotropia; maior uniformidade de propriedades físico-mecânicas em diferentes

pontos do painel; eliminação de defeitos naturais, como nós, inclinação da grã e tensões de crescimento; possibilidade de controle das propriedades físico-mecânicas do painel por meio das variáveis do processo produtivo, como tipo e quantidade de resina, geometria de partículas, grau de densificação, entre outras; menor exigência em termos da qualidade da madeira, possibilitando o uso de resíduos provenientes de outras fontes de processamento; maior produção devido à tecnologia empregada e ao menor custo de produção.

Durante o processo de produção das chapas de aglomerado, podem ser adicionados diversos produtos químicos para evitar o mofo, a umidade, o ataque de insetos e aumentar a resistência ao fogo (OLIVEIRA e TEIXEIRA, 2006).

A chapa de madeira aglomerada possui múltiplas aplicações, dentre as quais se destaca a fabricação de móveis, tampos de mesas, laterais e portas de armários, divisórias, laterais de estantes. Entre os principais países produtores de aglomerado, destacam-se: a Alemanha, com 17% da produção mundial, e os Estados Unidos, com 14%. O Brasil fabrica cerca de 2% dos painéis de aglomerado produzidos no mundo, ABIPA (2004), citado por IWAKIRI *et al.*, (2005).

A partir da metade da década de 1990, as empresas brasileiras investiram em modernização tecnológica, passando do processo de prensagem cíclica para o de prensagem contínua, o que conferiu melhores características de resistência ao produto. Também implementaram a modificação da nomenclatura para MDP (*medium density particleboard*) ou painel de partículas de média densidade, numa tentativa de dissociar o novo produto do aglomerado tradicional (MATTOS, 2008).

No Brasil, a normatização para painéis de madeira é recente. A primeira norma brasileira, NBR 14810, surgiu em 2002, define a chapa de madeira aglomerada ou chapa de partículas de madeira como produto em forma de painel, variando de 3 mm a 50 mm de espessura, constituído por partículas de madeira aglomeradas com resinas naturais ou sintéticas, termofixas, sob a ação de pressão e calor. A geometria das partículas e sua homogeneidade, os tipos de adesivos, a densidade e os processos de fabricação podem ser modificados para produzir produtos adequados aos usos finais específicos. Durante o processo de fabricação, podem ser ainda incorporados aditivos para prover painéis de características especiais.

IWAKIRI *et al.* (2005) avaliaram a influência da alta densificação do painel e o uso de resinas alternativas para a produção de painéis de madeira aglomerada. Produziram painéis com densidades de 0,70 g/cm³ e 1,0 g/cm³, utilizando resinas uréia-formaldeído (UF), melamina-uréia-formaldeído (MUF), fenol-melamina-uréia-formaldeído (PMUF) e fenol-formaldeído (FF). Os resultados demonstraram que o aumento na densidade do painel resulta no incremento das propriedades mecânicas e reduz a estabilidade dimensional. Os painéis produzidos com a resina PF apresentaram propriedades físicas e mecânicas superiores. Por outro lado, a resina PMUF demonstrou ser alternativa técnica e economicamente viável para a produção de painel aglomerado de uso exterior.

Dentre as inúmeras variáveis do processo produtivo, a densidade do painel e o tipo de resina utilizado na sua produção são de grande importância para a adequação das propriedades do aglomerado a determinadas aplicações. Na pesquisa realizada por Albuquerque (2002), citado por IWAKIRI *et al.* (2005b), com painéis aglomerados de partículas de *Pinus taeda* e *P. elliottii*, de densidades 0,5, 0,7 e 0,9 g/cm³, foram constatados aumentos nos valores de ligação interna, flexão estática e inchamento em espessura naqueles com maiores densidades. Por outro lado, os valores de absorção de água diminuíram com o aumento da densidade dos painéis.

PASSEROTTI *et al.* (2008) analisaram as propriedades físico-mecânicas de painéis de madeira aglomerada de média densidade (MDP), utilizando *Eucalyptus* sp. Esses painéis são produzidos comercialmente com adesivo à base de formaldeído, porém trabalharam com o adesivo poliuretano à base de mamona, comercialmente conhecido como I 201, obtido do óleo extraído da mamona. Suas principais características são: teor de sólidos de 66%, pH de 8,0 a 9,0, massa específica média de 1,29 g/cm³, ausência de extensor e ausência de emissão de formaldeído. O I 201 tem competitividade em relação a outros polímeros existentes, porque os di-isocianatos disponíveis no país possuem preços razoáveis, porque apresenta origem natural e renovável, não sendo agressivo nem ao homem nem ao meio ambiente.

TEODORO (2008) avaliou a possibilidade de utilização dos taninos de acácia negra (*Acacia mearnsii*) e de sua mistura com taninos da casca de *Eucalyptus pellita* e adesivo fenol-formaldeído para colagem de painéis de madeira aglomerada e de painéis OSB. Os painéis de madeira aglomerada foram produzidos em dois tempos de prensagem, 6 e 9 minutos. O adesivo fenol-formaldeído (FF) e suas modificações com tanino de acácia negra (90:10, 80:20 e 70:30) tiveram suas propriedades de colagem avaliadas. Painéis de madeira aglomerada e

painéis OSB foram produzidos com partículas de *Pinus caribaea* var. *caribaea*, utilizando-se adesivo fenol-formaldeído, adesivo tanino-formaldeído de acácia negra, adesivo fenol-formaldeído modificado com 10% e 20% de taninos da acácia negra e adesivo tanino-formaldeído de acácia negra modificado com 10% e 20% de taninos da casca de *E. pellita*. A quantidade de adesivo utilizada foi de 10%, com base no peso seco de partículas, e a densidade nominal dos painéis foi de 0,70 g/cm³. As seguintes propriedades físicas e mecânicas dos painéis de madeira aglomerada e dos painéis OSB foram avaliadas: densidade aparente, inchamento em espessura (IE) e absorção de água (AA) após 2 e 24 horas de imersão, resistência à flexão estática (MOR e MOE) e resistência à tração (ligação interna - LI). Os painéis de madeira aglomerada apresentaram boas estabilidades dimensionais, e as propriedades de MOR e LI alcançaram valores médios acima do mínimo exigido pela norma CS 236-66. A fabricação de painéis de madeira aglomerada com adesivo à base de tanino de acácia negra e suas modificações com 10% e 20% de solução de tanino da casca de *E. pellita* mostrou-se viável.

MENDONÇA (2008) avaliou seis clones de *Eucalyptus urophylla* na fabricação de painéis de madeira: compensado laminado convencional, aglomerado convencional e aglomerado orientado (OSB). Para a produção dos painéis de compensado, com lâminas secas (6% a 8 % de umidade), a pressão utilizada foi de 15 kgf/cm², a temperatura, de 150 °C, durante 10 minutos, o adesivo utilizado foi a resina fenol-formaldeído com gramatura em 320 g em linha dupla. Para a produção dos painéis aglomerados convencionais foram usadas partículas secas a 3% de umidade, resina uréia-formaldeído com 8% de sólido resinoso, pressão de 40 kgf/cm², temperatura de 160 °C, durante 8 minutos. As partículas para produção do OSB foram secas a uma umidade de 3% e usadas numa proporção entre camadas internas e externas de 25:50:25, a resina utilizada foi a fenol-formaldeído, a 6 % de sólido resinoso, à pressão de 40 kgf/cm², à temperatura de 180 °C, durante 8 minutos. O clone 4 obteve melhor média de resultado nos testes físicos e mecânicos dos painéis de aglomerado convencional, utilizado pela indústria de móveis na confecção de armários de quarto, cozinha, banheiro, escritório e sala, bancadas, criados, aparadores, etc.

2.2.2 - Painéis cimento-madeira

A utilização do cimento como aglutinante em chapas minerais iniciou-se em 1928, mas somente após a II Guerra Mundial é que esse emprego ampliou-se. A produção em larga escala de chapas de cimento-madeira surgiu em 1976 na Alemanha e, atualmente, essas chapas são bastante utilizadas também no Japão e na Suíça. Sua boa aceitação se deve, entre outros fatores, à resistência ao ataque de fungos e cupins, ao bom isolamento térmico e acústico, à fácil trabalhabilidade e à não combustão (Chittenden *et al.*, 1975, Sorfa e Bongers, 1983, Lee, 1984, citados por LATORRACA *et al.* 2000).

Os painéis de cimento-madeira são produzidos em plantas relativamente pequenas, quando comparadas às plantas de aglomerado convencional. Essa pequena capacidade é devido à lenta velocidade de cura dos painéis (REVISTA DA MADEIRA, 2003).

MATOSKI (2005) afirma que a vantagem desse compósito está na dureza relativamente maior que o material separadamente teria e que as fibras aumentam a resistência do meio e baixam o custo e o peso do material.

Pesquisas mostram que a capacidade de solidificação do cimento na presença da madeira é determinada pela composição química da mesma. Os extrativos da madeira são responsáveis pela inibição da solidificação do cimento. Seus princípios ativos são os compostos fenólicos e os carboidratos livres. Assim, a limitação intrínseca ao uso de uma determinada matéria-prima está relacionada principalmente à garantia do seu suprimento contínuo e das suas propriedades químicas. Tratamentos têm sido empregados, com sucesso, visando a eliminar ou minimizar os efeitos inibidores de substâncias químicas presentes na madeira. Os aditivos são utilizados com o propósito de reduzir o tempo de endurecimento do cimento, acelerando a pega e encurtando a cura em chapas de cimento-madeira. Os aceleradores têm a função de eliminar os efeitos desfavoráveis das substâncias da madeira solúveis em água sobre o endurecimento, além de reduzir o longo período de tempo de cura dos painéis. Os sais, cloreto de cálcio e cloreto de magnésio são alguns dos aditivos utilizados. O cloreto de cálcio é o que vem sendo, destacadamente, o mais utilizado durante décadas, provavelmente porque acelera eficientemente a hidratação dos silicatos de cálcio, além de ser muito barato. Aditivos minerais, como a sílica ativa (*silica fume*), também são empregados em chapas minerais. A substituição do cimento Portland por sílica ativa tem um efeito surpreendente sobre as propriedades de resistência das chapas feitas com espécies de baixa compatibilidade, sua

efetiva proporção para substituir o cimento na mistura vai depender da espécie (REVISTA DA MADEIRA, 2003).

O maior problema na produção do compósito cimento-madeira é a adesão entre esses materiais, por isso o efeito inibidor sobre a cura do cimento é o fator relevante na escolha e no uso das espécies florestais nesse tipo de produto. Normalmente, a madeira proveniente de coníferas é a mais utilizada na manufatura dos painéis, exatamente por apresentar propriedades, principalmente químicas, que a tornam mais compatível com o cimento, não causando inibição da pega e do endurecimento (Hachmi e Campbell, 1989, citado por SILVA *et al.*, 2005).

A aplicação dos painéis de cimento-madeira vai além dos usos indicados para o aglomerado convencional, especialmente em ambientes úmidos e com riscos de incêndios, onde o emprego de aglomerados convencionais se torna inadequado. Os painéis de cimento-madeira são muito versáteis e leves, resistentes ao fogo e à umidade e têm boa resistência mecânica. Já foram comparados com uma grande variedade de produtos, dentre os quais destacam-se os painéis à base de madeira, tais como compensados, chapas de média densidade e o aglomerado à base de uréia-formaldeído. Dados sobre propriedades mecânicas, resistência à umidade, resistência à abrasão, trabalhabilidade, estabilidade dimensional, etc. foram comparados entre esses produtos, e os resultados indicam que os painéis de cimento-madeira apresentam grandes potencialidades de mercado. Seu uso é destacado para paredes de casas pré-fabricadas, bancadas, parapeitos, pisos, revestimentos de túneis, paredes divisórias, paredes isolantes térmico-acústicas, portas corta-fogo, forrações de tetos, etc. A sua utilização não abrange somente residências, mas também pavilhões, estádios e edifícios públicos, estando presente em banheiros, lavanderias, cozinhas, etc. (REVISTA DA MADEIRA, 2003).

LATORRACA *et al.* (1999) avaliaram a aptidão tecnológica de cinco espécies florestais (*Eucalyptus citriodora*, *Pinus taeda*, *Clitoria fairchildiana*, *Euterpe edulis* e *Leucaena leucocephala*) combinadas com cimento Portland tipo CP II para emprego na produção de painéis de cimento-madeira, por meio do estudo do calor de hidratação desse compósito (mensuração do tempo e temperatura de hidratação do cimento quando combinado ou não com as partículas das espécies). Os resultados indicaram que as espécies com maior e menor aptidão ao uso em chapas minerais foram, respectivamente, *Eucalyptus citriodora* e *Leucaena leucocephala*.

LATORRACA e IWAKIRI (2000) estudaram o efeito do tratamento das partículas, da variação da relação madeira:cimento e da utilização de aditivos químicos sobre as propriedades físicas e mecânicas das chapas minerais. Trabalharam com *Eucalyptus dunnii* combinada com cimento Portland. Foram empregados três tratamentos de partículas (partículas sem tratamento, tratadas com água quente por 1 h a 80 °C e tratadas com NaOH a 1% por 24 h), duas relações madeira:cimento (1:2,5 e 1:3,0) e dois aditivos químicos (CaCl₂ e MgCl₂). Realizaram-se análises das propriedades físicas e mecânicas das chapas, cujos resultados demonstraram que, dentre os três fatores analisados, o tratamento das partículas foi o que causou efeito mais pronunciado sobre as propriedades das chapas, interferindo negativamente nos resultados. O aditivo químico que melhor desempenho apresentou foi o MgCl₂.

TEIXEIRA *et al.* (2001) confeccionaram chapas de cimento-madeira com partículas tratadas com CCA e sem tratamento, e compararam-nas quanto ao índice de inibição e às propriedades físico-mecânicas. Os resultados mostraram a viabilidade técnica da produção de chapas de cimento-madeira com partículas de seringueira (*Hevea brasiliensis* Müell. Arg.) tratadas com CCA. O processo de preservação influenciou significativamente os resultados, contribuindo para a melhoria da qualidade das chapas (como detectado pelo teste de compatibilidade). Todas as propriedades alcançaram as especificações para esse tipo de painel.

LATORRACA e IWAKIRI (2001) estudaram o efeito da cura a vapor sobre as propriedades mecânicas das chapas de cimento-madeira produzidas com partículas de madeira da espécie *Eucalyptus urophylla* combinadas com o aditivo acelerador cloreto de cálcio e o cimento Portland ARI (alta resistência inicial). Os painéis foram submetidos a três períodos de cura (7, 14 e 28 dias), combinando cura a vapor numa temperatura de 60 °C e cura em câmara climática (20 ± 3) °C e (65 ± 1)%. Buscou-se identificar se os métodos de cura aplicados geraram resistências equivalentes entre os três períodos de cura utilizados. Pôde-se concluir que a variação do tempo de exposição dos painéis em câmara de vapor proporcionou efeitos satisfatórios especialmente no módulo de elasticidade e na compressão paralela dos painéis, não apresentando efeito sobre o módulo de ruptura e a ligação interna.

SILVA *et al.* (2002) avaliaram a aptidão tecnológica de *Pinus taeda*, *Clitoria fairchildian*, *Euterpe edulis* (com e sem casca), *Lophantera lactescens* e *Saccharum* sp, após extração da água quente, para confecção de painéis de cimento-madeira por meio de ensaios mecânicos de compressão axial. *Lophantera lactescens* e *Pinus taeda* foram as mais indicadas para a

produção das placas, enquanto *Clitoria fairchildiana*, *Euterpe edulis* (com casca) e *Saccharum* sp mostraram baixo potencial. As placas feitas de *Euterpe edulis* (sem casca) apresentaram alto potencial.

OKINO *et al.* (2004) confeccionaram chapas de partículas de cimento-madeira com clones de *Hevea brasiliensis* (seringueira): IAN 717, IAN 873, GT 711 e AVROS 1301, na proporção de 1:4:1 (madeira:cimento:água) por peso, com espessura de 13 mm e densidade nominal de 1,4 g/cm³, com a adição de 4% de cloreto de cálcio di-hidratado (CaCl₂.2H₂O) como acelerador. Foram testadas partículas fervidas e não-fervidas dos quatro clones, totalizando oito tratamentos, sendo avaliadas as propriedades mecânicas e físicas das chapas, segundo a norma ASTM D 1037-96a. De forma geral, os melhores resultados de propriedades físicas e mecânicas foram obtidos nas chapas com partículas do clone AVROS 1301. No teste de hidratação do cimento, a madeira de seringueira *in natura* foi classificada como de “inibição extrema”, porém com a adição de CaCl₂, como de “baixa inibição”. Essa madeira se mostrou tecnicamente viável para a produção de chapas de cimento-madeira, independentemente do clone.

SILVA *et al.*, 2005, trabalharam com *Eucalyptus urophylla* para confecção de painéis cimento-madeira. O aglutinante empregado na composição foi o cimento Portland ARI e o aditivo químico, o Cloreto de Cálcio (CaCl₂). Os parâmetros dos painéis foram: relação madeira:cimento (1:2,75), relação água:cimento (1:2,50), aditivo químico (4% com base no peso do cimento), massa específica nominal do painel (1,25 g/cm³), espessura do painel (1,6 cm). Na prensagem se utilizou: pressão específica de 40 kg/cm², temperatura ambiente e tempo de grampeamento de 24 h. O acondicionamento foi a (20 ± 1) °C e (65 ± 5)% de umidade, a cura realizou-se em 27 dias. Foram avaliadas as propriedades físicas e mecânicas de painéis, variando-se a relação madeira-casca com o cimento Portland. Os resultados apontaram que painéis produzidos com até 10% de casca apresentam resultados equivalentes aos dos painéis produzidos com 100% de partículas de madeira, para as propriedades de LI e MOE. Essa percentagem chega a 25% para as demais propriedades. Os painéis produzidos com 100% de casca tiveram o menor desempenho em todas as propriedades avaliadas.

OKINO *et al.* (2005) trabalharam com partículas de cipreste (*Cupressus* spp.) tratadas ou não com água quente para manufaturar painéis cimento-madeira. Três réplicas foram realizadas para cada tratamento, totalizando seis placas. As propriedades físicas e mecânicas das placas avaliaram-se de acordo com ASTM D 1037-96a. A madeira de cipreste mostrou-se adequada

como matéria-prima para a manufatura dos painéis. Todas as propriedades foram mais elevadas do que as dos painéis Bison usados como referência. A cor clara e a madeira de fácil processamento são parâmetros favoráveis para a fabricação dos painéis. Os resultados corroboram aqueles relatados usando-se partículas de pinus, seringueira, acácia, babaçu e eucalipto.

SILVA *et al.* (2006) avaliaram o efeito da adição de microssílica em três percentagens (0%, 20% e 30%), sobre as propriedades físicas e mecânicas de painéis cimento-madeira de *Eucalyptus urophylla*, compostos por três relações madeira:casca (100:0, 95:5 e 90:10). Os resultados mostraram que o efeito mais significativo do aditivo sobre os painéis produzidos ocorreu naqueles que continham casca, e que a adição de 20% do aditivo foi mais eficiente sobre as propriedades físicas e mecânicas.

SILVA *et al.* (2006b) avaliaram o efeito da adição de dois tipos de aditivos minerais (microssílica e metacaulim) sobre as propriedades de chapas de cimento-madeira, aplicando-se diferentes teores aditivos (0%, 20% e 30%). O aglomerante empregado na produção dos painéis foi o cimento Portland tipo ARI, juntamente com partículas de madeira de *Eucalyptus urophylla*. Os resultados indicaram que a adição dos aditivos minerais não causou melhorias significativas nas propriedades mecânicas avaliadas. Já em relação às propriedades físicas, o efeito positivo da adição de 20% de microssílica pôde ser observado no ensaio de absorção em água após a imersão em 2 e 24 horas. O aditivo metacaulim não apresentou tendência clara, porém, de forma geral, a sua adição causou redução na qualidade das chapas.

MORI *et al.* (2007) afirmam que as características dos painéis cimento-madeira podem ser prejudicadas em virtude da incompatibilidade química do cimento com alguns materiais lignocelulósicos que podem inibir a pega do cimento. Porém, esse efeito pode ser minimizado com tratamentos químicos dos materiais. As diferentes espécies de *Eucalyptus* podem ser promissoras como matéria-prima na produção desse tipo de painel, principalmente os resíduos gerados na forma de cascas. Por isso avaliaram a compatibilidade química da madeira de *Eucalyptus* e das cascas (tratadas com solução de hidróxido de sódio ou não) com o cimento Portland. Os resultados obtidos mostraram que a madeira de *Eucalyptus grandis* apresentou uma aptidão moderada ao cimento, que as cascas tratadas tiveram alta aptidão e as cascas não-tratadas, aptidão extremamente baixa. Verificou-se a influência positiva do tratamento químico nas cascas, possibilitando sua incorporação futura na manufatura de painéis cimento-madeira.

IWAKIRI e PRATA (2008) avaliaram o potencial de utilização da madeira de *Eucalyptus grandis* e *E. dunnii* na produção de painéis cimento-madeira. A madeira de *Pinus taeda* foi utilizada como testemunha. Produziram-se painéis com densidade nominal de 1,20 g/cm³, utilizando cimento Portland CP V ARI (alta resistência inicial), cloreto de cálcio como acelerador de cura do cimento, e partículas de madeira sem tratamento e com tratamento (em água fria e água quente). O colchão foi prensado a frio com pressão específica de 40 kgf/cm², e mantido sob grampeamento por 24 horas para endurecimento. Após esse período, os grampos foram retirados e os painéis foram acondicionados em câmara climática com temperatura de (20±2) °C e umidade relativa de (65±3)%, por um período de 28 dias, para maturação final. Os resultados indicaram que não há necessidade de tratamento de partículas, tanto para *E. grandis*, quanto para *E. dunnii*, na produção de painéis cimento-madeira. Os painéis produzidos com a madeira de *E. dunnii* apresentaram baixos valores de propriedades mecânicas. Os painéis produzidos com madeira de *E. grandis* tiveram resultados satisfatórios, em comparação aos painéis testemunhas de *P. taeda* e valores referenciais do processo Bison e da literatura, indicando terem potencial para a produção de painéis cimento-madeira.

No Brasil, a Brasilit produz a linha de painéis Masterboard, que é a combinação de dois produtos: placas cimentícias Brasilit e painel Home OSB Masisa, são ideais para a construção de lajes secas, mezaninos, paredes e divisórias. Outro produto são as placas cimentícias Brasiplac, que pertencem a uma nova geração de placas sem amianto e utilizam a exclusiva tecnologia CRFS (Cimento Reforçado com Fios Sintéticos), são produzidas a partir de uma mistura balanceada de cimento Portland, agregados naturais e celulose, reforçada com fios sintéticos de polipropileno, desenvolvidos no Brasil (BRASILIT, 2008).

A tecnologia desenvolvida pela Brasilit garante produtos de elevado desempenho e ótima estabilidade dimensional, sem o uso de autoclave na produção ou de telas externas de reforço. As placas sem amianto Brasiplac foram desenvolvidas com o objetivo de racionalizar, agilizar e proporcionar melhor qualidade aos sistemas construtivos. Suas principais vantagens são: respeito ao meio ambiente, considerando todo o ciclo de vida do produto (fabricação, montagem e descarte); a mistura de cimento Portland, fios sintéticos e fibras celulósicas é perfeitamente ecológica; resistência à umidade (não sofrem qualquer degradação); o material "respira" (é permeável ao vapor e impermeável à água, mantendo o equilíbrio natural do ambiente); elevada resistência a impactos (os fios sintéticos de reforço garantem elevada resistência a impacto); resistência a cupins e microorganismos (a matriz cimentícia é

resistente a cupins e não favorece o desenvolvimento de microorganismos); incombustibilidade (a placa é incombustível); elevada durabilidade (pela natureza similar a um "micro-concreto armado", o produto tem longa durabilidade); isolamento térmico (o fibrocimento sem amianto apresenta baixa condutibilidade térmica frente a outros materiais); isolamento acústico (a densidade e microestrutura porosa atenuam a transmissão e reverberação sonora); economia (ótima relação custo-benefício devido à rapidez, praticidade de montagem, redução de mão-de-obra e de desperdícios); leveza e qualidade de acabamento são alguns dos atributos das placas (BRASILIT, 2008).

Com o crescente apelo ambiental, no Brasil, as placas cimento-madeira começam a ganhar espaço na arquitetura. Neste ano a Recovering Trading está trazendo para o país o revestimento Viroc. O produto, importado de Setúbal-Portugal, conta com madeira e cimento em sua composição e possui “selo verde”. As partículas de madeira ficam mineralizadas e, com o processo de cura, as placas vão ficando cada vez mais resistentes. As placas Viroc são resistentes a impacto, versáteis, leves e de fácil instalação, reduzem o peso da construção e podem ser utilizadas tanto em ambientes internos quanto externos, pois apresentam estabilidade dimensional e são resistentes ao fogo, à ação de fungos e roedores. Elas podem ser usadas em pisos, tetos e colunas, com inúmeras opções de acabamento (lixado, envernizado, com aparência de aço ou natural). Os painéis são indicados para fachadas internas e externas, pavimentos flutuantes, tetos, isolamento acústico e todos os locais sujeito à umidade. Os painéis Viroc têm vários certificados de renomados laboratórios europeus, quanto à acústica, à integridade da sua composição, à resistência ao fogo e a cupins. A madeira utilizada é de reflorestamento e possui o selo Green Building. Nenhum dos componentes usados na fabricação é tóxico ou contém compostos voláteis perigosos, sendo isentos de silícia, amiantos e formaldeídos. Suas medidas são: placas de 3 m x 1,25 m ou 2,60 m x 1,25 m, com espessura entre 8 e 32 mm. O preço sugerido é a partir de R\$ 45,00/m² (espessura 8 mm) (RECOVERING TRADE, 2008).

2.2.3 - Painéis madeira-borracha

SONG e HWANG (2001), para produzir compostos feitos de fibra de madeira e borracha de pneu (*Composites made from wood fiber and tire rubber - FRC*), desenvolveram um método utilizando o difenilmetano diisocianato (MDI) como resina. Os autores utilizaram quatro

proporções de madeira e borracha e quatro proporções de adesivo. Os FRC mostraram-se mais resistentes à umidade e absorveram maior impacto, quando comparados a outros compósitos de madeira convencionais.

OZAKI e SOUZA (2004) adicionaram pó de borracha reciclada, em diversas proporções, na fabricação de um compósito de pó de madeira e látex SB (estireno-butadieno), preparado por prensagem a quente (160°C e 10 MPa). A substituição gradual do látex SB por pó de borracha aumentou o MOR, porém diminuiu o MOE. A temperatura de degradação também sofreu abaixamento. Os autores concluíram que esses compósitos são apropriados como substitutos das chapas duras de madeira em que a absorção de água é um fator crítico, além disso, podem atender à área de habitação e movelaria, devido às satisfatórias propriedades mecânicas.

JUN *et al.* (2008) investigaram a combinação madeira-borracha com difenilmetano diisocianato polímero (PMDI) e uréia-formaldeído na fabricação de painéis compostos. As variáveis foram densidade da chapa, tempo e temperatura de prensagem. O desempenho da chapa foi avaliado em relação à ligação interna (LI), o módulo de ruptura (MOR) e o módulo de elasticidade (MOE). Os resultados foram analisados estatisticamente, usando o método da superfície de resposta para determinar as variáveis independentes significativas que influenciaram nas propriedades do compósito. A densidade da placa e algumas interações entre as variáveis experimentais foram fatores que influenciaram significativamente as propriedades mecânicas da placa. As condições ótimas de fabricação da placa foram aproximadamente 170 °C, 5 min e densidade de 1,0 g/cm³.

O uso de resíduos de pneus na fabricação de compósitos pode apresentar algumas vantagens, tais como: reduzir um resíduo que se encontra na natureza causando problemas à saúde e degradação ambiental, otimizar a vida útil dos aterros sanitários, já que a degradação dos resíduos de borracha pode durar até 240 anos; reduzir o consumo das fontes naturais de agregados normalmente empregados em artefatos de cimento; reduzir a emissão atmosférica de alguns poluentes; reduzir a sobrecarga em edificações, pelo fato de a borracha possuir uma densidade baixa. Pelas suas características, o emprego desse tipo de resíduo pode perfeitamente contribuir para que o mesmo deixe de ser um problema ambiental e de saúde pública, e passe a ser uma fonte de material alternativo empregado com sucesso na construção civil (FIORITI e AKASAKI, 2003).

2.2.3 - Outros compósitos

FREITAS *et al.* (2007) avaliaram a influência da inclusão da casca de mamona (*Ricinus communis* L.) com partículas padronizadas na composição de chapas de partículas de madeira (*Eucalyptus urophylla*) destinadas à produção industrial de aglomerados. O delineamento experimental foi de 0%, 25%, 50%, 75% e 100% de casca de mamona, em chapas com 6%, 9% e 12% de resina uréia-formaldeído ou fenol-formaldeído. Todos os tratamentos tiveram em sua composição um acréscimo de 1% de parafina. A inclusão de casca de mamona na confecção dos painéis aglomerados demonstrou ser viável na proporção de 25%, uma vez que os tratamentos com essa proporção de material apresentaram resultados superiores àqueles apresentados pelas chapas produzidas exclusivamente com partículas de eucalipto. A adição de casca de mamona com teor acima de 25% não apresentou melhoria quanto aos parâmetros físicos estudados.

OLIVEIRA e TEIXEIRA (2006) empregaram palha de coco de babaçu para confecção de aglomerado. Foram usadas partículas (retidas nas peneiras de 20 e 35 *mesh*, e secas a 5% de umidade) e resina fenol-formaldeído (5% e 10%, com 46,91% de sólidos). A palha de coco de babaçu foi colocada em um misturador para a aplicação da resina. O colchão com a mistura foi prensado a quente por 10 minutos. Para a análise de resistência das chapas, fizeram-se testes mecânicos de flexão para a obtenção do MOR e do MOE, e de resistência à tração perpendicular (TP). Adicionalmente se realizaram testes físicos de inchamento em espessura (IE) e de absorção de água (AA), após 2 e 24h e determinaram-se a densidade e o teor de umidade (TU). As chapas foram classificadas como de média densidade. O teor de umidade ficou próximo de 10%. O tratamento com 5% de adesivo não atende às especificações exigidas para os testes. O tratamento com 10% de resina não atende às exigências mínimas para TP e IE, mas somente às exigências para MOR. Chapas com maior proporção de resina apresentaram menor IE e AA, característica que foi apresentada devido à maior quantidade de adesivo.

GOUVEIA *et al.* (2003) estudaram a influência da estrutura do colchão e de diferentes concentrações de adesivo nas propriedades de chapas de partículas orientadas (*strands*), contendo 50% de partículas de *Eucalyptus grandis* e 50% de *Pinus elliottii*. Foram avaliados três tipos de estruturas, aglutinadas com adesivo fenólico (viscosidade de 350 cp, pH 12,15 e 47,63% de sólidos) a 4%, 6% ou 8% de sólidos resinosos em relação ao peso seco das partículas. As chapas foram submetidas aos testes de flexão estática, ligação interna, arranque

de parafuso, inchamento em espessura e absorção de água, obedecendo aos critérios da norma ASTM D 1037-91. De modo geral, os painéis feitos com 8% de adesivo apresentaram melhores resultados que os demais. Para a maioria das propriedades mecânicas, inclusive para os painéis fabricados com 4% de resina, obtiveram-se resultados superiores àqueles estabelecidos pela norma CSA O437-93. Contudo, nenhum tratamento produziu chapas com inchamento em espessura inferior ao valor máximo permitido por aquela norma.

Cabe citar o trabalho de MARQUES *et al.* (2005), que avaliaram o comportamento da argamassa adicionada de diferentes granulometrias de borracha após o tratamento com NaOH. Para tanto, realizaram-se ensaios a fim de caracterizar a argamassa no estado fresco e endurecido com diferentes granulometrias de borracha, sem tratamento e tratada com solução saturada de NaOH. A substituição foi de 18,8% de borracha no agregado em volume, e os ensaios de resistência mecânica foram feitos aos 7, 28, 56 e 90 dias. Concluiu-se que o uso da borracha de pneus no concreto e em argamassas é uma possível forma de aplicação.

SEFFF (2004) caracterizou o compósito cimentício produzido com madeira de *Pinus taeda*, misturada com areia, pedriscos e cimento Portland CP III e CP V – ARI, e concluiu que embora possibilite menor custo e menor densidade aparente, a incorporação de partículas de madeira apresenta menor resistência à ruptura, maior porosidade e maior absorção de água. A dosagem adequada de madeira possibilita vantagens na produtividade, quando comparada com os métodos tradicionais empregados na habitação, o que constitui uma boa opção de aplicação no setor da construção civil, favorecendo a população de baixa renda.

O trabalho realizado por MARQUES, *et al.*, (2006) teve como objetivo estudar o comportamento do concreto adicionado de resíduos de borracha de pneus. Para isso, foram feitos vários traços com duas granulometrias diferentes e avaliadas propriedades como: resistência à compressão, resistência à tração, módulo de elasticidade, absorção de água e trabalhabilidade. Os ensaios foram feitos para as idades de 7, 28 e 56 dias em corpos-de-prova cilíndricos de dimensões (10x20) cm e (15x30) cm, sendo o último utilizado apenas para o ensaio de módulo de elasticidade. Os resultados indicam redução nos valores referentes às propriedades mecânicas e perda na trabalhabilidade após a adição do resíduo.

Visando a uma facilidade na reprodução de concreto com resíduo de borracha, LOPES, *et al.*, (2006) utilizaram um aditivo superplastificante. Foram elaborados concretos com cimento CPV ARI PLUS, com substituição de parte do agregado miúdo por resíduos de borracha de

pneus (10% em volume), em três granulometrias: B1 (passados pela peneira nº 16, com abertura 1,19mm), B2 (retidos na peneira nº 16) e B3 (retidos na peneira nº 8, com abertura de 2,38mm, e passados pela peneira nº 4, com abertura de 4,76mm). Os ensaios de compressão axial foram realizados em corpos-de-prova cilíndricos de 10 cm x 20 cm nas idades de 7, 28 e 56 dias, curados em câmara úmida (22,5 °C). Com os resultados de resistência à compressão montaram-se os diagramas de dosagens para concretos sem adições (referência) e com adições de resíduos de borracha nas idades de 7, 28 e 56 dias. Verificou-se que a introdução do aditivo trouxe uma melhora significativa na trabalhabilidade, tornando viável a incorporação dos resíduos de borracha em concretos.

O trabalho de FIORITI e AKASAKI (2003) avaliou a técnica de fabricação de blocos de concreto com função estrutural utilizáveis em alvenaria. Foram adicionados aos compósitos de concreto resíduos de borracha provenientes do processo mecânico de recauchutagem de pneus. Prepararam-se diferentes dosagens de concreto contendo 10%, 13% e 15% de resíduos de borracha e uma sem resíduos como referência. Aos 28 dias de idade os blocos produzidos foram submetidos aos ensaios de resistência mecânica à compressão simples e de absorção de água. Concluiu-se que a quantidade suficiente de resíduos na composição do concreto, sem que o mesmo perca a resistência, é de 13% em volume.

2.3 - COLORIMETRIA

Ao se observar um material, a primeira impressão vem do seu aspecto visual, proveniente, basicamente, da sua cor, textura e desenho, por isso é comum a indicação ou o uso em larga escala de um determinado produto, levando-se em conta somente esses parâmetros. (CAMARGOS *et al.*, 2001).

Janin (1986), citado por GONÇALEZ (1993), resume a importância da determinação da cor sob três aspectos:

- científico – um maior estudo sobre os fatores que influenciam a cor permite conhecer melhor os materiais e sua composição química;
- tecnológico – a cor permite uma classificação dos materiais;
- econômico – o preço de um produto pode variar, dependendo do aspecto e da cor.

Segundo GONÇALEZ *et al.* (2001), a colorimetria quantitativa é uma técnica recente para ser aplicada à determinação da cor. A importância desta técnica foi mostrada não só do ponto de vista científico, mas também como aplicação prática pela indústria madeireira. Tradicionalmente a caracterização tecnológica da madeira está baseada nos estudos anatômicos e nas propriedades físicas e mecânicas. Existem ainda outros parâmetros não menos importantes tais como a cor, os constituintes químicos, a secagem, a durabilidade natural, dentre outros, que completam uma melhor caracterização e utilização de uma determinada espécie madeireira. Porém, esses parâmetros são utilizados em menor grau, talvez devido a maiores dificuldades encontradas como, equipamentos, tempo mais prolongado de execução, laboratórios, etc., colocando-os em plano secundário. Os critérios de qualidade da madeira devem estar relacionados com o uso final da mesma. Assim, o emprego da madeira para fabricação de móveis, de assoalhos, ou de outras formas de utilizações interiores é determinado, principalmente, pelo seu aspecto, pela sua aparência superficial e em particular por sua cor.

O sistema CIE (Comission Internationale de L'Eclairage ou Comissão Internacional de Iluminantes) é um método que define a sensação da cor baseado em três elementos: a luminosidade ou claridade, a tonalidade ou matiz e a saturação ou cromaticidade. A luminosidade ou claridade define a escala cinza entre o branco e o preto. É expressa pela variável L^* e assume o valor 0 para o preto absoluto e 100 para o branco total. Pode ser representada, graficamente, por uma reta perpendicular a um círculo, passando pelo seu centro. A tonalidade é expressa pelas cores primárias vermelho, verde, amarelo e azul. É representada em forma de um círculo cortado por duas retas perpendiculares (horizontal e vertical) passando pelo centro. A reta horizontal representa o vermelho e o verde, definidos por duas semi-retas, respectivamente, que vão do centro às extremidades do círculo, ou seja, o vermelho vai do centro à periferia, formando um ângulo de 0° . O verde vai do centro à extremidade oposta ao vermelho, formando um ângulo de 180° . Na reta vertical estão o amarelo e o azul. A semi-reta do amarelo vai do centro à extremidade do círculo formando um ângulo de 90° . O pigmento azul vai do centro à outra extremidade oposta ao amarelo, formando um ângulo de 270° . Os pigmentos vermelho, verde, amarelo e azul são definidos pelas coordenadas $+a^*$; $-a^*$, $+b^*$ e $-b^*$, respectivamente. Cada variável vai de 0 a 60 (sem unidade de medida) (Figura 2.5).



Figura 2.5 - Projeção espacial da cor CIE – $L^*a^*b^*$ de 1976.

Fonte: DATACOLOR, 1996

A tonalidade pode ser dada também pelo ângulo do círculo, expresso pela variável h^* , conhecida como ângulo da tinta e derivada dos valores de a^* e b^* . A saturação ou cromaticidade é o desvio a partir do ponto correspondente ao cinza no eixo L^* ou de luminosidade. Quanto mais distante do eixo, mais saturada será a cor. A saturação seria o raio do círculo de tonalidade, partindo do ponto cinza do eixo de luminosidade até a cor pura espectral localizada na extremidade do círculo. É expresso pela variável C e varia de 0 a 60 (Figura 2.6). Estes três elementos (claridade, saturação e tonalidade) definem o sistema conhecido como CIE $L^*a^*b^*$, atualmente utilizado na colorimetria (CIE $L^*a^*b^*$, 1976, citado por CAMARGOS *et al.*, 2001).

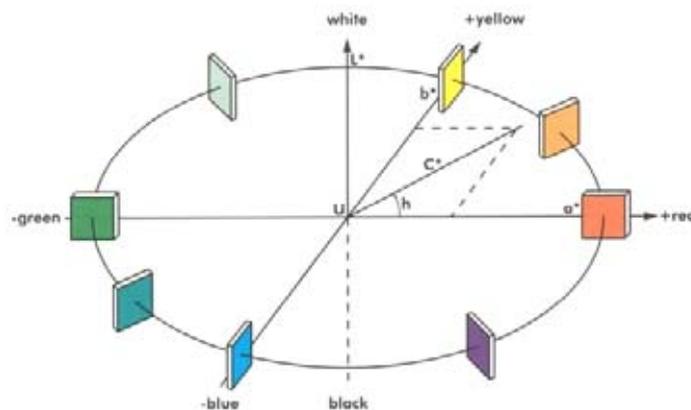


Figura 2.6 - Projeção espacial da cor CIE – $L^*a^*b^*$, C e h^*

Fonte: Star Color Co. Ltd., 2002

CAMARGOS *et al.* (2001), ao estudar 350 espécies de madeira, para agrupá-las numa tabela de cor, constatou que o ângulo de tinta (h^*), no sistema CIE $L^*a^*b^*$, de todas as cores das madeiras estudadas se enquadrava de 0° a 90° (1º quadrante). A menor claridade (L^*) para a madeira foi de 25,93 (correspondente à cor escura), sendo que, para o preto absoluto, este valor é de zero. Por outro lado, o maior valor de L^* foi de 86,44 (correspondente à cor branca), para um branco absoluto de 100. O ângulo de tinta (h^*) variou de 13,94 (correspondente ao vermelho) a 87,00 que corresponde à cor amarela. Para madeira de alta claridade ($L^* > 56$), o ângulo da tinta (h^*) é significativo no agrupamento, enquanto que, para madeira de pouca claridade ($L^* < 56$), a variação no ângulo da tinta pode não ser expressivo.

CAMARGOS *et al.* (2001) constataram ainda, que a variável h^* , apesar de ter uma correlação de Pearson direta com o L^* de 80%, teve comportamento contrário quando comparado com essa variável. Quando ocorreu um baixo desvio no L^* , o desvio do h^* foi elevado e vice-versa. No agrupamento por intervalo de variáveis, os intervalos apresentaram amplitudes diferentes entre si e entre os grupos de cores. Esses intervalos variavam de acordo com cada variável cromática e com cada grupo de cor. Quando não foi considerada a variável saturação (C) no agrupamento, ocorreu uma tendência de grupos mais claros e menos saturados, ou seja, amostras passaram do grupo de matiz amarelo para grupos de matiz branco. A exclusão da variável C e a inclusão da variável h^* proporcionaram um ajuste na claridade, uma vez que o h guarda grande correlação (80%) com o L^* , tornando os grupos de cores mais homogêneos. Por meio do agrupamento visual, é possível obterem-se cores mais homogêneas dentro de um mesmo grupo. Todavia, torna-se mais difícil determinar a diversidade de nuances de cores que melhor representam os grupos de cores, além de sua subjetividade. Considerando o desvio padrão e o aspecto da amostra, foi observado que amostras com o desvio padrão do ângulo de tinta (h^*) abaixo de 1,00 apresentavam-se sem figura e acima desse valor, apresentavam-se com figura.

A colorimetria permite fazer uma homogeneização nos lotes de materiais usados para os diversos fins. Isto eleva a qualidade do material pelo aspecto particular cor. Esta propriedade é um fator chave na qualidade final de um produto. É importante ampliar e utilizar as inovações no campo de tecnologia da madeira. São estas técnicas que colaboram para um mercado mais competitivo, com produtos de qualidade superior exigidos mundialmente (GONÇALEZ *et al.*, 2001).

2.4 - PROPRIEDADES ACÚSTICAS

MARQUES *et al.*, 2006, avaliaram o efeito da secagem nas propriedades acústicas da madeira de marupá (*Simarouba amara*). As amostras da madeira foram submetidas a dois tratamentos: secagem em estufa e secagem ao ar livre. A secagem convencional foi conduzida por um período de tempo máximo de 52 horas e, a secagem ao ar livre, por um período de 47 dias. As propriedades acústicas foram avaliadas em testes de vibração forçada, sendo determinados a frequência de ressonância e o decaimento logarítmico. De acordo com a análise de variância, não houve diferenças significativas entre os tratamentos, indicando que a capacidade das amostras de marupá em absorver vibrações não foi alterada pelo tipo de secagem.

MACEDO e TUBINO (2005) analisaram as placas pré-moldadas de cimento (referência e com três diferentes teores de borracha – 5%, 10% e 15% – em substituição à parte do agregado miúdo em volume), quanto à possível melhora do isolamento acústico e ao comportamento das mesmas após a submissão a elevadas temperaturas, à profundidade de carbonatação e à frequência ultra-sônica. Essas placas foram ensaiadas na câmara de reverberação e no forno horizontal, atendendo à regulamentação da norma ISO 140-3, ISO 717-1 e NBR 10636. Analisando-se os resultados por meio do Índice de Redução Sonora (R), pôde-se perceber uma substancial melhora do isolamento acústico, à medida que as percentagens de borracha foram aumentadas. Dentre os resultados apresentados com elevadas temperaturas, pode-se dizer que não houve diferença substancial da área carbonatada antes e após a ação do fogo, o que não aconteceu no caso do ensaio de ultra-som, já que a área degradada apresentou aumento da velocidade de ultra-som, representando a degradação da matriz após o ataque do fogo.

KANG *et al.*, 2002, investigaram o efeito do teor de umidade e da temperatura no espectro da frequência da velocidade e do sinal de onda através de painéis de madeira. Descobriu-se que numa distância de 2,5 m somente baixas frequências estavam presentes no sinal transmitido, enquanto que em distâncias menores de 50,0 cm, a frequência muito mais elevada da ressonância do transdutor era dominante. Para placas verdes entre 0,5 e 2,5 ocorreram componentes de baixa e de alta frequência. O espectro da frequência foi monitorado em uma placa de 54,0 cm de comprimento sobre uma escala de temperaturas e de teor de umidade. Quando o teor de umidade estava abaixo de 30%, a forma de onda transmitida consistiu quase inteiramente na frequência da ressonância do transdutor, quando os teores de umidade eram mais elevados, componentes de baixa frequência predominavam. O espectro da frequência do

sinal transmitido foi afetado pouco pela temperatura, mas foi afetado pelo tipo de transdutores usados.

2.4.1 - *Stress wave*

O *stress wave* é um ensaio não-destrutivo onde são geradas ondas por meio de uma vibração produzida pelo impacto na peça em estudo. Mede-se a velocidade do som, cujo valor é utilizado na determinação da constante dinâmica (módulo de elasticidade dinâmico – MOE_d) (BODIG, 2001).

O *stress wave* utiliza baixos movimentos moleculares de tensão para medir duas propriedades fundamentais dos materiais: a energia armazenada e a dissipação. A energia armazenada manifesta-se por meio da velocidade com a qual a onda percorre o material. A dissipação de energia é indicada por meio da taxa sob a qual a onda é atenuada. Ensaio com *stress wave* podem ser utilizados para estimar propriedades de tração, flexão e ligação interna de compósitos de madeira (ROSS e PELLEGRIN, 1988).

Jayne (1958), citado por ROSS e PELLEGRIN (1988), estabeleceu a hipótese de que essas propriedades são controladas pelos mesmos mecanismos que determinam o comportamento mecânico do material. Daí seria possível estabelecer relações matemáticas entre as ondas de tensão e as propriedades mecânicas estáticas do material, pelo emprego de análise de regressão.

O aparelho que permite a aplicação de ondas acústicas e a medição das mesmas constitui-se de dois transdutores acelerômetros, que são ligados ao material a ser avaliado. Uma onda acústica é induzida ao material, ao tocá-lo com um martelo, um pêndulo ou outro meio. Quando essa onda encosta no acelerômetro de partida, uma contagem de tempo, em microssegundos, é iniciada no instrumento. Quando essa mesma onda atinge o acelerômetro de parada, a contagem de tempo cessa, o aparelho registra e mostra o tempo decorrido de trânsito da onda de tensão entre os acelerômetros ao longo do material (METRIGUARD, 1998).

De posse da distância percorrida, do tempo e da densidade do material, calcula-se a velocidade de propagação da onda e o módulo de elasticidade dinâmico com base nas Equações 2.1 e 2.2.

$$v = L / (t 10^{-6}) \quad (\text{Equação 2.1})$$

$$MOE_{_d} = [(v^2 D) / g] 10^{-5} \quad (\text{Equação 2.2})$$

onde:

v = velocidade de propagação da onda, m/s;

L = distância percorrida pela onda, m;

t = tempo de trânsito da onda, μ s;

MOE_{_d} = módulo de elasticidade dinâmico, MPa;

D = densidade do painel, kg/m³;

g = aceleração da gravidade, 9,804 m/s²

HAN *et al.* (2006) estudaram o efeito da umidade na velocidade de propagação, usando *stress wave timer*, em OSB, compensado, painel de partículas e madeira serrada. Mostrou-se que velocidade de onda diminui com aumento do teor de umidade do painel. A velocidade variou de acordo com o sentido da medição e o tipo do painel. Foram estabelecidas equações de regressão que relacionam a velocidade de onda ao teor de umidade e ao módulo de elasticidade (MOE) e o módulo da ruptura (MOR) foram estabelecidos para os vários produtos. O MOE e o MOR podem ser estimados observando a velocidade da propagação de uma onda longitudinal. Esta informação é útil para desenvolver fatores de correção entre umidade e propriedades relacionadas para painéis de madeira.

NZOKOU *et al.* (2006), estudaram a relação entre o módulo de elasticidade dinâmico (MOE_{_d}) em ensaio não-destrutivo e o módulo de elasticidade estático (MOE_{_s}), em compostos comerciais de madeira-plástico. Foi avaliado potencial de usar a técnica não-destrutiva como ferramenta de classificação para os compósitos madeira-plástico, como é feito atualmente para a madeira serrada. O MOE dinâmico foi avaliado em um sistema informatizado modelo 340 E da Metriguard, e o MOE estático das mesmas placas, medido em uma máquina universal Instron modelo 5587, de acordo com a ASTM D - 6109. Os resultados mostraram que os valores do MOE dinâmico são superestimados, de 3,5% a 17,6% dependendo da distância percorrida ao longo do material. Segundo os autores, a análise de regressão não mostrou nenhuma correlação significativa entre o MOE dinâmico e o MOE estático para plástico-madeira, sugerindo que a técnica pode não ser apropriada para estimar o MOE estático nesse material. A tendência, entretanto, precisa ser confirmada por um teste adicional usando tamanho de amostra maior e combinações diferentes de matérias-primas.

3 - MATERIAL E MÉTODOS

Esta pesquisa foi desenvolvida no Laboratório de Produtos Florestais – LPF do Serviço Florestal Brasileiro – SFB e na Universidade de Brasília.

Para a produção de painéis reconstituídos e de cimento, os principais materiais utilizados foram resíduos lignocelulósicos (partículas de madeira) e resíduos do processo de recauchutagem de pneu (partículas de borracha). Foram feitos painéis com esses materiais, variando-se os tratamentos em função da proporção de partículas de borracha de pneu na mistura.

3.1 - SELEÇÃO E PREPARO DOS MATERIAIS

Os materiais utilizados para a confecção dos compósitos madeira-borracha-resina foram partículas de madeira, raspas de borracha de pneu (em forma de partículas) e adesivo, fenol-formaldeído.

Os materiais utilizados para a confecção dos compósitos cimento-madeira-borracha foram partículas de madeira, raspas de borracha de pneu (partículas), cimento, água e aditivo acelerador de cura (CaCl_2).

3.1.1 - Partículas de madeira

A madeira utilizada neste trabalho foi *Pinus taeda*, com 18 anos, proveniente do Paraná, na forma de *flakes*. Os *flakes* foram triturados num triturador agrícola e as partículas de madeira resultantes foram então processadas num moinho de martelo (Figura 3.1).

A utilização de *Pinus taeda* deveu-se ao fato dessa espécie, por ser uma conífera, apresentar baixo índice de inibição na cura do cimento, mesmo sem tratamento de partículas. As madeiras de coníferas são também as mais empregadas mundialmente na produção de painéis cimento-madeira.



a



b

Figura 3.1- Triturador agrícola (a) e moinho de martelo (b).

Após a moagem, foi feita a classificação mecânica das partículas, utilizando-se a série de peneiras de 8, 20 e 35 *mesh* e fundo (Figura 3.2).



Figura 3.2 - Classificador de partículas quanto à granulometria.

Após a classificação, foram selecionadas as partículas que permaneceram nas peneiras 35 *mesh*, para serem utilizadas nas capas dos painéis, e 20 *mesh*, para o miolo dos mesmos (Figura 3.3).



Figura 3.3 - Partículas de madeira: 35 *mesh* (a) e 20 *mesh* (b).

As partículas de madeira selecionadas foram submetidas à secagem em estufa elétrica ventilada por aproximadamente 3 h, a 70 °C, até atingirem 5% de teor de umidade.

Para medição do teor de umidade antes e após a secagem, foi utilizado medidor de umidade infra-vermelho (Figura 3.4).



Figura 3.4 - Medidor de umidade infra-vermelho: aberto (esquerda) e fechado (direita).

3.1.2 – Partículas de borracha de pneu

As partículas de borracha utilizadas foram “raspas” oriundas do processo de recauchutagem de pneus de caminhões e ônibus. Esse material foi doado por uma empresa de recauchutagem localizada em Brasília.

As raspas foram classificadas segundo sua granulometria, da mesma forma que as partículas de madeira, utilizando-se uma série de peneiras de 8, 20 e 35 *mesh* e fundo.

As partículas que ficaram na peneira 35 *mesh* (Figura 3.5) foram selecionadas para a confecção dos painéis.

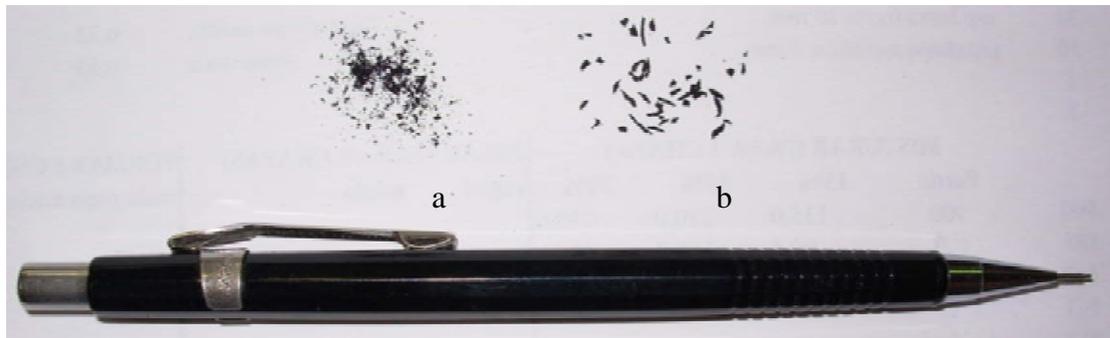


Figura 3.5 - Partículas de borracha: fundo (a) e 35 *mesh* (b).

3.1.3 - Resina fenol-formaldeído

Para a confecção dos compósitos de madeira-borracha-resina, foi usada a resina fenol-formaldeído (FF), Cascophen HL 2080, apresentando 46,84% de sólidos de resina.

A resina foi coada, para eliminação de resíduos e grumos, e diluída em água para ajuste da viscosidade em aproximadamente 500 cP.

3.1.4 - Cimento Portland

Para confecção dos painéis cimento-madeira-borracha, foi utilizado o Cimento Portland CP II-Z 32, adquirido no comércio local de Brasília.

O cimento foi armazenado em local seco e peneirado antes da mistura, para retirada de qualquer impureza ou grumo.

3.2 - CONFECÇÃO DOS COMPÓSITOS

3.2.1 - Experimentos preliminares

Foram feitos alguns experimentos preliminares para verificar a possibilidade de misturar partículas de madeira com partículas de borracha de pneu, em duas linhas de investigação:

1^a - compósitos de partículas madeira-borracha-resina, com 15%, 30% e 45% de borracha (com base no peso seco total das partículas), e adição de 8% (IWAKIRI *et al.*, 2000; DACOSTA *et al.*, 2005; MENDONÇA, 2008) de resina fenólica (escolhida por sua resistência à umidade), com densidade média (0,65 g/cm³), segundo a NBR 14810-2:2002 e espessura de 13 mm. A borracha foi adicionada apenas na porção interna do painel (miolo). No primeiro teste, a prensagem ocorreu num tempo de 2 min (seguindo as indicações dadas pelo fabricante da resina no rótulo do produto), sob 60 MPa de pressão, a 150° C, não houve aglutinação das partículas neste ensaio. No segundo teste, o tempo de prensagem foi ampliado para 6 min, sendo que as partículas do miolo não se aglutinaram, apenas as das capas. No terceiro teste, os compósitos foram prensados por 8 min., tendo sido observado a consolidação do mesmos.

2^a - compósitos cimento-madeira-borracha, com 15%, 30% e 45% de borracha (em substituição a fração do cimento), relação madeira-cimento de 1:2,78 (BISON, 1978). A borracha foi adicionada apenas na porção interna do painel (miolo). No primeiro teste, os colchões dos tratamentos com 30% e 45% de borracha de pneu não se consolidaram. Foram, então, feitas novas tentativas com 30 e 45%, agora sem separação miolo-capas, conseguindo-se painéis com 30% de borracha (sem capas).

Antes de serem confeccionados os compósitos cimento-madeira-borracha, foram feitos testes de calor de hidratação do cimento para conhecer o comportamento da cura do cimento com a adição de borracha e de madeira de *Pinus taeda*.

As proporções 15%, 30% e 45% de borracha foram escolhidas porque, como se trata de um novo compósito, ainda não há parâmetros definidos. Essa amplitude de valores foi o primeiro passo em direção a se conhecer o comportamento dessas misturas.

Como os dois tipos de compósitos, madeira-borracha-resina e cimento-madeira-borracha, apresentaram tendências promissoras para constituírem-se em novos produtos, decidiu-se caminhar paralelamente com a caracterização tecnológica de ambos.

3.2.2 - Compósitos de partículas madeira-borracha-resina

Para confecção dos compósitos madeira-borracha-resina foram utilizados os seguintes parâmetros:

- Relação madeira-borracha: 100:0 (testemunha); 85:15; 70:30; 55:45
- Borracha adicionada apenas no miolo do compósito
- Resina: fenol-formaldeído
- Quantidade de resina: 8% (baseados no peso seco total de partículas)
- Relação capa-miolo-capo (peso) (em %): 15:70:15
- Massa específica do painel: $0,65 \text{ g/cm}^3$
- Dimensão do painel: 30 cm de largura por 30 cm de comprimento por 13 mm de espessura.
- Quantidade de painéis por tratamento: 2 unidades

As proporções de borracha de pneu testadas foram 0% (testemunha), 15%, 30% e 45%.

Após a pesagem, foi feita a mistura prévia dos materiais no misturador de partículas, usando uma pistola para aspersão da resina. O colchão foi montado manualmente, por meio da distribuição das camadas (capa-miolo-capo) em uma caixa formadora, ficando com aproximadamente 4,5 cm de altura (Figura 3.6).



Figura 3.6 - Formação do colchão de partículas.

Posteriormente o colchão foi levado a uma prensa de pratos planos (Figura 3.7). A prensagem foi feita a uma temperatura média de $150 \text{ }^\circ\text{C}$, por 8 min a 60 kgf/cm^2 de pressão. O resfriamento das chapas ocorreu à temperatura ambiente durante 12h.



Figura 3.7 - Prensagem do painel.

As chapas foram levadas para a sala de climatização (Figura 3.8), com $65\pm 2\%$ de umidade relativa e temperatura $20\pm 1^\circ\text{C}$ de temperatura, por 30 dias e posteriormente cortadas em corpos-de-prova (c.p.) para a realização dos testes físicos e mecânicos.



Figura 3.8 - Compósitos de partículas madeira-borracha-resina.

3.2.3 - Compósitos cimento-madeira-borracha

Para confecção dos painéis cimento-madeira-borracha foram utilizados os seguintes parâmetros:

- Relação madeira:cimento (testemunha): 1:2,78
- Relação cimento-borracha: 100:0 (testemunha); 85:15; 70:30
- Relação água:cimento: 1:2,5
- Percentagem de aditivo (CaCl_2): 3%
- Massa específica do painel: $1,25 \text{ g/cm}^3$
- Dimensão do painel: 30 cm de largura por 30 cm de comprimento por 13 mm de espessura.
- Quantidade de painéis por tratamento: 2 unidades
- Relação capa-miolo-capa (peso) (em %): 15:70:15

Os materiais foram pesados e misturados num misturador de partículas (Figura 3.9). A água foi adicionada à mistura por aspersão.



Figura 3.9 - Misturador de partículas.

Após a mistura, o colchão foi confeccionado manualmente, fazendo-se a distribuição em uma caixa formadora (Figura 3.10), na ordem capa-miolo-capas, para os compósitos com 0% e 15% de borracha, e em camada única para aqueles com adição de 30% de borracha. A altura aproximada do colchão foi de 4,0 cm.



Figura 3.10 - Formação do colchão cimento-madeira-borracha.

O colchão formado foi levado a uma prensa de pratos planos. A prensagem foi a frio, com pressão de aproximadamente 40 kgf/cm^2 . Após a prensagem, as chapas permaneceram grampeadas por 24h. A cura ocorreu em aproximadamente 28 dias, em câmara climatizada com condições controladas de umidade (65 ± 2)% e temperatura (20 ± 1) °C.

As chapas foram cortadas em corpos-de-prova (c.p.) para a realização dos testes físicos e mecânicos.

3.3 - REALIZAÇÃO DE ENSAIOS

Os ensaios dos corpos-de-prova foram realizados de acordo com as normas NBR 14810-3 (ABNT, 2002) – para os compósitos de partículas de madeira-borracha-resina e ASTM D 1037-99 (ASTM, 1998) – para os compósitos cimento-madeira-borracha, para a caracterização tecnológica do material produzido e a verificação de sua adequação para emprego no mercado de painéis.

3.3.1 - Teste de calor de hidratação do cimento

No teste de calor de hidratação do cimento foram usadas partículas de borracha de pneu que passaram na peneira 20 *mesh* e ficaram retidas na peneira 35 *mesh*, e partículas de madeira moídas, com a mesma granulometria, secas em estufa, com umidade de 5%.

O teste foi realizado utilizando-se um registrador híbrido de laboratório, modelo SD-100/H, com as misturas conforme a Tabela 3.1, em duas repetições para cada mistura. A proporção de partícula:cimento:água foi estabelecida em gramas. A determinação do índice de inibição da hidratação ocorreu por meio da Equação 3.1.

Tabela 3.1 - Misturas usadas no teste de hidratação.

Mistura	Relação partículas:cimento:água (g)
Cimento:água	100:45,25
Borracha:cimento:água	7,5: 100:45,25
Borracha:cimento:água	15: 100:45,25
Borracha:cimento:água	30: 100:45,25
Madeira:cimento:água	7,5: 100:45,25

$$I = \{[(T_{CIM} - T_M) / T_{CIM}] [(H_M - H_{CIM}) / H_{CIM}] [(S_{CIM} - S_M) / S_{CIM}] 100\} \quad (\text{Equação 3.1})$$

em que:

I = índice de inibição (%)

T_{CIM} = temperatura máxima da mistura cimento:água (°C)

T_M = temperatura máxima da mistura partícula:cimento:água (°C)

H_{CIM} = tempo para a mistura cimento:água alcançar a temperatura máxima (h)

H_M = tempo para a mistura partícula:cimento:água alcançar a temperatura máxima mistura (h)

S_{CIM} = máximo incremento da curva da mistura cimento:água (°C/h)

S_M = máximo incremento da curva da mistura partícula:cimento:água (°C/h)

3.3.2 - Massa específica aparente

Para determinação da massa específica aparente, foi feita a pesagem e a medição da espessura, da largura e do comprimento de cada corpo-de-prova.

3.3.3 - Flexão estática

Para realização dos ensaios de flexão estática, os corpos de prova foram cortados nas dimensões 5 x 26 cm, para obtenção do módulo de ruptura (MOR) e módulo de elasticidade (MOE) (Figura 3.11). Foram feitas 2 medições na seção transversal de cada corpo-de-prova.

As amostras estavam sob climatização para estabilização da umidade a 12%.

O ensaio foi realizado utilizando-se a máquina universal de ensaios Instron 1127, com vão livre de 200 mm. A velocidade de carregamento adotada foi de 4,5 mm/min (compósito cimento-madeira-borracha) e 7,0 mm/min (compósito madeira-borracha-resina) e o raio de cabeça de carga, de 30 mm.



Figura 3.11 - Ensaio de flexão estática.

3.3.4 - Inchamento em espessura (após 2 e 24 horas)

O teste de inchamento em espessura foi realizado em corpos-de-prova medindo 5 x 5 cm. Efetuaram-se 5 medições de espessura em cada corpo-de-prova (Figura 3.12) antes da imersão em água, depois de 2 h de imersão e após 24 h.



Figura 3.12 - Medição da espessura dos corpos-de-prova.

3.3.5 - Absorção de água (após 2 e 24 horas)

O teste de absorção de água foi feito em corpos-de-prova medindo 5 x 5 cm (os mesmos utilizados nos testes de inchamento). As amostras foram pesadas antes da imersão em água, depois de 2h de imersão e após 24h.

3.3.6 - Dureza Janka

O teste de dureza Janka foi feito em corpos-de-prova medindo 5 x 10 cm, realizando-se 2 medições na superfície de cada corpo-de-prova (Figura 3.13).



Figura 3.13 - Ensaio de dureza Janka.

Para a realização desse ensaio, foi utilizada a máquina universal Instron, com velocidade de carregamento de 6 mm/min.

3.3.7 - Ligação interna

O ensaio de ligação interna foi realizado em amostras de 5 x 5 cm (Figura 3.14). Mediu-se a largura e o comprimento de cada corpo-de-prova. Esses foram colados a blocos de tração, próprios à execução do teste.



Figura 3.14 - Ensaio de ligação interna.

Para a realização do ensaio, foi utilizada a máquina universal Instron. A velocidade de carregamento adotada foi de 4,0 mm/min.

3.3.8 - Arrancamento de parafuso

O ensaio de arrancamento de parafuso foi realizado em corpos-de-prova de 5x10 cm (Figura 3.15), com um furo central, onde foi colocado um parafuso.



Figura 3.15 - Ensaio de arrancamento de parafuso.

Para a realização desse ensaio, foi utilizada a máquina universal Instron. A velocidade de carregamento adotada foi de 15,0 mm/min.

3.3.9 - Colorimetria

Para caracterização dos compósitos, foram obtidos os parâmetros colorimétricos L^* , a^* e b^* , utilizando-se o espectrofotômetro (Datacolor International Microflash – Model 200), luz incandescente (iluminante A1) e ângulo do observador 10° , de acordo com o Sistema CIE $L^*a^*b^*$. Os parâmetros C e h^* foram determinados por meio das equações 3.2 e 3.3:

$$C = (a^{*2} + b^{*2})/2 \quad (\text{Equação 3.2})$$

$$h^* = \tan^{-1} (b^*/a^*) \quad (\text{Equação 3.3})$$

onde:

C = saturação (varia de 0 a 60)

a^* = tonalidade eixo verde-vermelho (varia de - 60 a + 60)

b^* = tonalidade eixo azul-amarelo (varia de - 60 a + 60)

h^* = ângulo de tinta (0° a 90°)

As amostras de cada tipo de compósito, nas dimensões de 30,0 x 30,0 cm, secas ao ar (em torno de 12% de teor de umidade), foram acondicionadas em ambiente sem luz para manter a condição de recém-produzidas. Em cada uma das chapas foram realizadas 20 medições, sendo 10 em cada uma das faces. O número de tomadas de medida foi baseado em testes prévios realizados por CAMARGOS *et al.* (2001), nos quais se constatou que a variação da cor da madeira torna-se constante acima de 10 medições.

3.3.10 - Propriedades acústicas

Também foi feita a avaliação não-destrutiva dos compósitos, por meio da técnica de propagação de ondas de tensão, utilizando o equipamento Metriguard *model 239A Stress Wave Timer* (Figura 3.16). O equipamento mede o tempo de passagem da onda entre a fonte geradora da tensão (pêndulo) e a fonte receptora da onda.

Primeiramente foi feita a calibração do equipamento, conforme procedimento recomendado no manual do equipamento. Após calibração, o aparelho foi usado para medir o tempo (em micro-segundos) que uma onda levou para percorrer 25 cm de distância nos compósitos. Os ensaios determinaram a velocidade de propagação de onda. Foram feitas 4 medições por painel.



Figura 3.16 - *Stress Wave Timer*.

Por meio desse ensaio também determinou-se o módulo de elasticidade dinâmico (MOE.d) (teste não-destrutivo) que foi comparado ao módulo de elasticidade estático (MOE), obtido no teste de flexão estática (teste destrutivo).

3.5. DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E ANÁLISE DOS RESULTADOS

O delineamento inteiramente casualizado (DIC) foi utilizado neste trabalho. O número de repetições variou de acordo com o ensaio, sendo em sua maioria, 10 repetições por tratamento.

Para análise dos dados usou-se a análise de variância (Anova), em função da proporção de borracha de pneu utilizada nos compósitos.

Para comparação entre o módulo de elasticidade dinâmico (MOE.d) e o módulo de elasticidade estático (MOE.e), foi feita análise de regressão.

As diferenças entre tratamentos foram averiguadas utilizando-se o Teste de Tukey, a 5% de significância.

Para o cálculo das análises estatísticas utilizou-se o programa estatístico Statistical Program for Social Sciences (SPSS), versão 13.0, como ferramenta auxiliar.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A caracterização tecnológica dos compósitos (partículas madeira-borracha-resina e cimento-madeira-borracha) é de fundamental importância para a determinação de suas utilizações. As propriedades físicas, mecânicas, colorimétricas e acústicas irão mostrar a viabilidade dos produtos obtidos e auxiliar na maximização de usos.

4.1 - COMPÓSITOS DE PARTÍCULAS MADEIRA-BORRACHA-RESINA

4.1.1 - Propriedades físicas e mecânicas

Entre as variáveis do processo produtivo, as propriedades físicas e mecânicas dos compósitos são de grande importância para determinação de sua adequada aplicação.

É oportuno lembrar os tratamentos estudados: A0 = testemunha; A15 = contém 15% de borracha; A30 = contém 30%; e A45 = contém 45%. Todos os compósitos formados tinham 8% de resina. O tempo de prensagem foi de 8 minutos.

Conforme se pode observar na Figura 4.1, as massas específicas aparentes (MEA) de todos os tratamentos não tiveram diferenças significativas entre si, pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade. De acordo com a norma NBR 14810-2:2002, os compósitos foram classificados como de média densidade (de 0,551 a 0,750 g/cm³).

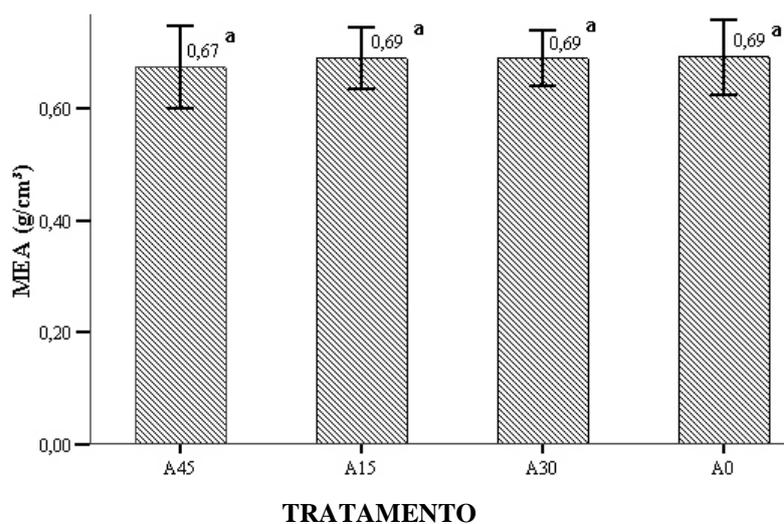


Figura 4.1 - Massa específica aparente em função dos tratamentos.

O módulo de ruptura (MOR) decresceu com o aumento da adição de borracha à mistura (Figura 4.2).

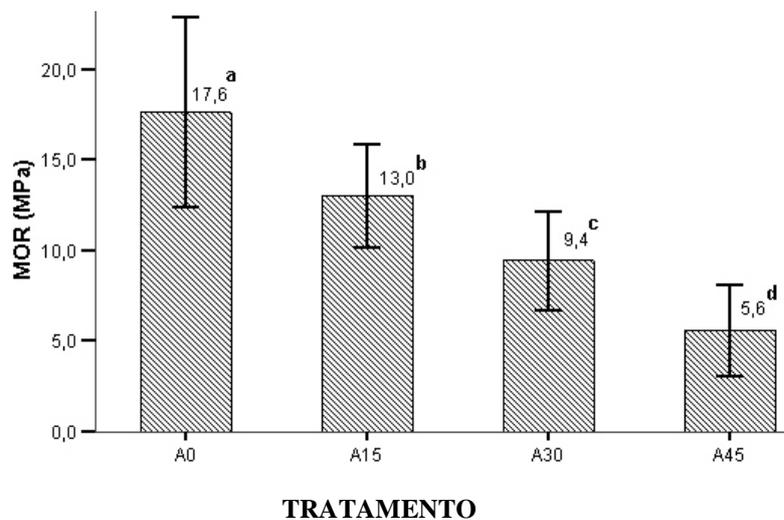


Figura 4.2 - Módulo de ruptura em função dos tratamentos.

A norma de comercialização ANSI A 208.1 das chapas de partículas de média densidade (entre 0,59 e 0,8 g/cm³) admite como valor mínimo requerido 112 kgf/cm² (≈11 MPa) de MOR. Esse valor foi atingida pelo compósito com adição de 15% de borracha e pela testemunha.

O valor mínimo de MOR estabelecido pela norma NBR 14810-2:2002, para chapas com espessura variando entre 8 e 13 mm, é 18 MPa. Os compósitos contendo borracha não atenderam a essa norma.

A norma DIN estabelece 160 kgf/cm² (15,68 MPa) como valor mínimo aceitável para o MOR, valor não alcançado pelos compósitos contendo borracha.

IWAKIRI *et al.* (2000) encontraram o MOR variando de 74,13 a 134,16 kgf/cm² (7,26 a 13,15 MPa), em chapas de *Eucayptus* spp. com 8% de resina uréia formaldeído e densidade 0,75 g/cm³, prensados por 8 min. Observou-se que os compósitos de madeira-borracha não ultrapassaram 0,69 g/cm³ de massa específica. Isso pode ter influenciado o menor valor de MOR dos compósitos estudados.

IWAKIRI *et al.* (2005b) obtiveram chapas com MOR na ordem de 147 kgf/cm² (14,4 MPa), usando *Pinus taeda* e *P. elliottii* com 0,70 g/cm³ de densidade feitas com resina uréia-

formaldeído (10%), prensadas por 10 min. Isso indica que o aumento do tempo de prensagem dos compósitos pode levar a uma melhoria nas suas características tecnológicas.

DACOSTA *et al.* (2005), trabalhando com chapas de resíduos (cavacos e maravalhas) de *Pinus elliottii* com 8% de uréia formaldeído, densidade de 0,6 e 0,7 g/cm³ e prensagem por 8 min. encontraram MOR entre 65,65 e 96,11 kgf/cm² (6,43 a 9,42 MPa). Verificou-se que os valores encontrados para os compósitos estudados apresentaram proximidade com o dessa pesquisa. BERNARDI e VERNEY (2006) estudaram a reciclagem de chapas de madeira aglomerada, usando resina uréia formaldeído, com densidade de 0,6 g/cm³, prensados por 3 minutos e encontraram um MOR de 450,9 N (4,5 MPa). Novamente, a massa específica parece ter influência nos módulos de ruptura.

Da mesma forma que o módulo de ruptura, o módulo de elasticidade (MOE) decresceu com a elevação do teor de borracha na mistura (Figura 4.3).

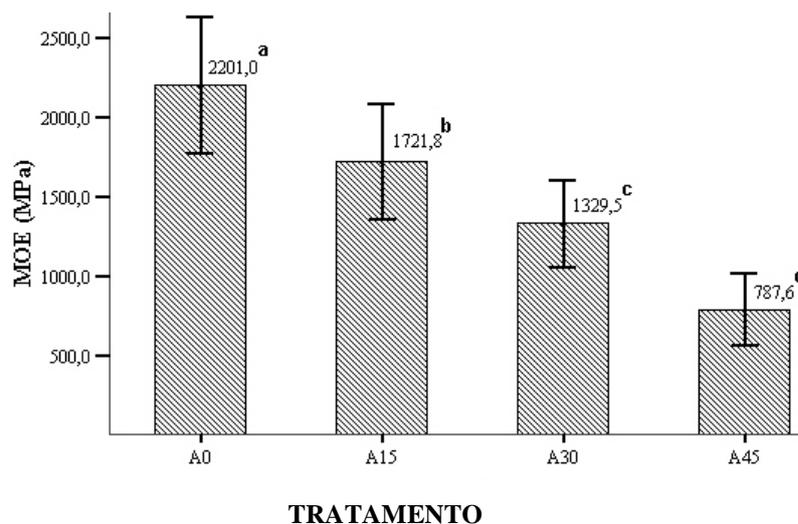


Figura 4.3 - Módulo de elasticidade em função dos tratamentos.

A norma de comercialização ANSI A 208.1 das chapas de partículas de média densidade (entre 0,59 e 0,8 g/cm³) admite como valor mínimo requerido 17602 kgf/cm² (\approx 1725MPa) para MOE. Apenas o compósito com adição de 15% de borracha e a testemunha atingiram esse valor. IWAKIRI *et al.* (2000) encontraram o MOE variando de 15.296 a 22.068 kgf/cm² (1499 a 2163 MPa), em chapas de *Eucayptus* spp. com densidade de 0,75 g/cm³, prensadas por 8 min. Conforme encontrado para o MOR, a densidade pode ter influenciado nos valores do MOE obtidos neste trabalho.

IWAKIRI *et al.* (2005b) obtiveram chapas com MOE na ordem de 21.393 kgf/cm² (2096,5 MPa), usando *Pinus taeda* e *P. elliottii* com 0,70 g/cm³ de densidade feitas com resina uréia-formaldeído, prensadas por 10 min. Da mesma forma que o encontrado para o MOR, isso permite afirmar que se o tempo de prensagem dos compósitos madeira-borracha-resina for aumentado pode haver uma melhoria nas suas características tecnológicas.

Enquanto que DACOSTA *et al.* (2005) trabalhando com chapas de resíduos (cavacos e maravalhas) de *Pinus elliottii* com 8% de uréia formaldeído, densidade de 0,6 e 0,7 g/cm³ e prensagem por 8 min. encontraram um MOE entre 6636 e 11826 kgf/cm² (650 a 1159 MPa). Verificou-se que os compósitos estudados mostraram valores de MOE superiores àqueles, o que demonstra a importância do tamanho e do formato das partículas e da utilização da resina fenólica para obtenção de melhores resultados.

O inchamento em espessura (IE) após 2 h dos compósitos foi menor para o tratamento com adição de 45% de borracha, seguido do tratamento com 30%, de acordo com a Figura 4.4. A testemunha e o tratamento com 15% de borracha são estatisticamente iguais, ao nível de probabilidade de 5%, pelo teste Tukey. Isso demonstra a menor higroscopicidade da mistura devido à presença de borracha. IWAKIRI *et al.* (2000) encontraram o IE 2 h variando de 16,76% a 30,60%, em chapas de *Eucalyptus* spp. com 8% de resina uréia formaldeído, densidade 0,75 g/cm³ e prensagem durante 8 min.

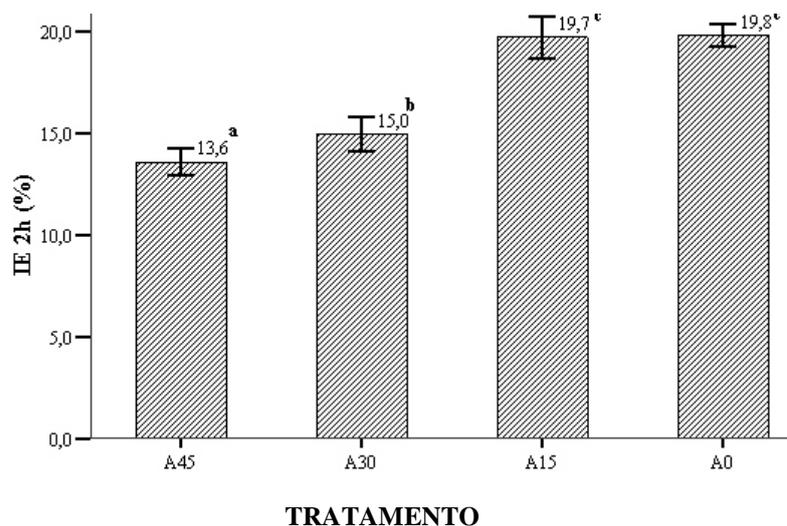


Figura 4.4 - Inchamento em espessura após 2h em função dos tratamentos.

O inchamento máximo após 2 h admitido pela norma NBR 14810-2:2002, para chapas com espessura variando entre 8 e 13 mm, é 8 %.

BERNARDI e VERNEY (2006) estudaram a reciclagem de chapas de madeira aglomerada, prensadas por 3 minutos, com densidade de $0,6 \text{ g/cm}^3$, usando resina uréia formaldeído, e encontraram um IE 2 h de 6,29%, esse baixo valor, quando comparado com os compósitos estudados, pode ser devido às partículas serem provenientes de resíduos de chapas, ou seja, já continham resina envolvendo as partículas de madeira, tornando-as, assim, mais impermeáveis.

O inchamento em espessura (IE) dos compósitos após 24 h (Figura 4.5) comportou-se de maneira similar ao de 2 h, com um menor acréscimo no tratamento com 45% de borracha de pneu, reiterando o resultado anterior de que a borracha reduz a aptidão do compósito de madeira para inchar na presença de água. IWAKIRI *et al.* (2000) encontraram o IE 24 h variando de 30,10 a 38,81%, em chapas de *Eucalyptus* spp. com 8% de resina uréia formaldeído, densidade $0,75 \text{ g/cm}^3$ e prensagem durante 8 min. Esses dados demonstram que a presença de borracha no compósito de fato diminuiu seu inchamento.

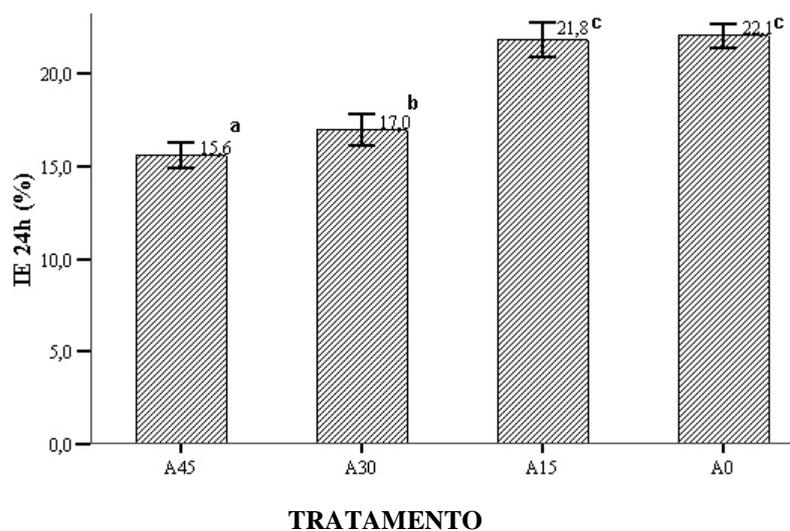


Figura 4.5 - Inchamento em espessura após 24h em função dos tratamentos.

IWAKIRI *et al.*, (2005b) encontraram um inchamento em espessura após 24 h de 25,74% em chapas de *Pinus taeda* e *P. elliottii* com $0,70 \text{ g/cm}^3$ de densidade feitas com resina uréia-formaldeído. Isso mostra a maior propensão dos compósitos à base de UF em inchar na presença de água.

A absorção de água (AA) após 2 h pelos compósitos foi mais baixa nos tratamentos com maiores adições de borracha (45% e 30%), conforme observado na Figura 4.6. Isso demonstra a menor presença de espaços vazios e de aptidão do material em reter água.

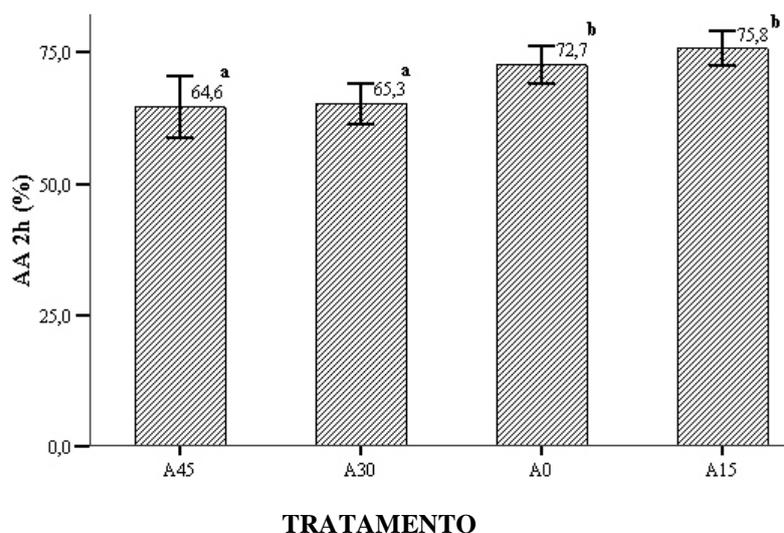


Figura 4.6 - Absorção de água após 2h em função dos tratamentos.

IWAKIRI *et al.* (2000) encontraram uma AA 2 h variando de 21,56 a 41,74 %, em chapas de *Eucayptus* spp. com 8% de resina uréia formaldeído, densidade 0,75 g/cm³ e prensagem durante 8 min. Esses valores são bem inferiores aos encontrados nos compósitos madeira-borracha-resina deste estudo, o que pode ser devido a maior densidade daqueles. Porém a menor AA pelos compósitos com maiores teores de borracha confirmam a menor afinidade por água destes.

A absorção de água (AA) pelos compósitos após 24 h de imersão comportou-se de forma semelhante ao da absorção após 2h (Figura 4.7). IWAKIRI *et al.*, 2000, encontraram a AA 24 h variando de 48,05 a 58,33%, em chapas de *Eucayptus* spp. com 8% de resina uréia formaldeído, densidade 0,75 g/cm³ e prensagem durante 8 min. Isso confirma que um compósito com maior densidade pode ter suas características físicas melhoradas.

Essa propriedade é importante para indicar os compósitos com maior teor de borracha para usos onde a umidade seja fator limitante ao emprego de painéis de madeira.

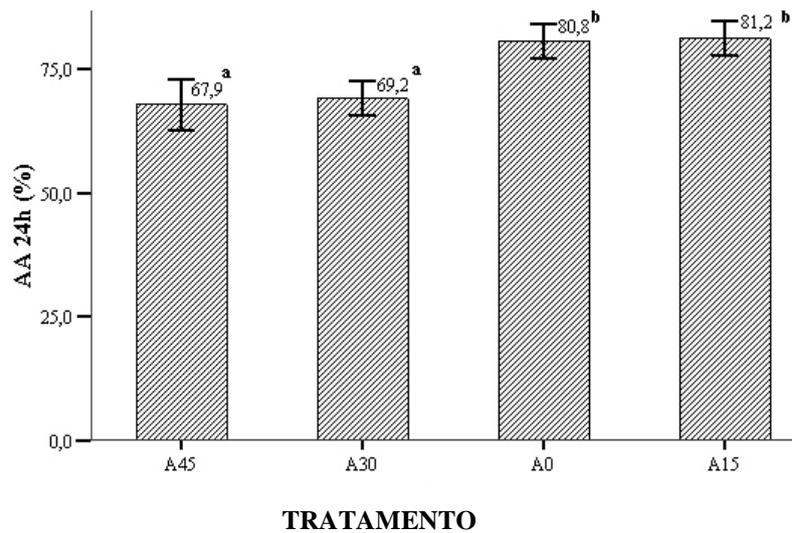


Figura 4.7 - Absorção de água após 24h em função dos tratamentos.

A dureza Janka (D) dos compósitos teve tendência de diminuir com a adição de borracha, conforme mostrado na Figura 4.8, havendo diferença significativa entre todos os tratamentos.

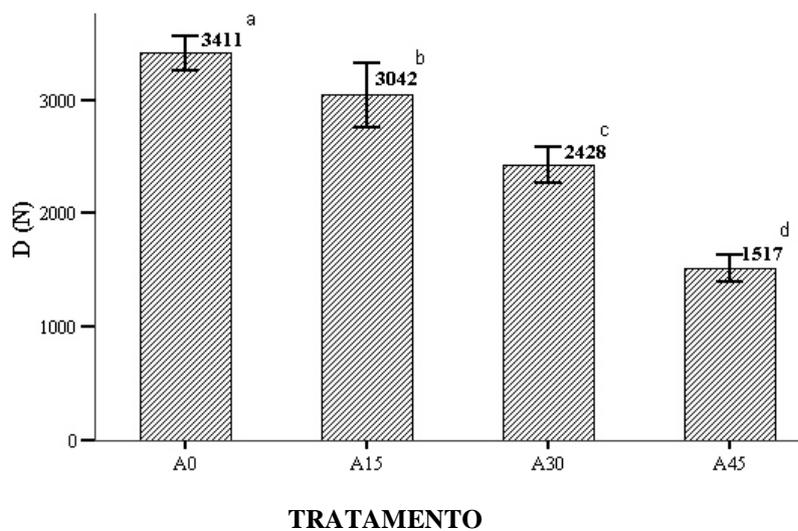


Figura 4.8 – Dureza Janka em função dos tratamentos.

A norma NBR 14810-2:2002 estabelece como resistência superficial mínima, para chapas com espessura variando entre 8 e 13 mm, 1 MPa (100 N). Essa propriedade foi alcançada por todos os tratamentos.

A ligação interna (LI) dos compósitos tende a decrescer com o acréscimo de borracha (Figura 4.9), o que pode ser explicado pela provável redução da aderência entre partículas de gêneros distintos (madeira e borracha) que não estabelecem ligações com a mesma intensidade que partículas mais propensas a formarem ligações iônicas, por exemplo.

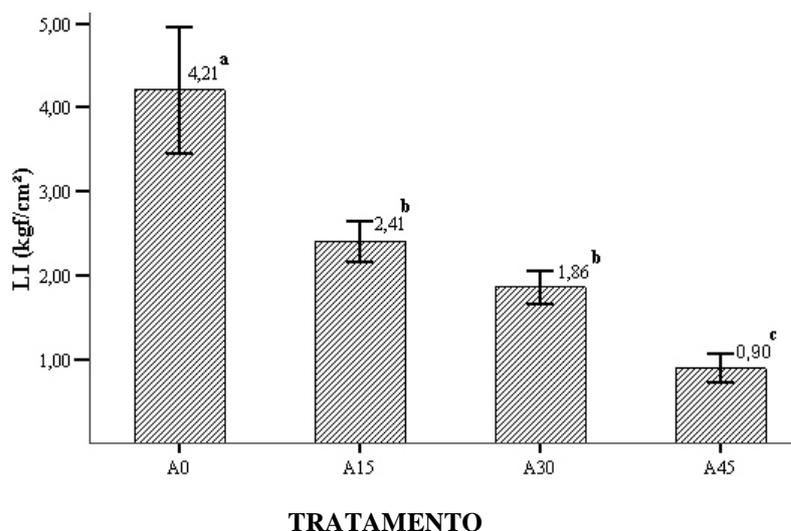


Figura 4.9 - Ligação interna em função dos tratamentos.

A norma de comercialização ANSI A 208.1 de chapas de partículas de média densidade (entre 0,59 e 0,8 g/cm³) admite como valor mínimo requerido 4,22 kgf/cm² para LI. Já a norma DIN admite como LI mínimo 3,5 kgf/cm². Esses valores não foram alcançados pelos compósitos adicionados de borracha.

O valor mínimo de LI estabelecido pela norma NBR 14810-2:2002, para chapas com espessura variando entre 8 e 13 mm, é 0,40 MPa (4,08 kgf/cm²), não alcançado pelos compósitos contendo borracha em sua constituição.

IWAKIRI *et al.* (2000) encontraram LI variando de 7,63 a 12,77 kgf/cm², em chapas de *Eucayptus* spp. com 8% de resina uréia formaldeído, densidade 0,75 g/cm³ e prensagem durante 8 min. Nesse caso, os maiores valores de LI podem ser devidos à maior densidade do painel. IWAKIRI *et al.* (2005b) obtiveram chapas com ligação interna na ordem de 9,99 kgf/cm², usando *Pinus taeda* e *P. elliottii* com 0,70 g/cm³ de densidade feitas com resina uréia-formaldeído, prensadas por 10 min. Com base nesses dois trabalhos, poder-se-ia supor que o aumento da massa específica e do tempo de prensagem dos compósitos em estudo levariam à obtenção de compósitos com ligações internas superiores.

A Figura 4.10 mostra o aspecto dos corpos-de-prova dos diferentes tratamentos, após a realização do ensaio de ligação interna. A ruptura, de modo geral, tendeu a se estabelecer de forma descentralizada, na zona limítrofe capa-miolo.

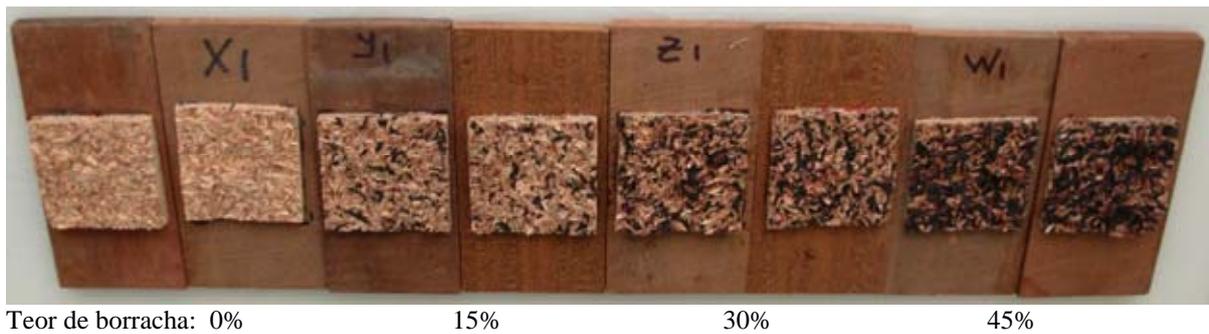


Figura 4.10 - Corpos-de-prova submetidos ao ensaio de ligação interna.

DACOSTA *et al.* (2005) encontraram valores de LI variando de 1,18 a 2,08 kgf/cm³ em chapas feitas com maravalhas e cavacos.

Moslemi (1974), citado por DACOSTA *et al.* (2005), comenta também que, com o uso de partículas longas e finas e o emprego de uma mesma quantidade de adesivo, o valor de ligação interna é menor quando comparada às chapas feitas com partículas curtas e espessas. Ou seja, a geometria das partículas também é ponto de destaque para a obtenção de compósitos mais resistentes.

O arrancamento de parafuso (AP) perpendicular (na face) dos compósitos é uma propriedade que também decresceu com o incremento da quantidade de borracha (Figura 4.11), mostrando também a menor associação entre as partículas de madeira e borracha.

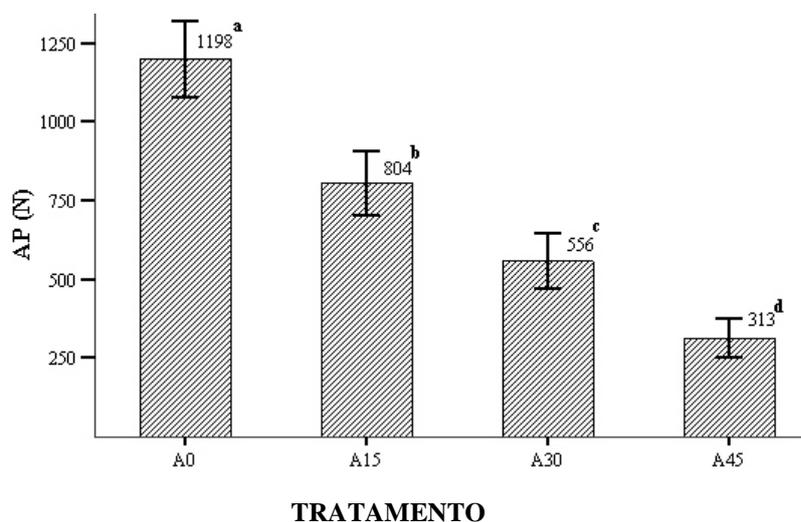


Figura 4.11 - Arrancamento de parafuso perpendicular em função dos tratamentos.

Os valores médios de arrancamento de parafuso variaram de 313 a 1.198 N. Em comparação com a norma ANSI A 208.1, cujo valor mínimo requerido é de 1.100 N e a norma DIN, que

específica 100 kgf/cm² (980 N) para chapas aglomeradas de média densidade, observa-se que os compósitos contendo borracha testados não alcançaram os valores de norma.

DACOSTA *et al.* (2005) encontraram o AP entre 46 e 75 kgf (451 a 735 N) trabalhando com chapas de resíduos (cavacos e maravalhas) de *Pinus elliottii* com 8% de uréia formaldeído, densidade de 0,6 e 0,7 g/cm³ e prensagem por 8 min. Esses valores estão parecidos com os tratamentos A15 e A30 desta pesquisa.

Moslemi (1974), citado por DACOSTA *et al.* (2005), comenta que a resistência ao arrancamento de parafusos (AP) aumenta em chapas de maior densidade e com nível mais elevado de adesivo.

4.1.2. Características colorimétricas

A avaliação colorimétrica de cada tipo de composto tem importância na determinação de suas curvas espectrais, na determinação de sua cor que ajudará em seu uso e em possíveis correlações com outros parâmetros.

Os valores médios das características colorimétricas dos compósitos de partículas madeira-borracha-resina são apresentados na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Média e desvio padrão (DP) dos parâmetros colorimétricos dos compósitos madeira-borracha-resina, de acordo com os tratamentos.

Parâmetros	L*		a*		b*		C		h*	
	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP
A0	52,11 ^a	1,02	6,80 ^a	0,25	19,80 ^a	0,57	20,94 ^a	0,60	71,05 ^a	0,46
A15	54,02 ^b	1,17	6,91 ^a	0,12	20,88 ^c	0,60	21,99 ^c	0,56	71,67 ^a	0,60
A30	53,13 ^{ab}	0,61	6,93 ^a	0,13	20,19 ^{ab}	0,22	21,34 ^{ab}	0,23	71,06 ^a	0,33
A45	53,01 ^{ab}	1,23	6,99 ^a	0,21	20,35 ^b	0,26	21,52 ^b	0,21	71,04 ^a	0,68

*. Média e desvio padrão dos parâmetros colorimétricos, conforme a percentagem de borracha no compósito. Numa mesma variável, valores seguidos pelo mesmo índice, em uma mesma coluna, não apresentam diferença significativa pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

Os resultados mostram que, apesar de haver diferenças significativas das médias de alguns parâmetros, seus valores são bastante próximos, indicando que a adição de borracha no interior do compósito quase não influenciou sua aparência externa.

A adição de borracha em 15% (A15) escureceu ligeiramente o compósito, de forma significativa, quando comparado com a testemunha (A0), sendo a combinação das

coordenadas a^* e b^* as responsáveis. Por outro lado, a continuidade da adição de borracha (A30 e A45) não alterou a claridade (L^*) dos compósitos, mesmo em relação à testemunha. Provavelmente o ligeiro aumento da coordenada a^* (responsável pela coloração vermelho-verde) foi compensada pelo aumento da coordenada b^* (coloração amarelo-azul). O tempo de prensagem (8 minutos) para os compósitos pode ter influenciado na formação de suas cores, havendo oxidação dos componentes químicos das matérias-primas e conseqüentemente uma maior estabilização das cores.

Comparando-se as coordenadas a^* e b^* verifica-se uma forte influência da coordenada b^* (coloração amarela) na determinação da cor dos compósitos (Figura 4.12). Pelo observação a olho nu, verificou-se a dominância da coloração amarela nas amostras testadas (Figura 4.13).

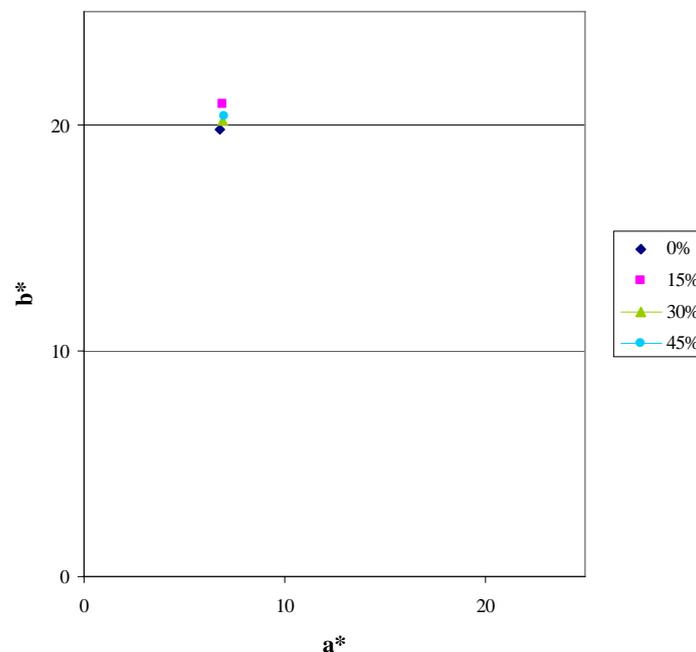


Figura 4.12 - Projeção dos valores médios de a^* e b^* para os compósitos estudados.



Figura 4.13 - Amostras de compósitos, segundo percentagem de borracha (0, 15, 30 e 45%).

A Figura 4.14 mostra as curvas de refletâncias dos compósitos de madeira-borracha-resina, feitos com diferentes proporções de borracha, em função do comprimento de onda. As curvas apresentam-se bastante similares, principalmente nos comprimentos de onda mais baixos. No entanto, cada compósito (cada tratamento) tem sua assinatura espectral própria. O tratamento sem adição de borracha (A0) se diferencia dos demais, nos comprimentos de onda mais altos. A refletância mais acentuada dos compósitos adicionados de borracha pode ser atribuída à presença de resina combinada à borracha, tornando o material mais amarelo-avermelhado.

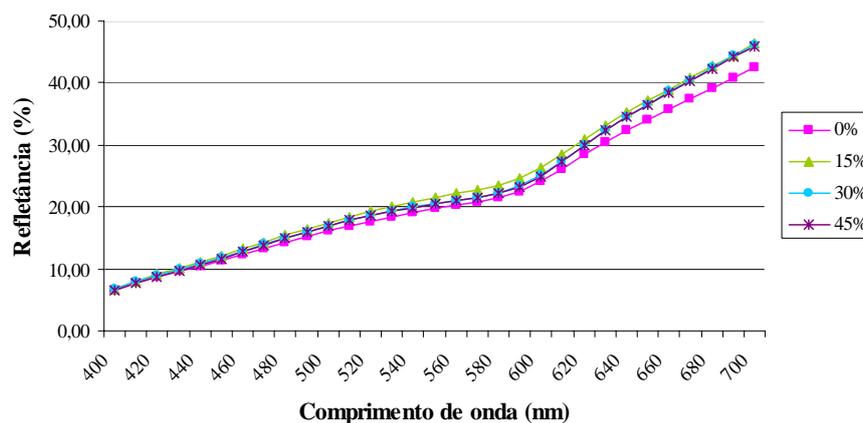


Figura 4.14 - Refletância das cores dos compósitos em função do comprimento de onda e da quantidade de borracha adicionada.

4.1.3 Propriedades acústicas

Uma vez que esses compósitos poderão ser utilizados para isolamento acústico, revestimentos e assoalhos, suas propriedades acústicas tornam-se de elevada importância.

Primeiramente foi realizada a calibração do aparelho quanto ao ganho (Figura 4.15) e ao ajuste do *off-set* (Figura 4.16). É importante mostrar esse detalhe de calibração para poder ser repetido em futuros trabalhos, a título de comparação.

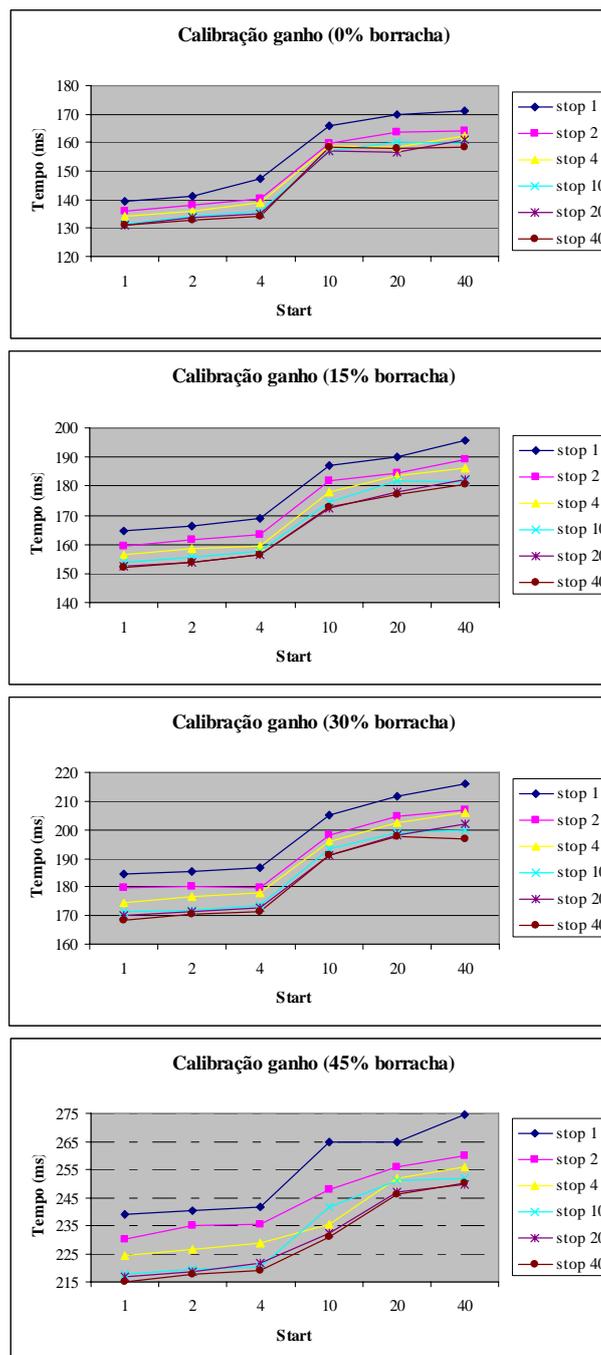


Figura 4.15 - *Stress wave* – calibração do ganho no aparelho.

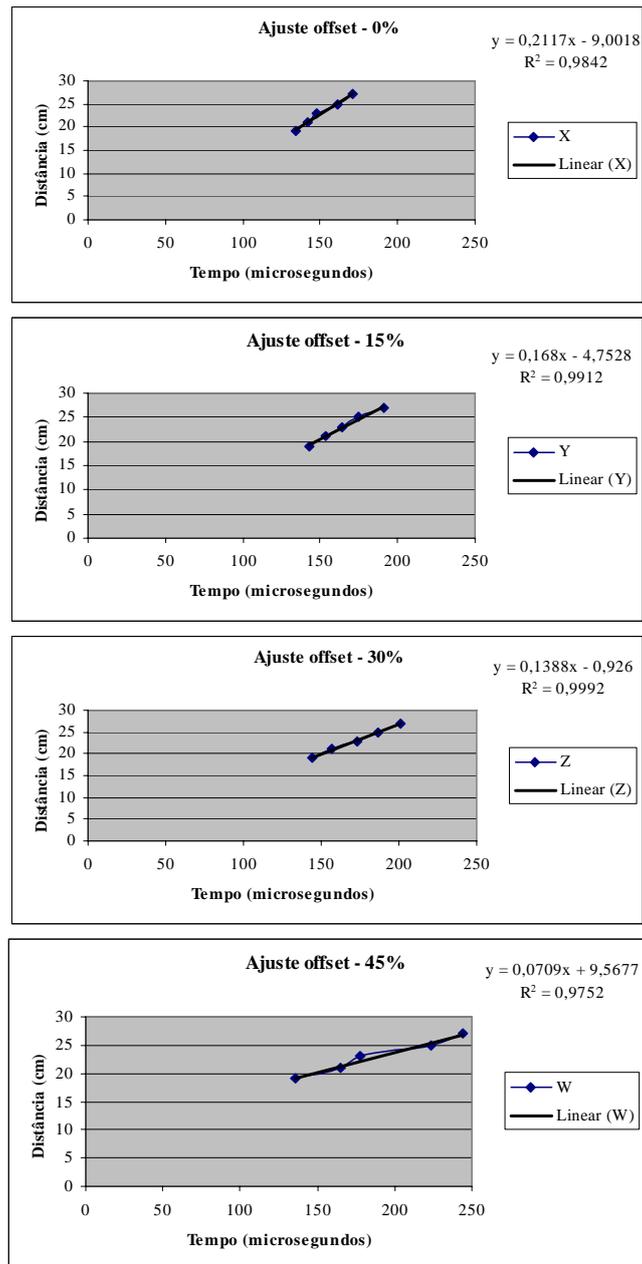


Figura 4.16 - *Stress wave* – ajuste do *offset* no aparelho.

Foi observado que a melhor calibração para o material estudado seria *Start* = 40 e *Stop* = 40.

A elevação do teor de borracha promoveu a melhoria das propriedades acústicas, como material isolante. Isso pode ser observado pela redução da velocidade de propagação das ondas sonoras em chapas com maiores percentagens de borracha, conforme mostra a Tabela 4.2. A velocidade de propagação de onda no compósito diferem entre todos os tratamentos, estatisticamente.

Tabela 4.2 - Velocidade de propagação de onda no compósito madeira-borracha-resina em função do tratamento.

TRATAMENTO	V (cm/s)	DP
A0	201215 ^a	1717,67
A15	176422 ^b	4400,32
A30	159872 ^c	180,73
A45	129961 ^d	1313,66

*. Valores médios e desvio padrão, conforme a percentagem de borracha no compósito. Valores seguidos pelo mesmo índice, não apresentam diferença significativa pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

Essa característica conduz à indicação de compósitos de partículas madeira-borracha-resina para fins onde o isolamento acústico seja uma propriedade desejável, como no caso de divisórias de ambientes.

Foi realizada também uma comparação entre os resultados do módulo de elasticidade dinâmico (MOE_d) e do módulo de elasticidade estático (MOE_s), obtendo-se-se um $R^2 = 0,9931$ (Figura 4.17). Isso indica a qualidade do ensaio não-destrutivo na predição dessa propriedade em substituição ao ensaio destrutivo de flexão estática. Usando o *stress wave*, a determinação do MOE dinâmico pode ser feito na peça inteira.

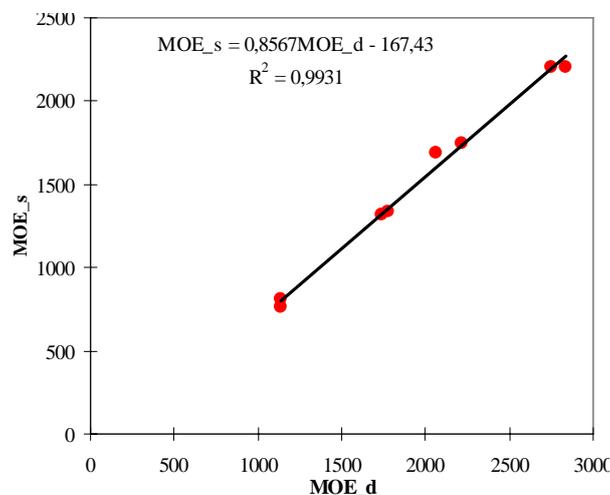


Figura 4.17 - Relação entre MOE_d e MOE_s dos compósitos madeira-borracha-resina.

Apesar do MOE_d ter apresentado valores superiores aos do MOE_s, observou-se uma tendência de redução com o aumento da quantidade de borracha no compósito proporcional à obtida no ensaio destrutivo (Tabela 4.3), mostrando a influência da adição de borracha no compósito. Todos os tratamento diferem-se estatisticamente entre si.

A natureza viscoelástica da madeira, aliada à borracha e à resina podem ser os principais responsáveis pelos valores superiores do MOE dinâmico. PUCCINI (2002) indica que o MOE dinâmico é sempre maior que o MOE estático. Deve-se ainda lembrar que a utilização da correlação do coeficiente de Poisson poderia aproximar muito os valores de MOE_d aos do MOE_s.

Tabela 4.3 - Valores do MOE dinâmico e MOE estático (MPa) em função do tratamento.

TRATAMENTO (%)	MOE _d (MPa)	MOE _s (MPa)
A0	2795,21 ^a	2201,01 ^a
A15	2142,33 ^b	1721,84 ^b
A30	1759,27 ^c	1329,47 ^c
A45	1135,51 ^d	787,58 ^d

*. Valores médios, conforme a percentagem de borracha no compósito. Numa mesma variável, valores seguidos pelo mesmo índice, em uma mesma coluna, não apresentam diferença significativa pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

4.2 - COMPÓSITOS CIMENTO-MADEIRA-BORRACHA

4.2.1 - Teste de calor de hidratação do cimento do cimento

No teste de compatibilidade do cimento com a borracha de pneu e com a madeira de pinus, pode-se perceber que a adição de borracha acarretou baixa inibição na hidratação do cimento (Tabela 4.4). Esta é bastante inferior à obtida com a adição de partículas de *Pinus taeda*. A adição de borracha de pneu à mistura pouco influenciou, negativamente, no processo de cura do cimento.

Tabela 4.4 - Índice de inibição do cimento.

Mistura	Relação partículas:cimento:água (g)	Índice de inibição (%)
Cimento:água	100:45,25	Referência
Pneu:cimento:água	7,5: 100:45,25	0,177
Pneu:cimento:água	15: 100:45,25	0,180
Pneu:cimento:água	30: 100:45,25	0,195
Madeira:cimento:água	7,5: 100:45,25	9,190

Parâmetros: I < 10%: Baixa inibição;
 I = 10 a 50%: Inibição intermediária;
 I = 50 a 100%: Alta inibição;
 I > 100%: Extrema Inibição.

O índice de inibição causado pela madeira de *P. taeda* na ordem de 9,19% está compatível com o obtido por LATORRACA (1999), que foi 9,90%.

Tanto a borracha quanto a madeira de *P. taeda* apresentaram baixo índice de inibição da hidratação do cimento. Vale ressaltar que ambos não retardaram o início do processo de hidratação, mas abaixaram a temperatura de hidratação do cimento.

4.2.2 – Propriedades físicas e mecânicas

A seguir são apresentados os resultados dos ensaios físicos e mecânicos nos compósitos cimento-madeira-borracha. É pertinente lembrar os tratamentos estudados: 0 = testemunha (sem adição de borracha, contendo capas); 15 = adição de 15% de borracha (com capas); 30 = adição de 30% de borracha (sem capas).

A Figura 4.18 mostra que a adição de borracha à mistura levou a uma diminuição gradual dos valores médios de massa específica aparente (MEA) do compósito após os 28 dias de cura. Isso se deve ao fato de a borracha ser menos densa do que o cimento e estar sendo adicionada à mistura em sua substituição.

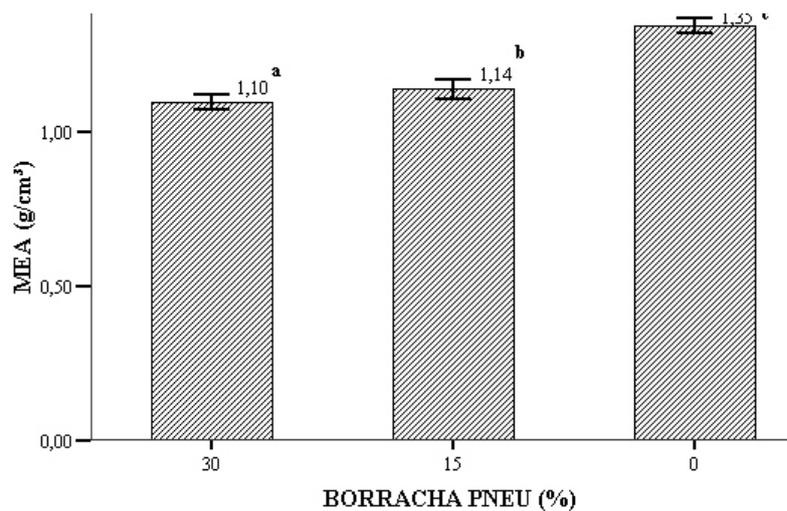


Figura 4.18 - Massa específica aparente do compósito cimento-madeira-borracha em função da quantidade de borracha adicionada.

Essa característica é de fundamental importância, pois, a presença de borracha na mistura, além de diminuir o peso final da chapa e consequentemente o da carga na construção onde esta será empregada, também pode reduzir os custos de fabricação (o cimento é um insumo mais caro) e de transporte, da fábrica ao consumidor final, sendo carregado maior volume com menor peso.

Por outro lado, a massa específica aparente (MEA) é uma variável de grande importância em outras propriedades e a alteração do seu valor influencia diretamente as propriedades mecânicas das chapas, já que quanto mais alta a MEA, menos espaço vazio haverá no interior das mesmas, Almeida (1999) citado por TEIXEIRA *et al.* (2001).

Outra importante variável de avaliação da qualidade do compósito é o módulo de ruptura (MOR), que fornece a carga a que o material resiste antes de romper. Como se pode observar na Figura 4.19, a adição de borracha reduziu consideravelmente os valores médios dessa propriedade, ficando abaixo do mínimo especificado pelas normas para esse tipo de painel. Verificou-se ainda que os tratamentos com adição de 15 ou 30% de borracha não são significativamente diferentes entre si e ambas diferiram da testemunha, a 5% de probabilidade (teste Tukey). IWAKIRI e PRATA (2007) encontraram um MOR médio para chapas cimento-madeira de *Pinus taeda* de 9,41 MPa.

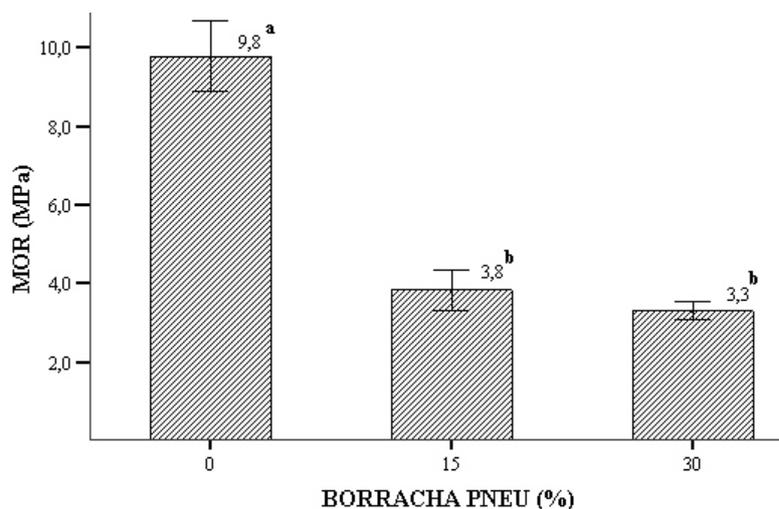


Figura 4.19 - Módulo de ruptura na flexão estática dos compósitos cimento-madeira-borracha em função da quantidade de borracha adicionada.

Painéis cimento-madeira produzidos comercialmente apresentam valores de MOR em torno de 110 kgf/cm² (10,78 MPa) VIROC (2004). O valor mínimo estabelecido pelo processo Bison Wood-Cement Board (1978) é de 91 kgf/cm² (\approx 9,0 MPa).

Mesmo não atendendo a norma técnica nesse quesito, os compósitos podem vir a ser utilizados na construção civil, dependendo do seu uso final, bem como do seu formato e da possibilidade de composição com outros produtos, como por exemplo seu encapsulamento

por compensados. Também é possível o uso onde o requisito resistência não seja o fator preponderante na escolha do material a ser empregado.

Os valores médios do módulo de elasticidade (MOE) dos compósitos são apresentados na Figura 4.20. O tratamento sem adição de borracha (testemunha) apresentou o maior valor de MOE. Da mesma forma que o módulo de ruptura, como era esperado, o módulo de elasticidade teve uma forte tendência à diminuição com a adição de borracha. Provavelmente essa característica se deve ao fato da baixa coesão entre as partículas de cimento e de borracha, refletindo no fácil desligamento dessas partículas quando submetidas a esforços de tensão.

A diminuição da resistência nos tratamentos com maior percentual de borracha pode ser também atribuída à diminuição da proporção de cimento na mistura. Isso fez com que a matriz de cimento recobrisse uma menor área específica de partículas, ocasionando uma ligação incompleta entre as partículas de madeira e a matriz de cimento. IWAKIRI e PRATA (2007) encontraram um MOE médio para chapas cimento-madeira de *Pinus taeda* de 4290 MPa. Painéis cimento-madeira comerciais, produzidos no processo Bison Wood-Cement Board (1978) pela indústria internacional, apresentam valores de MOE em torno de 30.000 kgf/cm² (≈ 3.000 MPa) (VIROC, 2004).

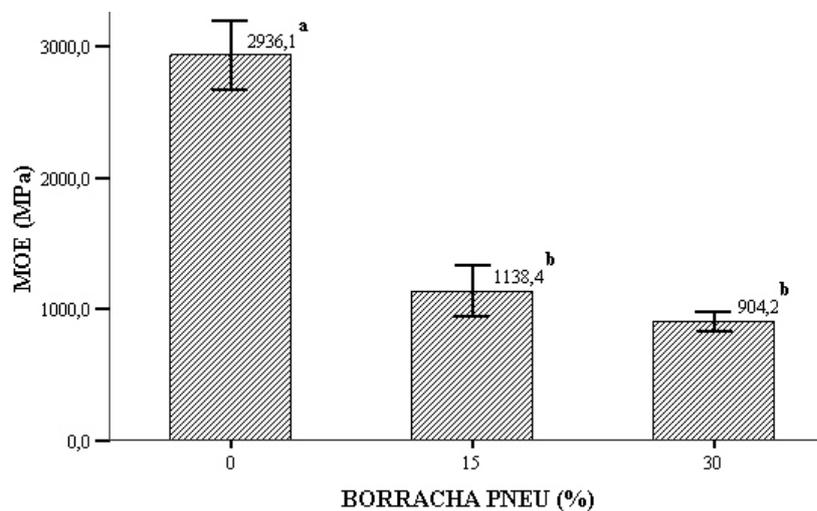


Figura 4.20 - Módulo de elasticidade na flexão estática dos compósitos cimento-madeira-borracha em função da quantidade de borracha adicionada.

Assim como observado para o MOR, a particularidade dessa propriedade não inviabiliza seu uso onde a aplicação de forças não seja quesito relevante, como em painéis encapados por outros materiais ou em usos de isolamentos acústicos, por exemplo.

Os valores médios obtidos no ensaio de inchamento em espessura (IE) dos compósitos após 2h de imersão em água são mostrados na Figura 4.21. Houve diferença significativa entre todos os tratamentos. Aquele com adição de 15% de borracha apresentou menor média do que o tratamento sem adição alguma. O compósito com 15% de borracha teve melhora nessa propriedade, e pode ser indicado para usos onde essa característica seja relevante, como, por exemplo, locais úmidos. Já o compósito com adição de 30% de borracha mostrou-se o menos indicado para usos onde esse quesito seja importante.

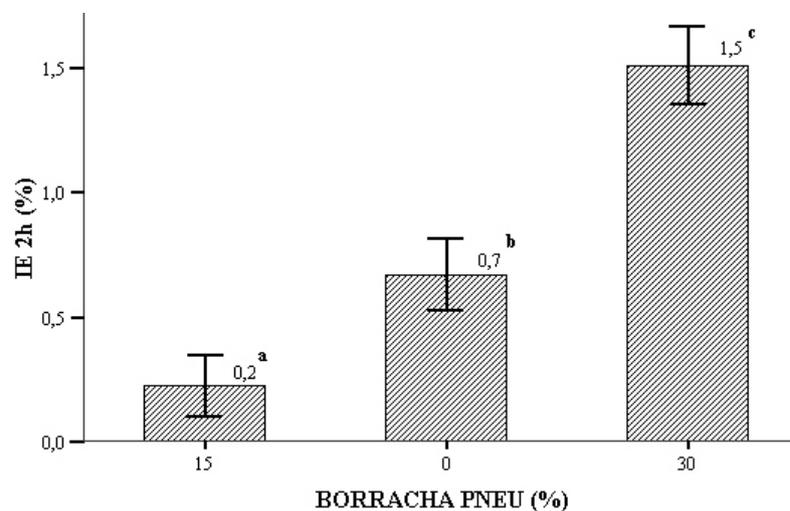


Figura 4.21 - Inchamento em espessura após 2h em função da quantidade de borracha adicionada.

Comercialmente, os painéis cimento-madeira apresentam 1,0% de IE após 2 h de exposição à água VIROC (2004). Painéis cimento-madeira produzidos no processo Bison Wood-Cement Board (1978) apresentam valores de IE 2h variando entre 0,8 e 1,3%.

A Figura 4.22 mostra os valores médios de inchamento em espessura dos compósitos após 24h de imersão em água. De acordo com a análise de variância houve diferença significativa entre os tratamentos para essa propriedade, os quais apresentaram a mesma tendência do inchamento após 2h, reforçando a tendência de que a inclusão de borracha na mistura numa proporção de 15% melhorou as características desse material para essa propriedade. IWAKIRI e PRATA (2007) encontraram um IE 24h médio para chapas cimento-madeira de

Pinus taeda de 1,69%. Bison (1978) encontrou um IE 24h de 1,2 a 1,8% em chapas estruturais do tipo HZ.

Comercialmente, painéis cimento-madeira apresentam de 1,50 a 1,80% de IE após 24 h de exposição à água (VIROC, 2004).

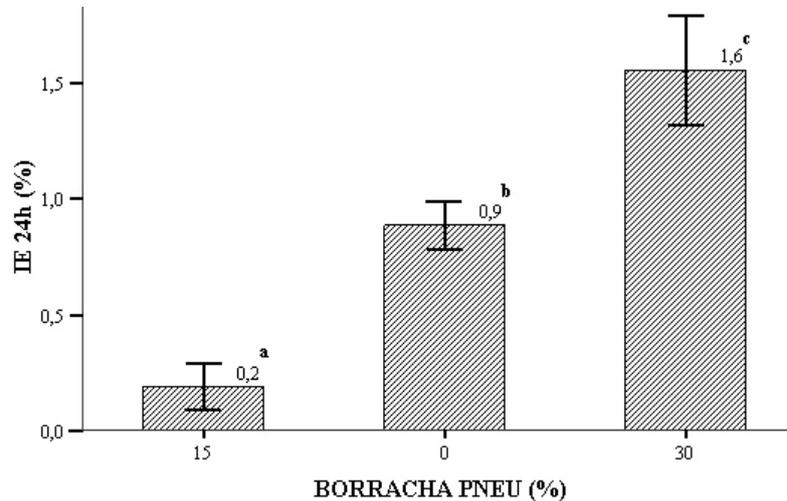


Figura 4.22 - Inchamento em espessura após 24h em função da quantidade de borracha adicionada.

A absorção de água (AA) pelos compósitos após 2h teve seus valores médios elevados com o aumento dos teores de borracha na mistura (Figura 4.23). De acordo com a análise de variância verificou-se uma diferença significativa entre os três tratamentos ao nível de 5% de probabilidade. A absorção de água, não teve tendência de alterar-se da mesma forma que o inchamento, em função dos tratamentos.

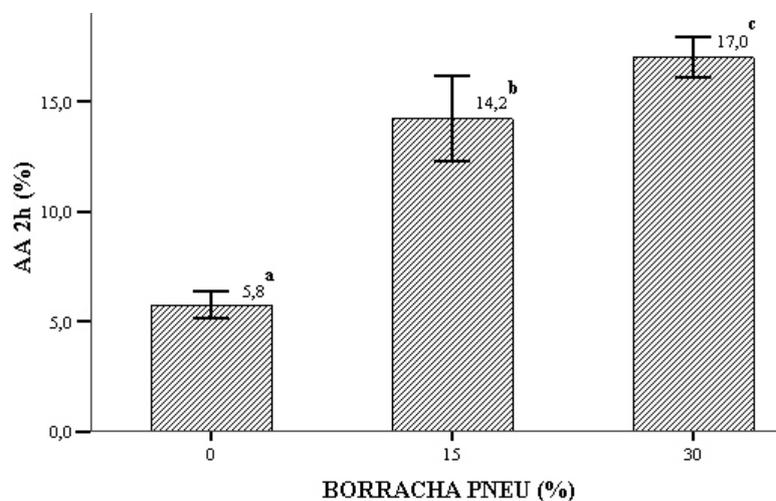


Figura 4.23 - Absorção de água após 2h em função da quantidade de borracha adicionada.

O aumento da AA com a adição de borracha pode ser devido às partículas de borracha não estabelecerem ligações nem com a madeira, nem com a matriz do cimento, ocasionando mais espaços vazios (maior porosidade) no interior do compósito, que ficou susceptível ao preenchimento pelo líquido, aumentando sua massa.

Cabe ressaltar que a adição de borracha diminuiu a quantidade de cimento na mistura, ou seja, quanto mais partículas de borracha havia, menos cimento existia para envolvê-las, permitindo que as partículas de madeira absorvessem mais água.

A ausência de capas no tratamento com 30% de borracha foi outro fator relevante para o aumento da propensão à absorção de água nesse tipo de compósito, pois as partículas de borracha ficaram mais expostas, sem o recobrimento com a matriz de cimento.

Os valores médios de absorção de água (AA) pelos compósitos depois de 24h de imersão (Figura 4.24) tiveram o mesmo comportamento daqueles após 2h.

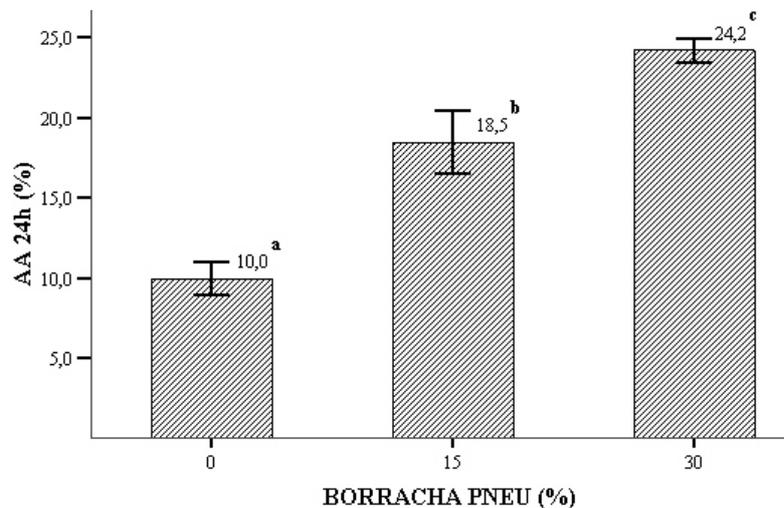


Figura 4.24 - Absorção de água após 24h em função da quantidade de borracha adicionada.

A menor absorção ocorre na testemunha. Todos os tratamentos diferiram-se estatisticamente entre si. IWAKIRI e PRATA (2007) encontraram um valor médio de AA 24h para chapas cimento-madeira de *Pinus taeda* de 14,05%.

Os valores médios de dureza Janka (D) dos compósitos são apresentados na Figura 4.25. No teste, os corpos-de-prova da testemunha (0% de borracha de pneu) apresentaram melhor

desempenho quanto à resistência a penetração da esfera, seguidos do tratamento com 30% de borracha. Todos os tratamentos deferiram-se estatisticamente a 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

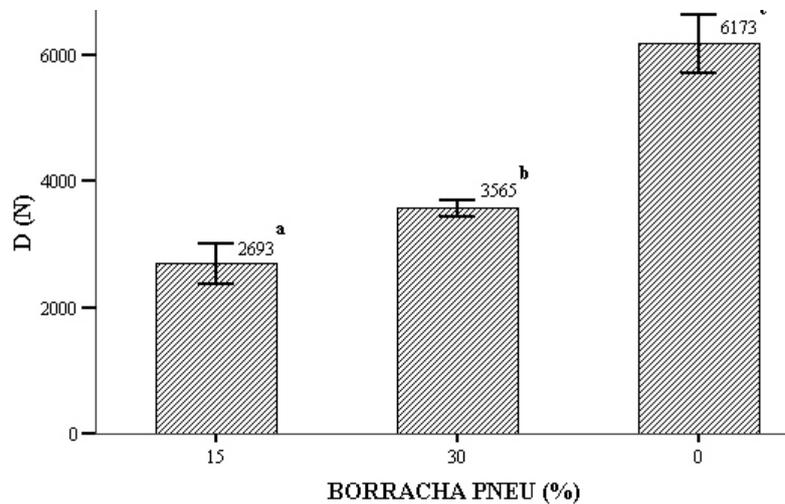


Figura 4.25 - Dureza Janka em função da quantidade de borracha adicionada.

Conforme era esperado, o parâmetro dureza comportou-se da mesma forma que a massa específica aparente, ou seja, diminuiu com a adição de borracha. HASSAN *et al.* (2006) encontraram valores de dureza variando de 3217 a 4783N para painéis cimento-madeira feitos com *Acacia nilotica*.

A Figura 4.26 mostra os corpos-de-prova submetidos ao ensaio de dureza Janka. As amostras contendo 0% e 30% de borracha não tenderam a apresentar rachaduras no teste, provavelmente devido à composição da capa e do miolo serem similares, variando apenas na granulometria do material. Porém as amostras com 15% de borracha (somente no miolo) apresentaram rachaduras próximo à depressão causada pela semi-esfera usada no ensaio.



Figura 4.26 - Compósitos cimento-madeira-borracha após ensaio de dureza Janka.

Os valores médios para ligação interna (LI) dos compósitos são apresentados na Figura 4.27. Como se pode observar, os valores médios dessa propriedade tendem a decrescer com o aumento da quantidade de borracha adicionado à mistura, com diferenças significativas entre os tratamentos.

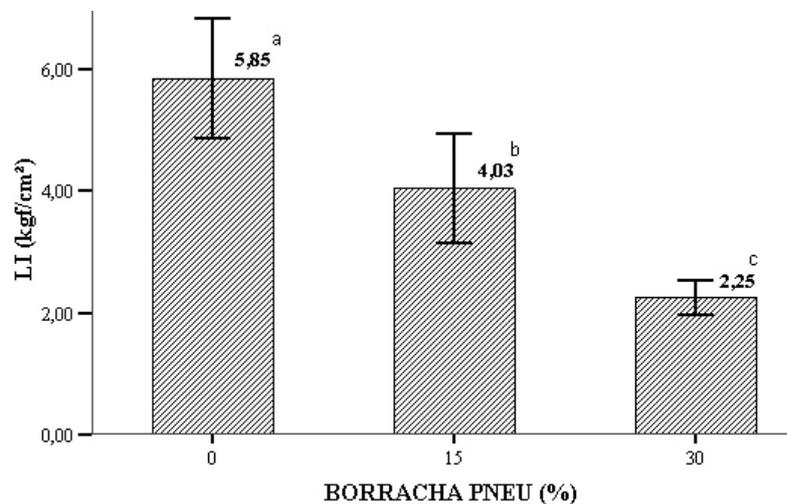


Figura 4.27 - Ligação interna em função da quantidade de borracha adicionada.

A exigência mínima para LI estabelecida pelo processo Bison Wood-Cement Board (1978) é de 4,0 kgf/cm², alcançada pelo tratamento com adição de 15% de borracha e pela testemunha.

IWAKIRI e PRATA (2007) encontraram um valor médio de ligação interna de 0,46 MPa (4,69 kgf/cm²) para chapas cimento-madeira de *Pinus taeda*. MATOSKI e IWAKIRI (2007) obtiveram de 0,30 a 0,54 MPa (3,06 a 5,51 kgf/cm²) trabalhando com partículas de *Pinus* spp. de diferentes granulometrias para produção de chapas cimento-madeira. OKINO *et al.* (2004) obtiveram valores variando entre 0,27 a 0,45 MPa (2,76 a 4,59 kgf/cm²), para clones de *Hevea brasiliensis*. São trabalhos que apresentam valores semelhantes aos encontrados neste.

Os valores médios de ligação interna para os compósitos em estudo podem ser considerados bons, exceto para a adição de 30% de borracha. Para este caso, alterações (testar outros aceleradores de cura, tipos de cimento, tamanho de partículas, etc) necessitam ser realizadas para melhoria dessa propriedade

Conforme apresentado na Figura 4.28, tanto a testemunha como o tratamento contendo 15% de borracha mostraram tendências de rupturas no ensaio de ligação interna, na região limítrofe capa-miolo. Isso mostra que essa é a área menos resistente do compósito, possivelmente

devido aos diferentes tamanhos de partículas e à composição das camadas. Já no tratamento com 30% de borracha, a ruptura tendeu a ficar menos descentralizada.



Figura 4.28 - Aparência dos corpos-de-prova de compósitos cimento-madeira-borracha após o ensaio de ligação interna.

Os valores médios para arrancamento de parafuso (AP) dos compósitos são apresentados na Figura 4.29. Observa-se uma diferença significativa entre a testemunha (mais resistente) e os outros dois tratamentos. Entre os valores dos tratamentos com adição de borracha não ocorreram diferenças significativas.

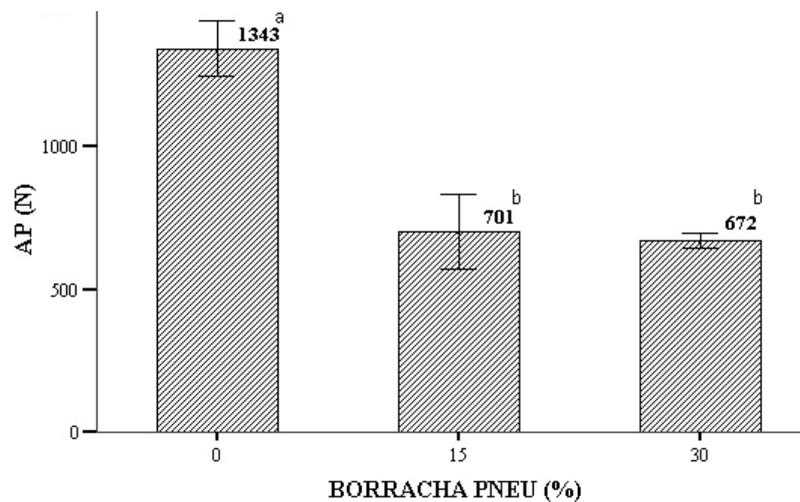


Figura 4.29 - Arrancamento de parafuso em função da quantidade de borracha adicionada.

Conforme mostra a Figura 4.30, o compósito tende a permanecer inteiro quando tem maiores teores de borracha, apenas rompendo-se no furo, enquanto que a testemunha exigiu uma carga maior para romper-se, havendo, no entanto, uma quebra mais abrupta. Isso indica que a borracha amortece mais o esforço de arrancamento nas zonas adjacentes ao orifício.



Figura 4.30 - Aparência dos corpos-de-prova de compósitos cimento-madeira-borracha após o ensaio de arrancamento de parafuso.

TEIXEIRA *et al.* (2001) encontraram valores médios de 349 N para chapas de cimento-madeira de *Hevea brasiliensis*, mostrando que a adição de cimento, por si só, diminuiu os valores para essa propriedade.

OKINO *et al.* (2004), obtiveram valores variando entre 1265 a 2032 N, para clones de *Hevea brasiliensis*. Bison Wood-Cement Board (1978) indica de 90 a 120 kgf/cm² (\approx 900 - 1200 N) para painéis com 1,2 a 2,4 mm de espessura. Esses valores não foram alcançados pelos compósitos contendo borracha.

4.2.3 - Características colorimétricas

Os valores médios das características colorimétricas dos compósitos cimento-madeira-borracha são mostrados na Tabela 4.5.

Tabela 4.5 - Valores médios dos parâmetros colorimétricos dos compósitos cimento-madeira-borracha, de acordo com os tratamentos.

Parâmetros	L*		a*		b*		C		h*	
	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP
0	60,37 ^b	0,96	1,61 ^a	0,12	9,32 ^a	0,51	9,46 ^a	0,52	80,17 ^b	0,48
15	62,99 ^c	0,97	1,80 ^b	0,13	10,43 ^b	0,29	10,58 ^b	0,36	80,22 ^b	0,50
30	56,37 ^a	1,70	2,30 ^c	0,17	11,59 ^c	0,39	11,81 ^c	0,40	78,77 ^a	0,69

*. Média e desvio padrão dos parâmetros colorimétricos, conforme a percentagem de borracha no compósito. Numa mesma variável, valores seguidos pelo mesmo índice, em uma mesma coluna, não apresentam diferença significativa pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

Observou-se que houve diferenças significativas das médias na maioria dos parâmetros, o que demonstra que a adição de borracha ao compósito influenciou sua aparência, até mesmo porque o tratamento com 30% de borracha não tem capas, deixando as partículas de pneu à mostra.

Verificou-se que a adição de 15% de borracha tornou mais claro o compósito, de forma significativa, quando comparado com a testemunha, observando-se que a combinação das coordenadas a^* e b^* foram as responsáveis por esse efeito. Possivelmente houve uma reação química entre as partículas de borracha com o cimento, levando ao clareamento do compósito. Outros estudos devem ser realizados para verificar essas reações.

Por outro lado, nos compósitos com adição de borracha (30%) foi observado um escurecimento considerável. Isso pode ser devido à presença de partículas de borracha na superfície.

Comparando-se as coordenadas a^* e b^* verificou-se uma forte influência da coordenada b^* (coloração amarela) na determinação da cor dos compósitos (Figura 4.31). Visualmente, verificou-se a dominância da coloração cinza amarelada nas amostras testadas (Figura 4.32).

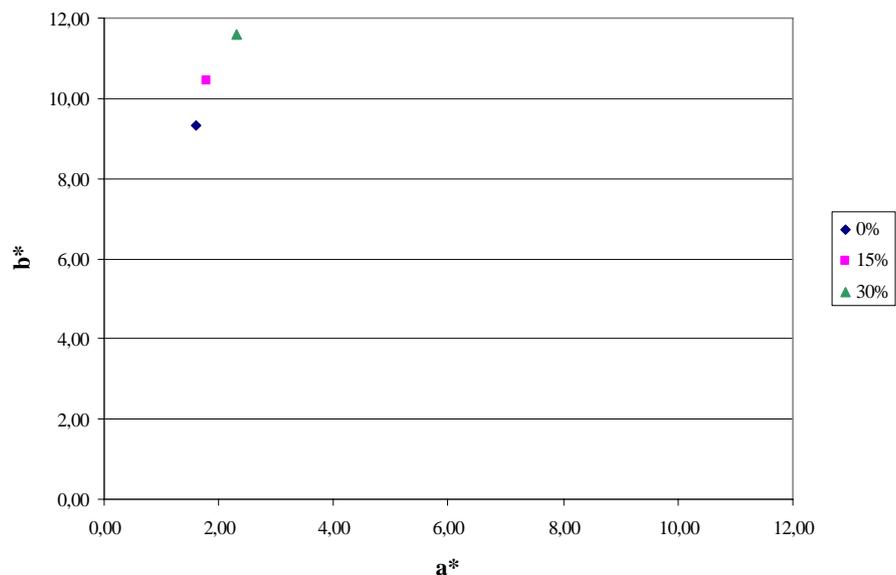


Figura 4.31 - Projeção dos valores médios de a^* e b^* para os compósitos estudados.



Figura 4.32 - Amostras de compósitos, segundo percentagem de borracha (0, 15 e 30%).

A Figura 4.33 mostra as curvas de refletâncias dos compósitos cimento-madeira-borracha, confeccionados com diferentes proporções de borracha, em função do comprimento de onda. As curvas apresentaram-se bastante similares na forma, porém com valores de refletância bem distintos. Cada compósito (cada tratamento) mostrou uma assinatura espectral própria. O tratamento com adição de 15% de borracha teve as refletâncias mais altas, o sem adição de borracha teve as intermediárias, enquanto que aquele com 30% de borracha (sem capas) apresentou as menores. Essas curvas reforçam a hipótese de que possam ter havido reações químicas entre o cimento e as partículas de borracha.

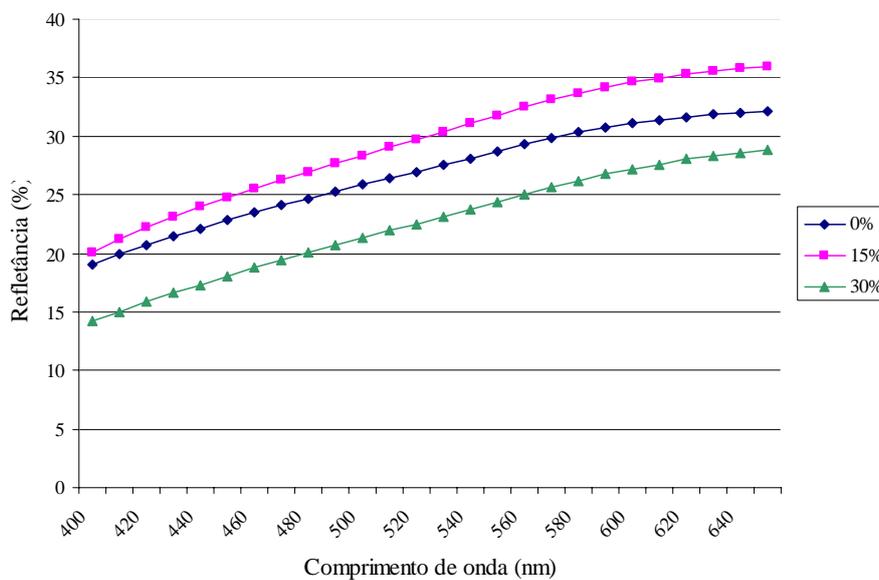


Figura 4.33 - Refletância das cores dos compósitos em função do comprimento de onda e da quantidade de borracha (%).

4.2.4 - Propriedades acústicas

Da mesma forma que nos compósitos madeira-borracha-resina, o aparelho de *stress wave* foi calibrado para *Start* = 40 e *Stop* = 40.

A elevação do teor de borracha promoveu a melhoria das propriedades acústicas dos compósitos cimento-madeira-borracha, como material isolante. Isso pode ser notado pela redução da velocidade de propagação das ondas sonoras em chapas com maiores percentagens de borracha, conforme mostra a Tabela 4.6.

Tabela 4.6 - Velocidade de propagação de onda no compósito em função do tratamento.

TRATAMENTO	V (cm/s)	DP
0	183283 ^a	8473,58
15	132931 ^b	5258,74
30	128632 ^b	2910,86

*. Média e desvio padrão da velocidade de propagação de onda, conforme a percentagem de borracha no compósito. Valores seguidos pelo mesmo índice, em uma mesma coluna, não apresentam diferença significativa pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

Essa característica pode sugerir a indicação desses compósitos para fins onde o isolamento acústico seja uma propriedade desejável, como no caso de divisórias de ambientes, por exemplo.

Também foi realizada a comparação entre os resultados do módulo de elasticidade dinâmico (MOE_d) e módulo de elasticidade estático (MOE_s), obtendo-se-se um $R^2 = 0,9896$ (Figura 4.33). Isso indica a qualidade do ensaio não-destrutivo na predição ou na substituição do ensaio de flexão estática, para obtenção do MOE. Estes resultados vão de encontro aos apresentados por NZOKOU *et al.*, 2006, ao estudarem a relação entre o módulo de elasticidade dinâmico (MOE) e o módulo de elasticidade estático (MOE), em compostos comerciais de madeira-plástico, para os quais, a análise de regressão não mostrou nenhuma correlação significativa.

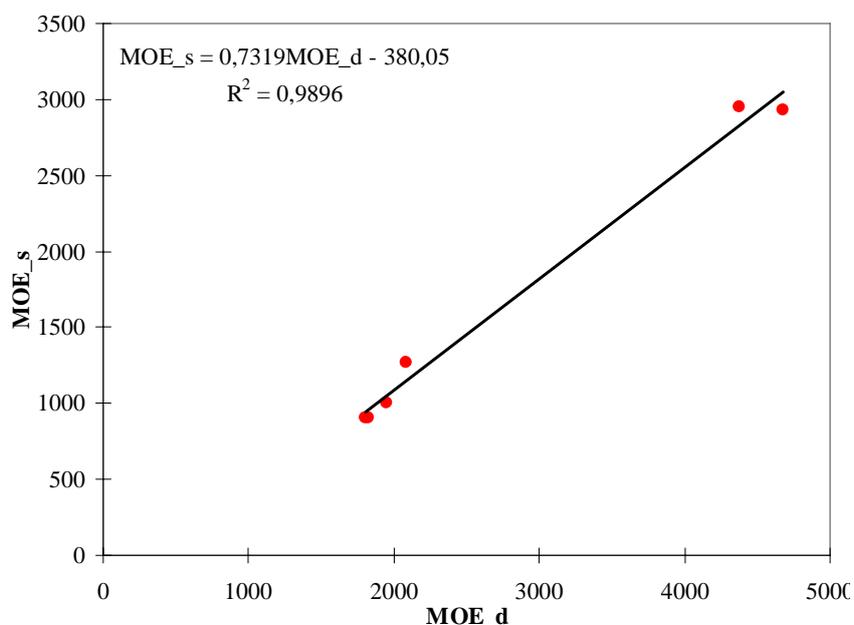


Figura 4.33 - Regressão entre MOE_d e MOE_s dos compósitos cimento-madeira-borracha.

Apesar do MOE_d ter apresentado valores superiores aos do MOE_s , sua tendência de redução com o aumento da quantidade de borracha no compósito foi proporcional à obtida no ensaio destrutivo (Tabela 4.7), mostrando a influência da adição de borracha no compósito.

Tabela 4.7 - Valores do MOE dinâmico e MOE estático (MPa) em função do tratamento.

TRATAMENTO	MOE_d (MPa)	MOE_s (MPa)
0	4528,78 ^a	2936,14 ^a
15	2017,18 ^b	1138,45 ^b
30	1814,74 ^b	904,15 ^b

*. Médias dos módulos de elasticidade, conforme a percentagem de borracha no compósito. Numa mesma variável, valores seguidos pelo mesmo índice, em uma mesma coluna, não apresentam diferença significativa pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

5 – CONCLUSÃO E SUGESTÕES

Esta pesquisa sobre compósitos de partículas de madeira e borracha de pneu mostrou vários pontos importantes relacionados à tecnologia de um produto em desenvolvimento. A partir desses pontos é possível concluir:

- A adição de borracha de pneu à madeira para confecção de compósitos de partículas madeira-borracha-resina e compósitos cimento-madeira-borracha é tecnicamente viável.
- Essa adição deve ser norteada pelo emprego que será dado ao compósito gerado, para daí se decidir que proporção de borracha de pneu pode-se aplicar à mistura.
- Características físicas dos compósitos, como massa específica aparente e inchamento em espessura, melhoram com a adição de borracha de pneu à mistura.
- As características mecânicas, de modo geral, pioraram com a adição da borracha de pneu aos compósitos, não sendo estes indicados para usos onde essas características são as principais exigências do produto.
- A adição de borracha de pneu no miolo do compósito não altera suas características colorimétricas externas nos compósitos madeira-borracha-resina. No compósito cimento-madeira-borracha, a adição de borracha de pneu no miolo tornaram a superfície do compósito mais clara. As assinaturas espectrais dos componentes dos compósitos colaboram para entender o comportamento estético destes.

- Em ambos os compósitos, a propriedade de isolamento acústico melhorou com a adição de borracha.
- No caso dos compósitos de cimento-madeira, a adição de borracha de pneu possibilita o barateamento dos custos de produção (pela menor quantidade de cimento) e de transporte do compósito (pela menor densidade).
- As características tecnológicas dos compósitos são bastante influenciadas por parâmetros como tamanho e tipo de partículas, densidade da chapa, tempo e temperatura de prensagem, tipo e quantidade de adesivo empregado, presença de aditivos, dentre outros.
- Os resultados alcançados com este trabalho, aliados aos relatados na literatura consultada, permitem concluir que alterações, por vezes pequenas, nos parâmetros de produção dos compósitos são determinantes para a melhoria das propriedades tecnológicas.
- As características da borracha, como hidrofobia e isolamento acústico, melhoram a qualidade dos compósitos de madeira, potencializando-os para usos específicos.
- Um fator de destaque é que a borracha pode moldar-se a várias formas de compósitos, como chapas, cilindros, esferas, dentre outros.
- Os compósitos madeira-borracha-resina são mais indicados para uso em paredes divisórias, revestimentos de ambientes e forros.
- Os compósitos cimento-madeira-borracha são apropriados para contra-piso de pavimentos de áreas não molhadas, além de paredes divisórias, revestimentos de ambientes e forros.
- Para se decidir qual dos compósitos é o mais viável para a indústria, além dos aspectos tecnológicos, deve-se fazer um balanço de custos econômicos (insumos, mão-de-obra, energia, tempo) e ambientais (redução da quantidade de cimento, emprego ou não de resina fenólica), e se verificar a necessidade de uso, ou seja, a adequada utilidade do compósito para determinado fim. Esses aspectos devem ser considerados na escolha da mistura.

- É válida a possibilidade de emprego da borracha proveniente do processo de recauchutagem em diferentes tipos de produtos, o que valoriza esse resíduo e ocasiona a diminuição do passivo ambiental de pneus no país.

Esta pesquisa permitiu ainda algumas sugestões:

- Novos trabalhos podem ser conduzidos no sentido de se conseguir um compósito madeira-borracha que atenda a todas as exigências das normas do setor, adicionando-se teor de borracha máximo de 15%.
- Efetuar análise cromatográfica para determinação dos componentes químicos da cada matéria-prima, objetivando identificar a participação destas na formação da cor final do compósito.
- Analisar a viabilidade econômica da produção desses compósitos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE. **Particleboard**, ANSI A 208.1. New York, 1978.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIAL. Standard Test Methods for Evaluating Properties of Wood-Base Fiber and Particle Panel Materials. ASTM D1037. Philadelphia (USA): **Annual Book of ASTM Standards**, v.04.09 Wood, 30p. 1998.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE. ABIMCI. Madeira Processada Mecanicamente - estudo setorial 2001. **Produtos de madeira sólida no Brasil**. Disponível em: <<http://www.abimci.com.br/port/03Dados/0301EstSet2001/0301FrameEstSet.html?Principal=03010502Serr.html>>. Acesso em: 05 jun. 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT. **NBR 14810**. 2002
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE PNEUS REMOLDADOS. **Pneus: A verdade nos números**. Notícia 28.03.2006. Disponível em: <http://www.abip.com.br/site/noticias/not_noticias_ler.php?id=131>. Acesso em: 10 nov. 2007.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. ABCP. **Básico sobre cimento: tipos**. Disponível em: <http://www.abcp.org.br/basico_sobre_cimento/tipos.shtml>. Acesso em: 16 jan. 2008.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. ABCP. **Guia básico de utilização do cimento portland**. 7.ed. São Paulo, 2002. 28p. (BT-106). Disponível em: <http://www.abcp.org.br/downloads/arquivos_pdf/BT106_2003.pdf>. Acesso em: 27 ago. 2008.
- BERNARDI, R., VERNEY, J. C K. DE. Reciclagem de chapas de madeira aglomerada da indústria moveleira da Região da Serra Gaúcha. **TECNOLOGIA** v.7 n.2 p.85-93. Canoas, jul./dez. 2006.
- BISON WOOD-CEMENT BOARD. **Bison – Report**. p.10. 1978.

- BODIG, J. The processo f NDE research for wood and wood composites. **The e-Journal of Nondestructive Testing**, v.6 n.03, mar. 2001. Disponível em: <<http://www.ndt.net/index.html>>. Acesso em: 27 abr. 2008.
- BONDUELLE, G. M., CHIES, D., MARTINS, D.G. O processo de fabricação de painéis compensados no Estado do Paraná, analisado através dos rendimento e dos resíduos gerados. In: **II Congresso Ibero-Americano de Pesquisa e Desenvolvimento de Produtos Florestais**. NMREO 92. Curitiba- PR, 9-13 set. 2002.
- BORRACHA ATUAL. **Matéria técnica: Especial adesivos**. Ed. 45 p.18-24. sd. Disponível em: <http://www.borrachaatual.com.br/materiatecnica/45/mattec45_01.pdf> acesso em: 02 jul. 2008.
- BRAND, M. A., KLOCK U., MUNIZ, G. I. B, SILVA, D. A. Avaliação do processo produtivo de uma indústria de manufatura de painéis por meio do balanço de material e do rendimento da matéria-prima. **Rev. Árvore**, v.28 n.4. Viçosa, jul./ago. 2004.
- BRASILIT. **Produtos**. Disponível em: <http://www.brasilit.com.br/produtos/telha_masterboard.php> Acesso em: 04 fev. 2008.
- CAMARGOS, J. A. A.; GONÇALEZ, J. C. **A colorimetria aplicada como instrumento na elaboração de uma tabela de cores de madeira**. Brasil Florestal, Ano XX, N° 71, setembro de 2001. p. 30-41.
- CAMPOS C. I., LAHR, F. A. R. Estudo Comparativo dos Resultados de Ensaio de Tração Perpendicular para MDF Produzido em Laboratório com Fibras de Pinus e de Eucalipto Utilizando Uréia-Formaldeído. **Revista Matéria**, v. 9 n.1 p.29-40, 2004
- COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM. **Pneus - O mercado para reciclagem**. Disponível em: <http://www.cempre.org.br/fichas_tecnicas_pneus.php>. Acesso em: 02 mai. 2005.
- DACOSTA, L. P. E., HASELEIN, C. R., SANTINI, E. J., SCHNEIDER, P. R., CALEGARI, L. Qualidade das chapas de partículas aglomeradas faricadas com res~íduos do processamento mecânico da madeira de *Pinus elliottii* (Engelm.). **Ciência Florestal**. v.15 n.3 p.311-322, Santa Maria, 2005.
- DATACOLOR . **Spectrometer Microflash system**. 1996.

- DUTRA, R. I. J. P. E NASCIMENTO, S. M. **Resíduo de Indústria Madeireira**. Disponível em: <<http://www.jornaldomeioambiente.com.br/JMA-tximportante/importante80.asp>>. Acesso em: 05 jun. 2006.
- FIORITI, C. F. , AKASAKI, J. L. . Fabricação de Blocos de Concreto com Resíduos de Borracha de Pneus. **Engenharia estudo e pesquisa**, v.6 n.02 p.36-41, Rio de Janeiro, 2003.
- FREITAS, L.B., MENDES, L. M., CASTRO NETO, P., FRAGA, A. C., ARAÚJO, J. C. **Avaliação de Características Físicas de Painéis Aglomerados de uma Mistura de Eucalipto (*Eucalyptus urophylla*) e Casca de Mamona (*Ricinus communis* L.)**. 2007. Disponível em: Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel: <<http://www.biodiesel.gov.br/docs/congresso2007/coproduto/3.pdf>> Acesso em: 13 out. 2008.
- GONÇALEZ, J. C. **Caracterisation technologique de quatre espèces peu connues da la forêt Amazonienne: anatomie, chimie, couleur, propriétés physiques et mécaniques**. Nancy, France: Ministere de l'Agriculture et de la Peche,. ENGREF. Thèse de Doctorat. 446 p. il. 1993.
- GONÇALEZ, J. C.; JANIN, G.; SANTORO, A. C. S.; COSTA, A. F. da; VALLE, A. T. do. **Colorimetria quantitativa: uma técnica objetiva de determinar a cor da madeira**. Brasil Florestal, Ano XX - Nº 72, novembro de 2001. p. 47-58.
- GOUVEIA, F. N., VITAL, B. R, SANTANA, M. A. E. Avaliação de três tipos de estrutura de colchão e três níveis de resina fenólica na produção de chapas de partículas orientadas – osb. **R. Árvore**, v.27 n.3 p.365-370, Viçosa-MG, 2003.
- HAN, G.; WU, Q.; WANG, X. Stress-wave velocity of wood-based panels: effect of moisture, product type, and material direction. **Forest Products Journal**, Madison, v.56, n.1, p.28-33, 2006.
- HASSAN, T. T.; ALGADIR, A. A. Y. A.; MOHAMOUD, A. A.; ALHEDY, A. M. A. Effect of cement replacement by lime on properties of *Acacia nilotica* wood-cement mixture. **Proceedings of the 40th Meeting of the National Crop Husbandry Committee – NCHC**. Agricultural Research Corporation (ARC) – Sudan. p. 254-258. 2006. Disponível em:

<<http://www.arcsudan.sd/proceedings/40thmeeting/fulltext%20pdf40/Acacia%20nilotical.pdf>>. Acesso em: 03 nov. 2008

INSTITUTO SUPERIOR DE AGRONOMIA/CENTRO DE ESTUDOS FLORESTAIS. ISA/DEF. **Tecnologia de Produtos Florestais**. Módulo. Aula 31. Disponível em: <http://www.isa.utl.pt/def/files/File/disciplinas/tpf/TecProdFlor_Mod1_Aula3a.pdf>. Acesso em: 10 ago. 2008

IWAKIRI, S. **Painéis de madeira reconstituída**. Curitiba: FUPEF, 2005.

IWAKIRI, S., CAPRARA A. C., SAKS, D. do C. O., GUI SANTES, F. de P., FRANZONI, J. A., KRAMBECK, L. B. P., RIGATTO, P. A. Produção de painéis de madeira aglomerada de alta densificação com diferentes tipos de resinas. **SCIENTIA FORESTALIS** n.68 p.39-43, ago. 2005b.

IWAKIRI, S., CUNHA, A. B. da, ALBUQUERQUE, C. E. C., GORNI AK, E., MENDES, L. M.. Resíduos de serrarias na produção de painéis de madeira aglomerada de eucalipto. **Scientia Agraria**, v.1 n.1-2 p.23-28, Editora da UFPR, 2000.

IWAKIRI, S., PRATA, J. G. Utilização da madeira de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus dunnii* na produção de painéis de cimento-madeira. **Cerne**, Lavras, v. 14, n. 1, p. 68-74, jan./mar. 2008.

JUN, Z., XIANG-MING, W., JIAN-MIN, C., KAI, Z. Optimization of processing variables in wood-rubber composite panel manufacturing technology. **Bioresource Technology** 99 p. 2384-2391, 2008.

KANG, H.; BOOKER, R.E. Variation of stress wave velocity with MC and temperature. **Wood Science and Technology**, New York, v.36, n.1, p.41-54, 2002.

LATORRACA, J. V. F., IWAKIRI, S. Efeito da cura a vapor sobre as propriedades mecânicas de painéis de cimento-madeira. **Floresta e Ambiente**, V. 8, n.1, p.84 - 93, jan./dez. 2001.

LATORRACA, J. V. F., IWAKIRI, S. Efeitos do tratamento das partículas de *Eucalyptus dunnii* (maid), da variação da relação madeira-cimento e do uso de aditivos sobre as propriedades físicas e mecânicas de chapas de madeira-cimento. **Cerne**, v. 6, n.1, p.068-076, 2000.

LATORRACA, J. V. F., IWAKIRI, S., LELIS, R. C. C. Efeito inibidor de cinco espécies florestais sobre a cura do compósito cimento-madeira. **Floresta e Ambiente**, v. 6, n. 1, p. 75-82, jan./dez. 1999.

- LOPES, R. E., VITA, M. O., AKASAKI, J. L., BARBOSA, M. B., ALCÂNTARA, M. A. DE M. (5), FREITAS, I. R. M. **Estudo de Dosagens de Concretos com Resíduos de Borracha de Pneus Utilizando Aditivos Superplastificantes** In: **48º Congresso Brasileiro do Concreto**, p. 1-12, Rio de Janeiro, 2006.
- MACEDO, D. C. B., TUBINO, R. M. C. Comportamento térmico e acústico de placas pré-moldadas com borracha de pneu. In: **1º Encontro Nacional de Pesquisa-Projeto-Produção em Concreto Pré-moldado**. São Carlos, 03-04 nov. 2005.
- MALONEY, T. M. **Modern particleboard and dry-process fiber board manufacturing**. San Francisco, Miller Freeman. 672p., 1977.
- MARRA, A. A. **Technology of wood bonding – principles in practice**. New York, Van Nostrand Reinhold. 453p., 1992.
- MARQUES, A. C., NIRSCHL, G. C., AKASAKI, L. Propriedades mecânicas do concreto adicionado com borracha de pneus. **Holos Environment**, Vol. 6, N 1, 2006.
- MARQUES, M. H. B.; MARTINS, V. A.; SOUZA, M. R.; ALVES, M. V. S. Efeito da secagem nas propriedades acústicas da madeira de marupá (*Simarouba amara* Aubl.). **Floresta e Ambiente** v.12, n.2, p. 57 - 64, nov./dez. 2006
- MARQUES, M. L, MARQUES, A. C., TRIGO, A. P. M., AKASAKI, J. L. Avaliação do comportamento da argamassa adicionada de diferentes granulometrias de borracha após o tratamento com NaOH. In: **Ibracon 47º Congresso Brasileiro do Concreto - Anais**. Olinda, PE, 02-07 set. 2005.
- MATOSKI, A., IWAKIRI, S. Avaliação das propriedades físico-mecânicas de painéis de cimento-madeira utilizando farinha de madeira com granulometria controlada. **FLORESTA**, v. 37, n. 2, Curitiba-PR, mai./ago. 2007.
- MATTOS, R. L. G., GONÇALVES, R. M., CHAGAS, F. B. Painéis de madeira no Brasil: panorama e perspectivas. **BNDES Setorial**, n. 27, p. 121-156, Rio de Janeiro, mar. 2008.
- MENDONÇA, L. L. **Produção de Painéis de Madeira com Clones de *Eucalyptus urophylla*: Estudo de Caso para uso na Indústria de móveis e construção civil**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) - Universidade Federal de Ouro Preto, 2008.
- METRIGUARD. **Model 239A Maintenance & operation manual**. Metriguard Inc. Pullman, WA-USA. nov. 1998.

- MORI, F. A., LOPES, Y. L. V., MENDES, L. M., LATORRACA, J. V. F. Estudo da compatibilidade entre a madeira e as cascas de *Eucalyptus grandis* e cimento Portland. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 17, n. 3, p. 257-264, jul./set. 2007.
- NZOKOU, P.; FREED, J.; KAMDEM, D.P. Relationship between non destructive and static modulus of elasticity of commercial wood plastic composites. **Holz als Roh- und Werkstoff**, Berlin, v.64, n.1, p.90-93, 2006.
- OKINO E. Y. A., SOUZA, M. R., SANTANA, M. A. E., SOUSA, M. E., TEIXEIRA, D. E. Chapa aglomerada de cimento-madeira de *Hevea brasiliensis* Müll. Arg. **R. Árvore**, Viçosa-MG, v.28, n.3, p. 451-457, 2004
- OKINO, E. Y. A., SOUZA, M. R. DE, SANTANA, M. A. E., ALVES, M. V. DA S., SOUSA, M. E. DE, TEIXEIRA, D. E. Physico-mechanical properties and decay resistance of *Cupressus* spp. cement-bonded particleboards. **Cement & Concrete Composites** 27 p. 333–338, 2005.
- OLIVEIRA, F. L., LIMA, I. L. de, GARCIA, N. J., FLORSHEIM, S. M. B. Propriedades da madeira de *Pinus taeda* L. em função da idade e da posição radial na tora. **Rev. Inst. Flor.**, v. 18, n. único, p. 59-70, São Paulo, dez. 2006.
- OLIVEIRA, R. G., TEIXEIRA, D. E. Caracterização de aglomerado com fibras de coco de babaçu e resinas sintéticas. In: **Anais da 58ª Reunião Anual da SBPC - Florianópolis, SC** - Julho/2006. Disponível em: http://www.sbpcnet.org.br/livro/58ra/SENIOR/RESUMOS/resumo_3279.html Acesso em: 30 ago. 2008.
- OZAKI, S. K., SOUZA, M. F. Compósitos de Rejeitos de Madeira e Pó de Borracha Reciclada. In: **Universidade Federal de Mato Grosso (2004): Anais IX Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira. IX EBRAMEM - Livro Resumo + CD. (IBRAMEM / UFMT / FAET / FENF) (ISBN - 85-327-0100-0) Cuiabá-MT, 27-29 jul. 2004.**
- PASSEROTTI, G. F. A., CAMPOS, C. I. de, NASCIMENTO, M. F. do, LAHR, F. A. R. Caracterização e produção de painel particulado (mdp) de *Eucalyptus* sp utilizando adesivo poliuretano. In: **18º CBECiMat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais**. Porto de Galinhas, PE, 24 a 28 de novembro de 2008. Disponível em: http://www.cbecimat.com.br/Trab_Completos/202-079.doc Acesso em: 13.10.2008.

- PEDRAZZI, C., HASELEIN, C. R., SANTINI, E. J., SCHNEIDER, P. R.. Qualidade de chapas de partículas de madeira aglomerada fabricadas com resíduos de uma indústria de celulose. **Ciência Florestal**, v. 16, n. 2, p. 201-212, Santa Maria, 2006.
- PIZZI, A.; MITTAL, K. L. **Handbook of Adhesive Technology**, Marcel Dekker, cap.26, p. 541-572. 1994.
- PUCCINI, C. T. **Avaliação de espectros de qualidade utilizando o ultra-som**. Tese (Doutorado em Construções Rurais e Ambientação) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002. 139 p.
- RECOVERING TRADING. **Revestimento Viroc**. Disponível em: www.recovering.com.br
Acesso em: 06 out. 2008.
- REVISTA ARQUITETURA & CONSTRUÇÃO. **Cimento ecológico**. V. 02/2008.
Disponível em:
<http://planetasustentavel.abril.com.br/noticia/casa/conteudo_270173.shtml> Acesso em:
27 nov. 2008.
- REVISTA DA MADEIRA. Painéis de cimento-madeira: características e aplicações.
REVISTA DA MADEIRA nº 71, maio de 2003. Disponível em:
<http://www.remade.com.br/pt/revista_materia.php?edicao=71&id=323> Acesso em: 01
mai. 2007.
- ROOS, R. J.; PELLEGRIN, R. F. nde OF Wood-based composites with longitudinal stress waves. **Forest Products Journal**, v. 38 n.5 p.39-45, 1985.
- SANDRONI, M. E PACHECO, B. A. V. **Os destinos dos pneus inservíveis**. NIEAD/UFRJ. 2003. Disponível em: <<http://www.niead.ufrj.br/artigoelen.htm>>. Acesso em: 05 jun. 2005.
- SANTOS, E. F.; Silva, g. m.; FEITOSA, J. P. A.; SOARES, J. B. Caracterização de cimento asfáltico de petróleo brasileiro modificado por borracha de pneu moído de renovadoras. In: **2º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás**, Rio de Janeiro, 2003.
- SANTOS, R. C; MENDES, L. M.; MORI, F. A.; MENDES, R. F. Aproveitamento de resíduos da madeira de candeia (*Eremanthus erythropappus*) para produção de painéis cimento-madeira. **Cerne**, Lavras, v. 14, n. 3, p. 241-250, jul./set. 2008.
- SEIÇA PNEUS. **Recauchutagem de pneus**. Disponível em:
<<http://www.seicapneus.com/atividade.htm>>. Acesso em: 04 abr. 2005

- SENNF, L. **Caracterização do compósito cimentício com adição de particulados de madeira – espécie *Pinus taeda***. Dissertação de mestrado. Joinville-SC, CCT/UEDESC, 2004. 123p.
- SILVA, A. N., VIDAURRE, G. B., ROCHA, J. D., LATORRACA, J. V. de F. Biomassa Vegetal para Uso em Chapas de Cimento-Madeira. **Rev. Univ. Rural, Sér. Ciên. da Vida**, V. 22 n2 (Suplemento), p. 199-203, 2002.
- SILVA, G. C., LATORRACA, J. V. DE F., TEIXEIRA, D. E., BORTOLETTO JÚNIOR, G. Produção do compósito madeira e casca de *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake e cimento Portland. **SCIENTIA FORESTALIS** n. 68, p.59-67, ago. 2005.
- SILVA, G. C., LATORRACA, J. V. F., LELIS, R. C. C., TEIXEIRA, D. E., CARMO, J. F., F., É. S. Produção de painéis de cimento-madeira com adição de diferentes proporções de casca e microssílica **Ciência Florestal**, v. 16, n. 1, p. 61-70, 2006.
- SILVA, G. C., LATORRACA, J. V. F., CARMO, J. F., FERREIRA, E. S. Efeito de aditivos minerais sobre as propriedades de chapas cimento-madeira **Rev. Árvore** v.30 ano.3, Viçosa, 2006b.
- SONG, M., HWANG, J-Y. Mechanical properties of composites made with wood fiber and recycled tire ribber. **Forest Products Journal**. v.51, Iss. 5, p.45-51, mai. 2001.
- TEIXEIRA, D. E., ALVES, M. V. S., COSTA, A. F., SOUSA, N. G. Características de chapas de cimento-madeira com partículas de seringueira (*Hevea brasiliensis* Müell. Arg.) tratadas com CCA. **Floresta e Ambiente**, v. 8, n.1, p.18 - 26, jan./dez. 2001.
- TEIXEIRA, M. G. **Aplicação de conceitos da ecologia industrial para a produção de materiais ecológicos: o exemplo do resíduo de madeira**. Dissertação (Mestrado em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais no Processo Produtivo). Universidade Federal da Bahia. Escola Politécnica. Salvador, 2005. 159 p.
- TEODORO, A. S. **Utilização de adesivos à base de taninos na produção de painéis de madeira aglomerada e OSB**. 2007. 91 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais). Instituto de Florestas, Departamento de Produtos Florestais, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica-RJ, 2008.
- UNITED NATION. **Agenda 21**, capítulo 34. 1992.

VIDAURRE, G. B., SILVA, A. N., ROCHA, J. D. S., BRITO, E. O. Produção de chapas de partículas de madeira de duas espécies nativas da mata atlântica e suas combinações **Ciência Florestal**, v. 14, n. 1, p. 235-242, Santa Maria, 2004.

VIROC. **Características Viroc.** 2004. Disponível em: http://www.viroc.pt/conteudos/docs/catalogo_viroc_0.pdf Acesso em: 10 jan. 2006.

YAMAJI & BONDUELLE. Utilização da serragem na produção de compósitos plástico-madeira. **REVISTA FLORESTA** 34 (1), p. 59-66, Curitiba-PR, jan./abr. 2004.

APÊNDICE

ANÁLISE ESTATÍSTICA

COMPÓSITOS DE PARTÍCULAS MADEIRA-BORRACHA-RESINA

Univariate Analysis of Variance

Between-Subjects Factors		
		N
TRAT	A0	10
	A15	10
	A30	10
	A45	10

Descriptive Statistics			
Dependent Variable: MEA (g/cm ³)			
TRAT	Mean	Std. Deviation	N
A0	,6906	,03390	10
A15	,6884	,02736	10
A30	,6886	,02507	10
A45	,6727	,03683	10
Total	,6851	,03081	40

Levene's Test of Equality of Error Variances(a)			
Dependent Variable: MEA (g/cm ³)			
F	df1	df2	Sig.
,336	3	36	,799
Tests the null hypothesis that the error variance of the dependent variable is equal across groups.			
a Design: Intercept+TRAT			

Tests of Between-Subjects Effects								
Dependent Variable: MEA (g/cm ³)								
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared	Noncent. Parameter	Observed Power(a)
Corrected Model	,002(b)	3	,001	,712	,551	,056	2,136	,186
Intercept	18,774	1	18,774	19339,873	,000	,998	19339,873	1,000
TRAT	,002	3	,001	,712	,551	,056	2,136	,186

Error	,035	36	,001				
Total	18,811	40					
Corrected Total	,037	39					
a Computed using alpha = ,05							
b R Squared = ,056 (Adjusted R Squared = -,023)							

Post Hoc Tests

TRAT

Multiple Comparisons Dependent Variable: MEA (g/cm ³) Tukey HSD						
(I) TRAT	(J) TRAT	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
A0	A15	,0022	,01393	,998	-,0353	,0398
	A30	,0020	,01393	,999	-,0355	,0396
	A45	,0179	,01393	,577	-,0196	,0555
A15	A0	-,0022	,01393	,998	-,0398	,0353
	A30	-,0002	,01393	1,000	-,0377	,0373
	A45	,0157	,01393	,676	-,0218	,0532
A30	A0	-,0020	,01393	,999	-,0396	,0355
	A15	,0002	,01393	1,000	-,0373	,0377
	A45	,0159	,01393	,667	-,0216	,0534
A45	A0	-,0179	,01393	,577	-,0555	,0196
	A15	-,0157	,01393	,676	-,0532	,0218
	A30	-,0159	,01393	,667	-,0534	,0216
Based on observed means.						

Homogeneous Subsets

MEA (g/cm ³) Tukey HSD		
TRAT	N	Subset
		1
A45	10	,6727
A15	10	,6884
A30	10	,6886
A0	10	,6906
Sig.		,577
Means for groups in homogeneous subsets are displayed. Based on Type III Sum of Squares The error term is Mean Square(Error) = ,001.		

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 10,000.

b Alpha = ,05.

Univariate Analysis of Variance

Between-Subjects Factors		
		N
TRAT	A0	10
	A15	10
	A30	10
	A45	10

Descriptive Statistics			
Dependent Variable: MOR (MPa)			
TRAT	Mean	Std. Deviation	N
A0	17,618	2,6316	10
A15	13,010	1,4267	10
A30	9,438	1,3569	10
A45	5,590	1,2496	10
Total	11,414	4,8036	40

Levene's Test of Equality of Error Variances(a)			
Dependent Variable: MOR (MPa)			
F	df1	df2	Sig.
1,690	3	36	,186
Tests the null hypothesis that the error variance of the dependent variable is equal across groups.			
a Design: Intercept+TRAT			

Tests of Between-Subjects Effects								
Dependent Variable: MOR (MPa)								
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared	Noncent. Parameter	Observed Power(a)
Corrected Model	788,625(b)	3	262,875	85,051	,000	,876	255,153	1,000
Intercept	5210,967	1	5210,967	1685,961	,000	,979	1685,961	1,000
TRAT	788,625	3	262,875	85,051	,000	,876	255,153	1,000
Error	111,269	36	3,091					
Total	6110,861	40						
Corrected Total	899,894	39						
a Computed using alpha = ,05								
b R Squared = ,876 (Adjusted R Squared = ,866)								

Post Hoc Tests

TRAT

Multiple Comparisons Dependent Variable: MOR (MPa) Tukey HSD						
(I) TRAT	(J) TRAT	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
A0	A15	4,608(*)	,7862	,000	2,490	6,725
	A30	8,180(*)	,7862	,000	6,063	10,298
	A45	12,028(*)	,7862	,000	9,911	14,146
A15	A0	-4,608(*)	,7862	,000	-6,725	-2,490
	A30	3,572(*)	,7862	,000	1,455	5,690
	A45	7,420(*)	,7862	,000	5,303	9,538
A30	A0	-8,180(*)	,7862	,000	-10,298	-6,063
	A15	-3,572(*)	,7862	,000	-5,690	-1,455
	A45	3,848(*)	,7862	,000	1,731	5,966
A45	A0	-12,028(*)	,7862	,000	-14,146	-9,911
	A15	-7,420(*)	,7862	,000	-9,538	-5,303
	A30	-3,848(*)	,7862	,000	-5,966	-1,731
Based on observed means.						
* The mean difference is significant at the ,05 level.						

Homogeneous Subsets

MOR (MPa) Tukey HSD					
TRAT	N	Subset			
		1	2	3	4
A45	10	5,6			
A30	10		9,4		
A15	10			13,0	
A0	10				17,6
Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000
Means for groups in homogeneous subsets are displayed. Based on Type III Sum of Squares The error term is Mean Square(Error) = 3,091.					
a Uses Harmonic Mean Sample Size = 10,000.					
b Alpha = ,05.					

Univariate Analysis of Variance

Between-Subjects Factors		
		N

TRAT	A0	10
	A15	10
	A30	10
	A45	10

Descriptive Statistics			
Dependent Variable: MOE (MPa)			
TRAT	Mean	Std. Deviation	N
A0	2201,011	213,9187	10
A15	1721,844	182,6213	10
A30	1329,472	137,4396	10
A45	787,581	112,1558	10
Total	1509,977	549,2129	40

Levene's Test of Equality of Error Variances(a)			
Dependent Variable: MOE (MPa)			
F	df1	df2	Sig.
1,302	3	36	,289
Tests the null hypothesis that the error variance of the dependent variable is equal across groups.			
a Design: Intercept+TRAT			

Tests of Between-Subjects Effects								
Dependent Variable: MOE (MPa)								
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared	Noncent. Parameter	Observed Power(a)
Corrected Model	10768535,746(b)	3	3589511,915	129,843	,000	,915	389,528	1,000
Intercept	91201236,793	1	91201236,793	3299,004	,000	,989	3299,004	1,000
TRAT	10768535,746	3	3589511,915	129,843	,000	,915	389,528	1,000
Error	995222,906	36	27645,081					
Total	102964995,445	40						
Corrected Total	11763758,652	39						
a Computed using alpha = ,05								
b R Squared = ,915 (Adjusted R Squared = ,908)								

Post Hoc Tests

TRAT

Multiple Comparisons					
Dependent Variable: MOE (MPa)					
Tukey HSD					
(I) TRAT	(J) TRAT	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval

					Lower Bound	Upper Bound
A0	A15	479,167(*)	74,3574	,000	278,905	679,428
	A30	871,539(*)	74,3574	,000	671,277	1071,800
	A45	1413,430(*)	74,3574	,000	1213,169	1613,691
A15	A0	-479,167(*)	74,3574	,000	-679,428	-278,905
	A30	392,372(*)	74,3574	,000	192,111	592,633
	A45	934,263(*)	74,3574	,000	734,002	1134,524
A30	A0	-871,539(*)	74,3574	,000	-1071,800	-671,277
	A15	-392,372(*)	74,3574	,000	-592,633	-192,111
	A45	541,891(*)	74,3574	,000	341,630	742,152
A45	A0	-1413,430(*)	74,3574	,000	-1613,691	-1213,169
	A15	-934,263(*)	74,3574	,000	-1134,524	-734,002
	A30	-541,891(*)	74,3574	,000	-742,152	-341,630
Based on observed means.						
* The mean difference is significant at the ,05 level.						

Homogeneous Subsets

MOE (MPa) Tukey HSD					
TRAT	N	Subset			
		1	2	3	4
A45	10	787,6			
A30	10		1329,5		
A15	10			1721,8	
A0	10				2201,0
Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000
Means for groups in homogeneous subsets are displayed. Based on Type III Sum of Squares The error term is Mean Square(Error) = 27645,081.					
a Uses Harmonic Mean Sample Size = 10,000.					
b Alpha = ,05.					

Univariate Analysis of Variance

Between-Subjects Factors		
		N
TRAT	A0	10
	A15	10
	A30	10
	A45	10

Descriptive Statistics			
Dependent Variable: IE 2h (%)			
TRAT	Mean	Std. Deviation	N
A0	19,825	,7674	10
A15	19,718	1,4382	10
A30	14,979	1,2065	10
A45	13,601	,9263	10
Total	17,031	3,0159	40

Levene's Test of Equality of Error Variances(a)			
Dependent Variable: IE 2h (%)			
F	df1	df2	Sig.
1,625	3	36	,201
Tests the null hypothesis that the error variance of the dependent variable is equal across groups.			
a Design: Intercept+TRAT			

Tests of Between-Subjects Effects								
Dependent Variable: IE 2h (%)								
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared	Noncent. Parameter	Observed Power(a)
Corrected Model	309,984(b)	3	103,328	83,144	,000	,874	249,432	1,000
Intercept	11602,184	1	11602,184	9335,815	,000	,996	9335,815	1,000
TRAT	309,984	3	103,328	83,144	,000	,874	249,432	1,000
Error	44,739	36	1,243					
Total	11956,907	40						
Corrected Total	354,723	39						
a Computed using alpha = ,05								
b R Squared = ,874 (Adjusted R Squared = ,863)								

Post Hoc Tests

TRAT

Multiple Comparisons						
Dependent Variable: IE 2h (%)						
Tukey HSD						
(I) TRAT	(J) TRAT	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
A0	A15	,106	,4986	,996	-1,236	1,449
	A30	4,845(*)	,4986	,000	3,503	6,188
	A45	6,223(*)	,4986	,000	4,881	7,566
A15	A0	-,106	,4986	,996	-1,449	1,236

	A30	4,739(*)	,4986	,000	3,396	6,082
	A45	6,117(*)	,4986	,000	4,774	7,460
A30	A0	-4,845(*)	,4986	,000	-6,188	-3,503
	A15	-4,739(*)	,4986	,000	-6,082	-3,396
	A45	1,378(*)	,4986	,042	,035	2,721
A45	A0	-6,223(*)	,4986	,000	-7,566	-4,881
	A15	-6,117(*)	,4986	,000	-7,460	-4,774
	A30	-1,378(*)	,4986	,042	-2,721	-,035
Based on observed means.						
* The mean difference is significant at the ,05 level.						

Homogeneous Subsets

IE 2h (%) Tukey HSD				
TRAT	N	Subset		
		1	2	3
A45	10	13,6		
A30	10		15,0	
A15	10			19,7
A0	10			19,8
Sig.		1,000	1,000	,996
Means for groups in homogeneous subsets are displayed. Based on Type III Sum of Squares The error term is Mean Square(Error) = 1,243. a Uses Harmonic Mean Sample Size = 10,000. b Alpha = ,05.				

Univariate Analysis of Variance

		N
TRAT	A0	10
	A15	10
	A30	10
	A45	10

Descriptive Statistics Dependent Variable: IE 24h (%)			
TRAT	Mean	Std. Deviation	N
A0	22,063	,8770	10
A15	21,833	1,3284	10
A30	16,970	1,2132	10

A45	15,583	,9660	10
Total	19,112	3,1049	40

Levene's Test of Equality of Error Variances(a)			
Dependent Variable: IE 24h (%)			
F	df1	df2	Sig.
,611	3	36	,612
Tests the null hypothesis that the error variance of the dependent variable is equal across groups.			
a Design: Intercept+TRAT			

Tests of Between-Subjects Effects								
Dependent Variable: IE 24h (%)								
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared	Noncent. Parameter	Observed Power(a)
Corrected Model	331,521(b)	3	110,507	89,504	,000	,882	268,513	1,000
Intercept	14611,099	1	14611,099	11834,127	,000	,997	11834,127	1,000
TRAT	331,521	3	110,507	89,504	,000	,882	268,513	1,000
Error	44,448	36	1,235					
Total	14987,068	40						
Corrected Total	375,969	39						
a Computed using alpha = ,05								
b R Squared = ,882 (Adjusted R Squared = ,872)								

Post Hoc Tests

TRAT

Multiple Comparisons						
Dependent Variable: IE 24h (%)						
Tukey HSD						
(I) TRAT	(J) TRAT	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
A0	A15	,230	,4969	,967	-1,108	1,569
	A30	5,093(*)	,4969	,000	3,755	6,432
	A45	6,480(*)	,4969	,000	5,141	7,818
A15	A0	-,230	,4969	,967	-1,569	1,108
	A30	4,863(*)	,4969	,000	3,525	6,201
	A45	6,249(*)	,4969	,000	4,911	7,588
A30	A0	-5,093(*)	,4969	,000	-6,432	-3,755
	A15	-4,863(*)	,4969	,000	-6,201	-3,525
	A45	1,386(*)	,4969	,040	,048	2,725
A45	A0	-6,480(*)	,4969	,000	-7,818	-5,141

	A15	-6,249(*)	,4969	,000	-7,588	-4,911
	A30	-1,386(*)	,4969	,040	-2,725	-,048
Based on observed means.						
* The mean difference is significant at the ,05 level.						

Homogeneous Subsets

IE 24h (%) Tukey HSD				
TRAT	N	Subset		
		1	2	3
A45	10	15,6		
A30	10		17,0	
A15	10			21,8
A0	10			22,1
Sig.		1,000	1,000	,967
Means for groups in homogeneous subsets are displayed. Based on Type III Sum of Squares The error term is Mean Square(Error) = 1,235.				
a Uses Harmonic Mean Sample Size = 10,000.				
b Alpha = ,05.				

Univariate Analysis of Variance

Between-Subjects Factors		
		N
TRAT	A0	10
	A15	10
	A30	10
	A45	10

Descriptive Statistics			
Dependent Variable: AA 2h (%)			
TRAT	Mean	Std. Deviation	N
A0	72,651	4,9956	10
A15	75,795	4,6738	10
A30	65,273	5,4367	10
A45	64,634	8,2217	10
Total	69,588	7,5214	40

Levene's Test of Equality of Error Variances(a)			
Dependent Variable: AA 2h (%)			
F	df1	df2	Sig.

1,993	3	36	,132
Tests the null hypothesis that the error variance of the dependent variable is equal across groups.			
a Design: Intercept+TRAT			

Tests of Between-Subjects Effects								
Dependent Variable: AA 2h (%)								
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared	Noncent. Parameter	Observed Power(a)
Corrected Model	910,695(b)	3	303,565	8,435	,000	,413	25,305	,987
Intercept	193701,082	1	193701,082	5382,289	,000	,993	5382,289	1,000
TRAT	910,695	3	303,565	8,435	,000	,413	25,305	,987
Error	1295,590	36	35,989					
Total	195907,367	40						
Corrected Total	2206,285	39						
a Computed using alpha = ,05								
b R Squared = ,413 (Adjusted R Squared = ,364)								

Post Hoc Tests

TRAT

Multiple Comparisons						
Dependent Variable: AA 2h (%)						
Tukey HSD						
(I) TRAT	(J) TRAT	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
A0	A15	-3,145	2,6829	,648	-10,370	4,081
	A30	7,377(*)	2,6829	,044	,152	14,603
	A45	8,017(*)	2,6829	,025	,791	15,242
A15	A0	3,145	2,6829	,648	-4,081	10,370
	A30	10,522(*)	2,6829	,002	3,296	17,747
	A45	11,162(*)	2,6829	,001	3,936	18,387
A30	A0	-7,377(*)	2,6829	,044	-14,603	-,152
	A15	-10,522(*)	2,6829	,002	-17,747	-3,296
	A45	,640	2,6829	,995	-6,586	7,865
A45	A0	-8,017(*)	2,6829	,025	-15,242	-,791
	A15	-11,162(*)	2,6829	,001	-18,387	-3,936
	A30	-,640	2,6829	,995	-7,865	6,586
Based on observed means.						
* The mean difference is significant at the ,05 level.						

Homogeneous Subsets

AA 2h (%) Tukey HSD			
TRAT	N	Subset	
		1	2
A45	10	64,6	
A30	10	65,3	
A0	10		72,7
A15	10		75,8
Sig.		,995	,648
Means for groups in homogeneous subsets are displayed. Based on Type III Sum of Squares The error term is Mean Square(Error) = 35,989.			
a Uses Harmonic Mean Sample Size = 10,000.			
b Alpha = ,05.			

Univariate Analysis of Variance

Between-Subjects Factors		
		N
TRAT	A0	10
	A15	10
	A30	10
	A45	10

Descriptive Statistics			
Dependent Variable: AA 24h (%)			
TRAT	Mean	Std. Deviation	N
A0	80,766	4,7451	10
A15	81,197	4,8469	10
A30	69,168	5,0249	10
A45	67,943	7,1409	10
Total	74,768	8,2475	40

Levene's Test of Equality of Error Variances(a)			
Dependent Variable: AA 24h (%)			
F	df1	df2	Sig.
1,191	3	36	,327
Tests the null hypothesis that the error variance of the dependent variable is equal across groups.			
a Design: Intercept+TRAT			

Tests of Between-Subjects Effects
Dependent Variable: AA 24h (%)

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared	Noncent. Parameter	Observed Power(a)
Corrected Model	1552,565(b)	3	517,522	16,933	,000	,585	50,799	1,000
Intercept	223611,859	1	223611,859	7316,438	,000	,995	7316,438	1,000
TRAT	1552,565	3	517,522	16,933	,000	,585	50,799	1,000
Error	1100,266	36	30,563					
Total	226264,690	40						
Corrected Total	2652,831	39						

a Computed using alpha = ,05

b R Squared = ,585 (Adjusted R Squared = ,551)

Post Hoc Tests

TRAT

Multiple Comparisons Dependent Variable: AA 24h (%) Tukey HSD						
(I) TRAT	(J) TRAT	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
A0	A15	-,432	2,4724	,998	-7,090	6,227
	A30	11,598(*)	2,4724	,000	4,939	18,257
	A45	12,823(*)	2,4724	,000	6,164	19,482
A15	A0	,432	2,4724	,998	-6,227	7,090
	A30	12,030(*)	2,4724	,000	5,371	18,688
	A45	13,255(*)	2,4724	,000	6,596	19,913
A30	A0	-11,598(*)	2,4724	,000	-18,257	-4,939
	A15	-12,030(*)	2,4724	,000	-18,688	-5,371
	A45	1,225	2,4724	,960	-5,434	7,884
A45	A0	-12,823(*)	2,4724	,000	-19,482	-6,164
	A15	-13,255(*)	2,4724	,000	-19,913	-6,596
	A30	-1,225	2,4724	,960	-7,884	5,434

Based on observed means.

* The mean difference is significant at the ,05 level.

Homogeneous Subsets

AA 24h (%) Tukey HSD			
TRAT	N	Subset	
		1	2
A45	10	67,9	

A30	10	69,2	
A0	10		80,8
A15	10		81,2
Sig.		,960	,998
Means for groups in homogeneous subsets are displayed. Based on Type III Sum of Squares The error term is Mean Square(Error) = 30,563.			
a Uses Harmonic Mean Sample Size = 10,000.			
b Alpha = ,05.			

Univariate Analysis of Variance

Between-Subjects Factors		
		N
TRAT	A0	10
	A15	10
	A30	10
	A45	10

Descriptive Statistics			
Dependent Variable: LI (kgf/cm ²)			
TRAT	Mean	Std. Deviation	N
A0	4,7626	1,97154	10
A15	2,4122	,33988	10
A30	1,9743	,42698	10
A45	,8993	,23783	10
Total	2,5121	1,73812	40

Levene's Test of Equality of Error Variances(a)			
Dependent Variable: LI (kgf/cm ²)			
F	df1	df2	Sig.
7,348	3	36	,001
Tests the null hypothesis that the error variance of the dependent variable is equal across groups.			
a Design: Intercept+TRAT			

Tests of Between-Subjects Effects								
Dependent Variable: LI (kgf/cm ²)								
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared	Noncent. Parameter	Observed Power(a)
Corrected Model	79,650(b)	3	26,550	25,039	,000	,676	75,117	1,000
Intercept	252,428	1	252,428	238,064	,000	,869	238,064	1,000
TRAT	79,650	3	26,550	25,039	,000	,676	75,117	1,000

Error	38,172	36	1,060				
Total	370,250	40					
Corrected Total	117,822	39					
a Computed using alpha = ,05							
b R Squared = ,676 (Adjusted R Squared = ,649)							

Estimated Marginal Means

TRAT				
Dependent Variable: LI (kgf/cm ²)				
TRAT	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
A0	4,763	,326	4,102	5,423
A15	2,412	,326	1,752	3,073
A30	1,974	,326	1,314	2,635
A45	,899	,326	,239	1,560

Post Hoc Tests

TRAT

Multiple Comparisons						
Dependent Variable: LI (kgf/cm ²)						
Tukey HSD						
(I) TRAT	(J) TRAT	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
A0	A15	2,3504(*)	,46051	,000	1,1102	3,5907
	A30	2,7883(*)	,46051	,000	1,5480	4,0285
	A45	3,8633(*)	,46051	,000	2,6230	5,1035
A15	A0	-2,3504(*)	,46051	,000	-3,5907	-1,1102
	A30	,4378	,46051	,778	-,8024	1,6781
	A45	1,5128(*)	,46051	,012	,2726	2,7531
A30	A0	-2,7883(*)	,46051	,000	-4,0285	-1,5480
	A15	-,4378	,46051	,778	-1,6781	,8024
	A45	1,0750	,46051	,109	-,1653	2,3152
A45	A0	-3,8633(*)	,46051	,000	-5,1035	-2,6230
	A15	-1,5128(*)	,46051	,012	-2,7531	-,2726
	A30	-1,0750	,46051	,109	-2,3152	,1653
Based on observed means.						
* The mean difference is significant at the ,05 level.						

Homogeneous Subsets

LI (kgf/cm ²) Tukey HSD				
TRAT	N	Subset		
		1	2	3
A45	10	,9		
A30	10	2,0	2,0	
A15	10		2,4	
A0	10			4,8
Sig.		,109	,778	1,000
Means for groups in homogeneous subsets are displayed. Based on Type III Sum of Squares The error term is Mean Square(Error) = 1,060.				
a Uses Harmonic Mean Sample Size = 10,000.				
b Alpha = ,05.				

Univariate Analysis of Variance

Between-Subjects Factors		
		N
TRAT	A0	10
	A15	10
	A30	10
	A45	10

Descriptive Statistics			
Dependent Variable: AP (N)			
TRAT	Mean	Std. Deviation	N
A0	1197,66	171,916	10
A15	804,29	142,113	10
A30	556,15	121,667	10
A45	312,72	86,727	10
Total	717,70	355,482	40

Levene's Test of Equality of Error Variances(a)			
Dependent Variable: AP (N)			
F	df1	df2	Sig.
1,142	3	36	,345
Tests the null hypothesis that the error variance of the dependent variable is equal across groups.			
a Design: Intercept+TRAT			

Tests of Between-Subjects Effects
Dependent Variable: AP (N)

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared	Noncent. Parameter	Observed Power(a)
Corrected Model	4279656,399(b)	3	1426552,133	79,170	,000	,868	237,510	1,000
Intercept	20603903,848	1	20603903,848	1143,462	,000	,969	1143,462	1,000
TRAT	4279656,399	3	1426552,133	79,170	,000	,868	237,510	1,000
Error	648679,515	36	18018,875					
Total	25532239,762	40						
Corrected Total	4928335,914	39						

a Computed using alpha = ,05

b R Squared = ,868 (Adjusted R Squared = ,857)

Post Hoc Tests

TRAT

Multiple Comparisons Dependent Variable: AP (N) Tukey HSD						
(I) TRAT	(J) TRAT	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
A0	A15	393,37(*)	60,031	,000	231,69	555,05
	A30	641,51(*)	60,031	,000	479,83	803,19
	A45	884,94(*)	60,031	,000	723,26	1046,62
A15	A0	-393,37(*)	60,031	,000	-555,05	-231,69
	A30	248,14(*)	60,031	,001	86,46	409,81
	A45	491,57(*)	60,031	,000	329,89	653,25
A30	A0	-641,51(*)	60,031	,000	-803,19	-479,83
	A15	-248,14(*)	60,031	,001	-409,81	-86,46
	A45	243,43(*)	60,031	,001	81,75	405,11
A45	A0	-884,94(*)	60,031	,000	-1046,62	-723,26
	A15	-491,57(*)	60,031	,000	-653,25	-329,89
	A30	-243,43(*)	60,031	,001	-405,11	-81,75

Based on observed means.

* The mean difference is significant at the ,05 level.

Homogeneous Subsets

AP (N) Tukey HSD					
TRAT	N	Subset			
		1	2	3	4
A45	10	312,72			

A30	10		556,15		
A15	10			804,29	
A0	10				1197,66
Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000
Means for groups in homogeneous subsets are displayed. Based on Type III Sum of Squares The error term is Mean Square(Error) = 18018,875.					
a Uses Harmonic Mean Sample Size = 10,000.					
b Alpha = ,05.					

Explore

TRAT

Case Processing Summary							
	TRAT	Cases					
		Valid		Missing		Total	
		N	Percent	N	Percent	N	Percent
LI (kgf/cm²)	A0	10	100,0%	0	,0%	10	100,0%
	A15	10	100,0%	0	,0%	10	100,0%
	A30	10	100,0%	0	,0%	10	100,0%
	A45	10	100,0%	0	,0%	10	100,0%

Descriptives							
	TRAT				Statistic	Std. Error	
LI (kgf/cm²)	A0	Mean			4,7626	,62345	
		95% Confidence Interval for Mean			Lower Bound	3,3523	
					Upper Bound	6,1730	
		5% Trimmed Mean			4,5765		
		Median			4,0321		
		Variance			3,887		
		Std. Deviation			1,97154		
		Minimum			3,15		
		Maximum			9,72		
		Range			6,57		
	Interquartile Range			2,09			
	Skewness			2,075	,687		
	Kurtosis			4,664	1,334		
	A15	Mean			2,4122	,10748	
95% Confidence Interval for Mean			Lower Bound	2,1690			
			Upper Bound	2,6553			

		5% Trimmed Mean	2,4215		
		Median	2,4843		
		Variance	,116		
		Std. Deviation	,33988		
		Minimum	1,78		
		Maximum	2,88		
		Range	1,10		
		Interquartile Range	,58		
		Skewness	-,648	,687	
		Kurtosis	-,212	1,334	
	A30	Mean	1,9743	,13502	
		95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	1,6689	
			Upper Bound	2,2798	
			5% Trimmed Mean	1,9469	
			Median	1,8728	
			Variance	,182	
			Std. Deviation	,42698	
			Minimum	1,47	
			Maximum	2,98	
			Range	1,51	
			Interquartile Range	,47	
			Skewness	1,542	,687
			Kurtosis	2,940	1,334
		A45	Mean	,8993	,07521
	95% Confidence Interval for Mean		Lower Bound	,7292	
			Upper Bound	1,0695	
			5% Trimmed Mean	,9091	
			Median	,9051	
			Variance	,057	
			Std. Deviation	,23783	
			Minimum	,41	
			Maximum	1,22	
			Range	,81	
			Interquartile Range	,31	
		Skewness	-,726	,687	
		Kurtosis	,879	1,334	

Extreme Values			
	TRAT		
		Case Number	Value

LI (kgf/cm²)	A0	Highest	1	3	9,72
			2	7	6,07
			3	2	5,52
			4	4	4,30
			5	5	4,15
		Lowest	1	1	3,15
			2	8	3,33
			3	10	3,65
			4	6	3,82
			5	9	3,92
	A15	Highest	1	18	2,88
			2	19	2,72
			3	20	2,68
			4	16	2,54
			5	14	2,51
		Lowest	1	15	1,78
			2	13	2,03
			3	11	2,13
			4	12	2,41
			5	17	2,46
	A30	Highest	1	24	2,98
			2	25	2,35
			3	28	2,08
			4	30	1,97
			5	23	1,90
		Lowest	1	29	1,47
			2	26	1,66
			3	27	1,68
			4	21	1,81
			5	22	1,84
	A45	Highest	1	32	1,22
			2	38	1,17
			3	33	1,05
			4	35	1,03
			5	37	,95
		Lowest	1	31	,41
			2	36	,74
			3	39	,77
			4	40	,80

			5	34	,86
--	--	--	---	----	-----

Stem-and-Leaf Plots

LI (kgf/cm²) Stem-and-Leaf Plot for
TRAT= A0

Frequency Stem & Leaf

5,00 3 . 13689
2,00 4 . 12
1,00 5 . 5
1,00 6 . 0
1,00 Extremes (>=9,7)

Stem width: 1,00
Each leaf: 1 case(s)

LI (kgf/cm²) Stem-and-Leaf Plot for
TRAT= A15

Frequency Stem & Leaf

1,00 1 . 7
4,00 2 . 0144
5,00 2 . 55678

Stem width: 1,00
Each leaf: 1 case(s)

LI (kgf/cm²) Stem-and-Leaf Plot for
TRAT= A30

Frequency Stem & Leaf

1,00 1 . 4
6,00 1 . 668899
2,00 2 . 03
1,00 Extremes (>=3,0)

Stem width: 1,00
Each leaf: 1 case(s)

LI (kgf/cm²) Stem-and-Leaf Plot for
TRAT= A45

Frequency Stem & Leaf

1,00 0 . 4
 5,00 0 . 77889
 4,00 1 . 0012

Stem width: 1,00
 Each leaf: 1 case(s)

Univariate Analysis of Variance

Between-Subjects Factors		
		N
TRAT	A0	9
	A15	10
	A30	9
	A45	10

Descriptive Statistics			
Dependent Variable: LI (kgf/cm ²)			
TRAT	Mean	Std. Deviation	N
A0	4,2113	,97658	9
A15	2,4122	,33988	10
A30	1,8631	,25668	9
A45	,8993	,23783	10
Total	2,3101	1,31563	38

Levene's Test of Equality of Error Variances(a)			
Dependent Variable: LI (kgf/cm ²)			
F	df1	df2	Sig.
5,673	3	34	,003
Tests the null hypothesis that the error variance of the dependent variable is equal across groups.			
a Design: Intercept+TRAT			

Tests of Between-Subjects Effects								
Dependent Variable: LI (kgf/cm ²)								
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared	Noncent. Parameter	Observed Power(a)
Corrected Model	54,337(b)	3	18,112	63,451	,000	,848	190,352	1,000
Intercept	208,647	1	208,647	730,929	,000	,956	730,929	1,000
TRAT	54,337	3	18,112	63,451	,000	,848	190,352	1,000
Error	9,705	34	,285					

Total	266,836	38					
Corrected Total	64,042	37					
a Computed using alpha = ,05							
b R Squared = ,848 (Adjusted R Squared = ,835)							

Post Hoc Tests

TRAT

Multiple Comparisons Dependent Variable: LI (kgf/cm ²) Tukey HSD						
(I) TRAT	(J) TRAT	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
A0	A15	1,7991(*)	,24548	,000	1,1361	2,4621
	A30	2,3482(*)	,25186	,000	1,6680	3,0285
	A45	3,3120(*)	,24548	,000	2,6490	3,9750
A15	A0	-1,7991(*)	,24548	,000	-2,4621	-1,1361
	A30	,5491	,24548	,134	-,1139	1,2121
	A45	1,5128(*)	,23894	,000	,8675	2,1582
A30	A0	-2,3482(*)	,25186	,000	-3,0285	-1,6680
	A15	-,5491	,24548	,134	-1,2121	,1139
	A45	,9638(*)	,24548	,002	,3008	1,6268
A45	A0	-3,3120(*)	,24548	,000	-3,9750	-2,6490
	A15	-1,5128(*)	,23894	,000	-2,1582	-,8675
	A30	-,9638(*)	,24548	,002	-1,6268	-,3008
Based on observed means.						
* The mean difference is significant at the ,05 level.						

Homogeneous Subsets

LI (kgf/cm ²) Tukey HSD				
TRAT	N	Subset		
		1	2	3
A45	10	,90		
A30	9		1,86	
A15	10		2,41	
A0	9			4,21
Sig.		1,000	,134	1,000
Means for groups in homogeneous subsets are displayed. Based on Type III Sum of Squares The error term is Mean Square(Error) = ,285.				

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 9,474.
b The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.
c Alpha = ,05.

Univariate Analysis of Variance

Between-Subjects Factors		
		N
TRAT	A0	10
	A15	10
	A30	10
	A45	10

Descriptive Statistics			
Dependent Variable: D (N)			
TRAT	Mean	Std. Deviation	N
A0	3410,89	212,414	10
A15	3042,41	404,259	10
A30	2427,95	218,955	10
A45	1517,04	166,090	10
Total	2599,57	769,838	40

Levene's Test of Equality of Error Variances(a)			
Dependent Variable: D (N)			
F	df1	df2	Sig.
4,364	3	36	,010
Tests the null hypothesis that the error variance of the dependent variable is equal across groups.			
a Design: Intercept+TRAT			

Tests of Between-Subjects Effects								
Dependent Variable: D (N)								
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared	Noncent. Parameter	Observed Power(a)
Corrected Model	20556720,333(b)	3	6852240,111	96,486	,000	,889	289,458	1,000
Intercept	270311087,310	1	270311087,310	3806,231	,000	,991	3806,231	1,000
TRAT	20556720,333	3	6852240,111	96,486	,000	,889	289,458	1,000
Error	2556649,627	36	71018,045					
Total	293424457,270	40						
Corrected Total	23113369,960	39						

a Computed using alpha = ,05
b R Squared = ,889 (Adjusted R Squared = ,880)

Estimated Marginal Means

TRAT				
Dependent Variable: D (N)				
TRAT	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
A0	3410,890	84,272	3239,978	3581,802
A15	3042,410	84,272	2871,498	3213,322
A30	2427,950	84,272	2257,038	2598,862
A45	1517,040	84,272	1346,128	1687,952

Post Hoc Tests

TRAT						
Multiple Comparisons						
Dependent Variable: D (N)						
Tukey HSD						
(I) TRAT	(J) TRAT	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
A0	A15	368,48(*)	119,179	,019	47,50	689,46
	A30	982,94(*)	119,179	,000	661,96	1303,92
	A45	1893,85(*)	119,179	,000	1572,87	2214,83
A15	A0	-368,48(*)	119,179	,019	-689,46	-47,50
	A30	614,46(*)	119,179	,000	293,48	935,44
	A45	1525,37(*)	119,179	,000	1204,39	1846,35
A30	A0	-982,94(*)	119,179	,000	-1303,92	-661,96
	A15	-614,46(*)	119,179	,000	-935,44	-293,48
	A45	910,91(*)	119,179	,000	589,93	1231,89
A45	A0	-1893,85(*)	119,179	,000	-2214,83	-1572,87
	A15	-1525,37(*)	119,179	,000	-1846,35	-1204,39
	A30	-910,91(*)	119,179	,000	-1231,89	-589,93
Based on observed means.						
* The mean difference is significant at the ,05 level.						

Homogeneous Subsets

D (N)					
Tukey HSD					
TRAT	N	Subset			
		1	2	3	4

A45	10	1517,04			
A30	10		2427,95		
A15	10			3042,41	
A0	10				3410,89
Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000
Means for groups in homogeneous subsets are displayed. Based on Type III Sum of Squares The error term is Mean Square(Error) = 71018,045.					
a Uses Harmonic Mean Sample Size = 10,000.					
b Alpha = ,05.					

COMPÓSITOS CIMENTO-MADEIRA-BORRACHA

Univariate Analysis of Variance

Between-Subjects Factors		
		N
BORRACHA PNEU (%)	0	10
	15	10
	30	10

Descriptive Statistics			
Dependent Variable: MEA (g/cm ³)			
BORRACHA PNEU (%)	Mean	Std. Deviation	N
0	1,3453	,03602	10
15	1,1403	,04489	10
30	1,0967	,03242	10
Total	1,1941	,11624	30

Levene's Test of Equality of Error Variances(a)			
Dependent Variable: MEA (g/cm ³)			
F	df1	df2	Sig.
,234	2	27	,793
Tests the null hypothesis that the error variance of the dependent variable is equal across groups.			
a Design: Intercept+BORRACHAPNEU			

Tests of Between-Subjects Effects								
Dependent Variable: MEA (g/cm ³)								
Source	Type III	df	Mean	F	Sig.	Partial Eta	Noncent.	Observed

	Sum of Squares		Square			Squared	Parameter	Power(a)
Corrected Model	,353(b)	2	,176	121,194	,000	,900	242,388	1,000
Intercept	42,775	1	42,775	29407,638	,000	,999	29407,638	1,000
BORRACHAPNEU	,353	2	,176	121,194	,000	,900	242,388	1,000
Error	,039	27	,001					
Total	43,167	30						
Corrected Total	,392	29						
a Computed using alpha = ,05								
b R Squared = ,900 (Adjusted R Squared = ,892)								

Estimated Marginal Means

BORRACHA PNEU (%) Dependent Variable: MEA (g/cm ³)				
BORRACHA PNEU (%)	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
0	1,345	,012	1,321	1,370
15	1,140	,012	1,116	1,165
30	1,097	,012	1,072	1,121

Post Hoc Tests

BORRACHA PNEU (%)

Multiple Comparisons Dependent Variable: MEA (g/cm ³) Tukey HSD						
(I) BORRACHA PNEU (%)	(J) BORRACHA PNEU (%)	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
0	15	,2051(*)	,01706	,000	,1628	,2474
	30	,2486(*)	,01706	,000	,2063	,2909
15	0	-,2051(*)	,01706	,000	-,2474	-,1628
	30	,0436(*)	,01706	,043	,0013	,0859
30	0	-,2486(*)	,01706	,000	-,2909	-,2063
	15	-,0436(*)	,01706	,043	-,0859	-,0013
Based on observed means.						
* The mean difference is significant at the ,05 level.						

Homogeneous Subsets

MEA (g/cm ³) Tukey HSD

BORRACHA PNEU (%)	N	Subset		
		1	2	3
30	10	1,0967		
15	10		1,1403	
0	10			1,3453
Sig.		1,000	1,000	1,000
Means for groups in homogeneous subsets are displayed. Based on Type III Sum of Squares The error term is Mean Square(Error) = ,001.				
a Uses Harmonic Mean Sample Size = 10,000.				
b Alpha = ,05.				

Univariate Analysis of Variance

Between-Subjects Factors		
		N
BORRACHA PNEU (%)	0	10
	15	10
	30	10

Descriptive Statistics			
Dependent Variable: MOR (MPa)			
BORRACHA PNEU (%)	Mean	Std. Deviation	N
0	9,775	1,2631	10
15	3,832	,7300	10
30	3,289	,3185	10
Total	5,632	3,1018	30

Levene's Test of Equality of Error Variances(a)			
Dependent Variable: MOR (MPa)			
F	df1	df2	Sig.
8,924	2	27	,001
Tests the null hypothesis that the error variance of the dependent variable is equal across groups.			
a Design: Intercept+BORRACHAPNEU			

Tests of Between-Subjects Effects								
Dependent Variable: MOR (MPa)								
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared	Noncent. Parameter	Observed Power(a)
Corrected Model	258,954(b)	2	129,477	174,212	,000	,928	348,424	1,000
Intercept	951,650	1	951,650	1280,452	,000	,979	1280,452	1,000
BORRACHAPNEU	258,954	2	129,477	174,212	,000	,928	348,424	1,000

Error	20,067	27	,743				
Total	1230,670	30					
Corrected Total	279,020	29					
a Computed using alpha = ,05							
b R Squared = ,928 (Adjusted R Squared = ,923)							

Estimated Marginal Means

BORRACHA PNEU (%)				
Dependent Variable: MOR (MPa)				
BORRACHA PNEU (%)	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
0	9,775	,273	9,216	10,335
15	3,832	,273	3,273	4,392
30	3,289	,273	2,730	3,848

Post Hoc Tests

BORRACHA PNEU (%)

Multiple Comparisons						
Dependent Variable: MOR (MPa)						
Tukey HSD						
(I) BORRACHA PNEU (%)	(J) BORRACHA PNEU (%)	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
0	15	5,943(*)	,3855	,000	4,987	6,899
	30	6,486(*)	,3855	,000	5,530	7,442
15	0	-5,943(*)	,3855	,000	-6,899	-4,987
	30	,543	,3855	,350	-413	1,499
30	0	-6,486(*)	,3855	,000	-7,442	-5,530
	15	-,543	,3855	,350	-1,499	,413
Based on observed means.						
* The mean difference is significant at the ,05 level.						

Homogeneous Subsets

MOR (MPa)			
Tukey HSD			
BORRACHA PNEU (%)	N	Subset	
		1	2
30	10	3,289	
15	10	3,832	
0	10		9,775

Sig.		,350	1,000
Means for groups in homogeneous subsets are displayed. Based on Type III Sum of Squares The error term is Mean Square(Error) = ,743.			
a Uses Harmonic Mean Sample Size = 10,000.			
b Alpha = ,05.			

Univariate Analysis of Variance

Between-Subjects Factors		
		N
	0	10
BORRACHA PNEU (%)	15	10
	30	10

Descriptive Statistics			
Dependent Variable: MOE (MPa)			
BORRACHA PNEU (%)	Mean	Std. Deviation	N
0	2936,144	360,5771	10
15	1138,446	274,1337	10
30	904,154	101,7419	10
Total	1659,581	958,7761	30

Levene's Test of Equality of Error Variances(a)			
Dependent Variable: MOE (MPa)			
F	df1	df2	Sig.
4,525	2	27	,020
Tests the null hypothesis that the error variance of the dependent variable is equal across groups.			
a Design: Intercept+BORRACHAPNEU			

Tests of Between-Subjects Effects								
Dependent Variable: MOE (MPa)								
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared	Noncent. Parameter	Observed Power(a)
Corrected Model	24718645,539(b)	2	12359322,769	172,042	,000	,927	344,085	1,000
Intercept	82626271,203	1	82626271,203	1150,161	,000	,977	1150,161	1,000
BORRACHAPNEU	24718645,539	2	12359322,769	172,042	,000	,927	344,085	1,000
Error	1939648,864	27	71838,847					
Total	109284565,606	30						
Corrected Total	26658294,403	29						
a Computed using alpha = ,05								
b R Squared = ,927 (Adjusted R Squared = ,922)								

Estimated Marginal Means

BORRACHA PNEU (%) Dependent Variable: MOE (MPa)				
BORRACHA PNEU (%)	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
0	2936,144	84,758	2762,235	3110,052
15	1138,446	84,758	964,537	1312,354
30	904,154	84,758	730,245	1078,062

Post Hoc Tests

BORRACHA PNEU (%)

Multiple Comparisons Dependent Variable: MOE (MPa) Tukey HSD						
(I) BORRACHA PNEU (%)	(J) BORRACHA PNEU (%)	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
0	15	1797,698(*)	119,8656	,000	1500,501	2094,895
	30	2031,990(*)	119,8656	,000	1734,793	2329,187
15	0	-1797,698(*)	119,8656	,000	-2094,895	-1500,501
	30	234,292	119,8656	,143	-62,905	531,489
30	0	-2031,990(*)	119,8656	,000	-2329,187	-1734,793
	15	-234,292	119,8656	,143	-531,489	62,905
Based on observed means.						
* The mean difference is significant at the ,05 level.						

Homogeneous Subsets

MOE (MPa) Tukey HSD			
BORRACHA PNEU (%)	N	Subset	
		1	2
30	10	904,154	
15	10	1138,446	
0	10		2936,144
Sig.		,143	1,000
Means for groups in homogeneous subsets are displayed. Based on Type III Sum of Squares The error term is Mean Square(Error) = 71838,847.			
a Uses Harmonic Mean Sample Size = 10,000.			

b Alpha = ,05.

Univariate Analysis of Variance

Between-Subjects Factors		
		N
	0	10
BORRACHA PNEU (%)	15	10
	30	10

Descriptive Statistics			
Dependent Variable: IE 2h (%)			
BORRACHA PNEU (%)	Mean	Std. Deviation	N
0	,672	,2041	10
15	,225	,1720	10
30	2,592	2,2819	10
Total	1,163	1,6520	30

Levene's Test of Equality of Error Variances(a)			
Dependent Variable: IE 2h (%)			
F	df1	df2	Sig.
13,256	2	27	,000

Tests the null hypothesis that the error variance of the dependent variable is equal across groups.

a Design: Intercept+BORRACHAPNEU

Tests of Between-Subjects Effects								
Dependent Variable: IE 2h (%)								
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared	Noncent. Parameter	Observed Power(a)
Corrected Model	31,635(b)	2	15,817	8,990	,001	,400	17,980	,957
Intercept	40,555	1	40,555	23,050	,000	,461	23,050	,996
BORRACHAPNEU	31,635	2	15,817	8,990	,001	,400	17,980	,957
Error	47,505	27	1,759					
Total	119,694	30						
Corrected Total	79,139	29						

a Computed using alpha = ,05

b R Squared = ,400 (Adjusted R Squared = ,355)

Estimated Marginal Means

BORRACHA PNEU (%)
Dependent Variable: IE 2h (%)

BORRACHA PNEU (%)	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
0	,672	,419	-,189	1,532
15	,225	,419	-,636	1,085
30	2,592	,419	1,731	3,452

Post Hoc Tests

BORRACHA PNEU (%)

Multiple Comparisons Dependent Variable: IE 2h (%) Tukey HSD						
(I) BORRACHA PNEU (%)	(J) BORRACHA PNEU (%)	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
0	15	,447	,5932	,734	-1,024	1,918
	30	-1,920(*)	,5932	,009	-3,391	-,449
15	0	-,447	,5932	,734	-1,918	1,024
	30	-2,367(*)	,5932	,001	-3,838	-,896
30	0	1,920(*)	,5932	,009	,449	3,391
	15	2,367(*)	,5932	,001	,896	3,838
Based on observed means.						
* The mean difference is significant at the ,05 level.						

Homogeneous Subsets

IE 2h (%) Tukey HSD			
BORRACHA PNEU (%)	N	Subset	
		1	2
15	10	,225	
0	10	,672	
30	10		2,592
Sig.		,734	1,000
Means for groups in homogeneous subsets are displayed. Based on Type III Sum of Squares The error term is Mean Square(Error) = 1,759.			
a Uses Harmonic Mean Sample Size = 10,000.			
b Alpha = ,05.			

Interactive Graph

Notes

Output Created		03-NOV-2008 16:48:24
Comments		
Input	Data	F:\SPSS_\cimento.sav
	Filter	<none>
	Weight	<none>
	Split File	<none>
Syntax		<pre> IGRAPH /VIEWNAME='Bar Chart' /X1 = VAR(BORRACHAPNEU) TYPE = CATEGORICAL /Y = VAR(IE2h) TYPE = SCALE /COORDINATE = VERTICAL /X1LENGTH=3.0 /YLENGTH=3.0 /X2LENGTH=3.0 /CHARTLOOK='NONE' /CATORDER VAR(BORRACHAPNEU) (DESCENDING MEAN VAR(IE2h) OMITEMPTY) /BAR(MEAN) KEY=ON LABEL INSIDE VAL SHAPE = RECTANGLE BASELINE = AUTO /ERRORBAR CI(95.0) DIRECTION = BOTH CAPWIDTH (45) CAPSTYLE = T. </pre>
Resources	Elapsed Time	0:00:00,03

Explore

Notes		
Output Created		03-NOV-2008 16:55:24
Comments		
Input	Data	F:\SPSS_\cimento.sav
	Filter	<none>
	Weight	<none>
	Split File	<none>
	N of Rows in Working Data File	31
Missing Value Handling	Definition of Missing	User-defined missing values for dependent variables are treated as missing.
	Cases Used	Statistics are based on cases with no missing values for any dependent variable or factor used.
Syntax		<pre> EXAMINE VARIABLES=IE2h /PLOT BOXPLOT STEMLEAF /COMPARE GROUP /STATISTICS DESCRIPTIVES EXTREME /CINTERVAL 95 /MISSING LISTWISE /NOTOTAL. </pre>
Resources	Elapsed Time	0:00:00,28

Case Processing Summary			
	Cases		
	Valid	Missing	Total

	N	Percent	N	Percent	N	Percent
IE 2h (%)	30	96,8%	1	3,2%	31	100,0%

Descriptives				
			Statistic	Std. Error
IE 2h (%)	Mean		1,163	,3016
	95% Confidence Interval for Mean		Lower Bound	,546
			Upper Bound	1,780
	5% Trimmed Mean		,902	
	Median		,660	
	Variance		2,729	
	Std. Deviation		1,6520	
	Minimum		,0	
	Maximum		7,1	
	Range		7,0	
	Interquartile Range		1,1	
	Skewness		3,032	,427
	Kurtosis		9,183	,833

Extreme Values				
			Case Number	Value
IE 2h (%)	Highest	1	29	7,1
		2	30	6,8
		3	21	1,9
		4	22	1,7
		5	27	1,6
	Lowest	1	16	,0
		2	13	,1
		3	17	,1
		4	18	,2
		5	12	,2

IE 2h (%)

IE 2h (%) Stem-and-Leaf Plot

Frequency Stem & Leaf

5,00 0 . 00111
5,00 0 . 22223
1,00 0 . 4
6,00 0 . 666667
2,00 0 . 88

1,00 1 . 0
 3,00 1 . 233
 3,00 1 . 455
 1,00 1 . 6
 1,00 1 . 8
 2,00 Extremes (>=6,8)

Stem width: 1,0
 Each leaf: 1 case(s)

Univariate Analysis of Variance

Between-Subjects Factors		
		N
	0	10
BORRACHA PNEU (%)	15	10
	30	8

Descriptive Statistics			
Dependent Variable: IE 2h (%)			
BORRACHA PNEU (%)	Mean	Std. Deviation	N
0	,672	,2041	10
15	,225	,1720	10
30	1,513	,1866	8
Total	,752	,5564	28

Levene's Test of Equality of Error Variances(a)			
Dependent Variable: IE 2h (%)			
F	df1	df2	Sig.
,201	2	25	,819
Tests the null hypothesis that the error variance of the dependent variable is equal across groups.			
a Design: Intercept+BORRACHAPNEU			

Tests of Between-Subjects Effects								
Dependent Variable: IE 2h (%)								
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared	Noncent. Parameter	Observed Power(a)
Corrected Model	7,475(b)	2	3,737	105,598	,000	,894	211,195	1,000
Intercept	17,855	1	17,855	504,479	,000	,953	504,479	1,000
BORRACHAPNEU	7,475	2	3,737	105,598	,000	,894	211,195	1,000
Error	,885	25	,035					

Total	24,206	28					
Corrected Total	8,360	27					
a Computed using alpha = ,05							
b R Squared = ,894 (Adjusted R Squared = ,886)							

Estimated Marginal Means

BORRACHA PNEU (%) Dependent Variable: IE 2h (%)				
BORRACHA PNEU (%)	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
0	,672	,059	,549	,794
15	,225	,059	,102	,347
30	1,513	,067	1,376	1,650

Post Hoc Tests

BORRACHA PNEU (%)

Multiple Comparisons Dependent Variable: IE 2h (%) Tukey HSD						
(I) BORRACHA PNEU (%)	(J) BORRACHA PNEU (%)	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
0	15	,447(*)	,0841	,000	,237	,657
	30	-,841(*)	,0892	,000	-1,063	-,619
15	0	-,447(*)	,0841	,000	-,657	-,237
	30	-1,288(*)	,0892	,000	-1,510	-1,066
30	0	,841(*)	,0892	,000	,619	1,063
	15	1,288(*)	,0892	,000	1,066	1,510
Based on observed means.						
* The mean difference is significant at the ,05 level.						

Homogeneous Subsets

IE 2h (%) Tukey HSD				
BORRACHA PNEU (%)	N	Subset		
		1	2	3
15	10	,225		
0	10		,672	
30	8			1,513
Sig.		1,000	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed. Based on Type III Sum of Squares The error term is Mean Square(Error) = ,035.
a Uses Harmonic Mean Sample Size = 9,231.
b The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.
c Alpha = ,05.

Univariate Analysis of Variance

Between-Subjects Factors		
		N
	0	10
BORRACHA PNEU (%)	15	10
	30	8

Descriptive Statistics			
Dependent Variable: IE 24h (%)			
BORRACHA PNEU (%)	Mean	Std. Deviation	N
0	,887	,1465	10
15	,190	,1388	10
30	1,558	,2832	8
Total	,830	,5866	28

Levene's Test of Equality of Error Variances(a)			
Dependent Variable: IE 24h (%)			
F	df1	df2	Sig.
1,894	2	25	,171
Tests the null hypothesis that the error variance of the dependent variable is equal across groups.			
a Design: Intercept+BORRACHAPNEU			

Tests of Between-Subjects Effects								
Dependent Variable: IE 24h (%)								
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared	Noncent. Parameter	Observed Power(a)
Corrected Model	8,364(b)	2	4,182	112,670	,000	,900	225,341	1,000
Intercept	21,370	1	21,370	575,752	,000	,958	575,752	1,000
BORRACHAPNEU	8,364	2	4,182	112,670	,000	,900	225,341	1,000
Error	,928	25	,037					
Total	28,578	28						
Corrected Total	9,292	27						
a Computed using alpha = ,05								

b R Squared = ,900 (Adjusted R Squared = ,892)

Estimated Marginal Means

BORRACHA PNEU (%)				
Dependent Variable: IE 24h (%)				
BORRACHA PNEU (%)	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
0	,887	,061	,762	1,013
15	,190	,061	,065	,316
30	1,558	,068	1,417	1,698

Post Hoc Tests

BORRACHA PNEU (%)

Multiple Comparisons						
Dependent Variable: IE 24h (%)						
Tukey HSD						
(I) BORRACHA PNEU (%)	(J) BORRACHA PNEU (%)	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
0	15	,697(*)	,0862	,000	,483	,912
	30	-,670(*)	,0914	,000	-,898	-,443
15	0	-,697(*)	,0862	,000	-,912	-,483
	30	-1,368(*)	,0914	,000	-1,595	-1,140
30	0	,670(*)	,0914	,000	,443	,898
	15	1,368(*)	,0914	,000	1,140	1,595

Based on observed means.

* The mean difference is significant at the ,05 level.

Homogeneous Subsets

IE 24h (%)				
Tukey HSD				
BORRACHA PNEU (%)	N	Subset		
		1	2	3
15	10	,190		
0	10		,887	
30	8			1,558
Sig.		1,000	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
Based on Type III Sum of Squares
The error term is Mean Square(Error) = ,037.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 9,231.
b The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.
c Alpha = ,05.

Univariate Analysis of Variance

Between-Subjects Factors		
		N
	0	10
BORRACHA PNEU (%)	15	10
	30	10

Descriptive Statistics			
Dependent Variable: AA 2h (%)			
BORRACHA PNEU (%)	Mean	Std. Deviation	N
0	5,761	,8500	10
15	14,235	2,7402	10
30	17,018	1,2590	10
Total	12,338	5,1725	30

Levene's Test of Equality of Error Variances(a)			
Dependent Variable: AA 2h (%)			
F	df1	df2	Sig.
2,774	2	27	,080
Tests the null hypothesis that the error variance of the dependent variable is equal across groups.			
a Design: Intercept+BORRACHAPNEU			

Tests of Between-Subjects Effects								
Dependent Variable: AA 2h (%)								
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared	Noncent. Parameter	Observed Power(a)
Corrected Model	687,544(b)	2	343,772	105,063	,000	,886	210,127	1,000
Intercept	4566,720	1	4566,720	1395,677	,000	,981	1395,677	1,000
BORRACHAPNEU	687,544	2	343,772	105,063	,000	,886	210,127	1,000
Error	88,345	27	3,272					
Total	5342,609	30						
Corrected Total	775,889	29						
a Computed using alpha = ,05								
b R Squared = ,886 (Adjusted R Squared = ,878)								

Estimated Marginal Means

BORRACHA PNEU (%) Dependent Variable: AA 2h (%)				
BORRACHA PNEU (%)	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
0	5,761	,572	4,587	6,935
15	14,235	,572	13,062	15,409
30	17,018	,572	15,844	18,191

Post Hoc Tests

BORRACHA PNEU (%)

Multiple Comparisons Dependent Variable: AA 2h (%) Tukey HSD						
(I) BORRACHA PNEU (%)	(J) BORRACHA PNEU (%)	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
0	15	-8,474(*)	,8090	,000	-10,480	-6,469
	30	-11,257(*)	,8090	,000	-13,262	-9,251
15	0	8,474(*)	,8090	,000	6,469	10,480
	30	-2,782(*)	,8090	,005	-4,788	-,777
30	0	11,257(*)	,8090	,000	9,251	13,262
	15	2,782(*)	,8090	,005	,777	4,788
Based on observed means.						
* The mean difference is significant at the ,05 level.						

Homogeneous Subsets

AA 2h (%) Tukey HSD				
BORRACHA PNEU (%)	N	Subset		
		1	2	3
0	10	5,761		
15	10		14,235	
30	10			17,018
Sig.		1,000	1,000	1,000
Means for groups in homogeneous subsets are displayed. Based on Type III Sum of Squares The error term is Mean Square(Error) = 3,272.				
a Uses Harmonic Mean Sample Size = 10,000.				
b Alpha = ,05.				

Between-Subjects Factors		
		N
BORRACHA PNEU (%)	0	10
	15	10
	30	10

Descriptive Statistics			
Dependent Variable: AA 24h (%)			
BORRACHA PNEU (%)	Mean	Std. Deviation	N
0	9,986	1,3839	10
15	18,466	2,7635	10
30	24,201	1,0807	10
Total	17,551	6,2124	30

Levene's Test of Equality of Error Variances(a)			
Dependent Variable: AA 24h (%)			
F	df1	df2	Sig.
1,796	2	27	,185
Tests the null hypothesis that the error variance of the dependent variable is equal across groups.			
a Design: Intercept+BORRACHAPNEU			

Tests of Between-Subjects Effects								
Dependent Variable: AA 24h (%)								
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared	Noncent. Parameter	Observed Power(a)
Corrected Model	1022,754(b)	2	511,377	143,110	,000	,914	286,220	1,000
Intercept	9241,096	1	9241,096	2586,141	,000	,990	2586,141	1,000
BORRACHAPNEU	1022,754	2	511,377	143,110	,000	,914	286,220	1,000
Error	96,479	27	3,573					
Total	10360,329	30						
Corrected Total	1119,233	29						
a Computed using alpha = ,05								
b R Squared = ,914 (Adjusted R Squared = ,907)								

Estimated Marginal Means

BORRACHA PNEU (%)				
Dependent Variable: AA 24h (%)				
BORRACHA PNEU (%)	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound

0	9,986	,598	8,760	11,213
15	18,466	,598	17,239	19,692
30	24,201	,598	22,974	25,427

Post Hoc Tests

BORRACHA PNEU (%)

Multiple Comparisons Dependent Variable: AA 24h (%) Tukey HSD						
(I) BORRACHA PNEU (%)	(J) BORRACHA PNEU (%)	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
0	15	-8,479(*)	,8454	,000	-10,575	-6,383
	30	-14,214(*)	,8454	,000	-16,310	-12,118
15	0	8,479(*)	,8454	,000	6,383	10,575
	30	-5,735(*)	,8454	,000	-7,831	-3,639
30	0	14,214(*)	,8454	,000	12,118	16,310
	15	5,735(*)	,8454	,000	3,639	7,831
Based on observed means.						
* The mean difference is significant at the ,05 level.						

Homogeneous Subsets

AA 24h (%) Tukey HSD				
BORRACHA PNEU (%)	N	Subset		
		1	2	3
0	10	9,986		
15	10		18,466	
30	10			24,201
Sig.		1,000	1,000	1,000
Means for groups in homogeneous subsets are displayed. Based on Type III Sum of Squares The error term is Mean Square(Error) = 3,573.				
a Uses Harmonic Mean Sample Size = 10,000.				
b Alpha = ,05.				

Univariate Analysis of Variance

Between-Subjects Factors	
	N

BORRACHA PNEU (%)	0	10
	15	10
	30	10

Descriptive Statistics Dependent Variable: D (N)			
BORRACHA PNEU (%)	Mean	Std. Deviation	N
0	6173,02	653,369	10
15	2692,55	436,374	10
30	3565,24	170,466	10
Total	4143,60	1569,134	30

Levene's Test of Equality of Error Variances(a) Dependent Variable: D (N)			
F	df1	df2	Sig.
3,007	2	27	,066

Tests the null hypothesis that the error variance of the dependent variable is equal across groups.

a Design: Intercept+BORRACHAPNEU

Tests of Between-Subjects Effects Dependent Variable: D (N)								
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared	Noncent. Parameter	Observed Power(a)
Corrected Model	65585919,285(b)	2	32792959,642	152,202	,000	,919	304,403	1,000
Intercept	515083457,520	1	515083457,520	2390,652	,000	,989	2390,652	1,000
BORRACHAPNEU	65585919,285	2	32792959,642	152,202	,000	,919	304,403	1,000
Error	5817346,885	27	215457,292					
Total	586486723,690	30						
Corrected Total	71403266,170	29						

a Computed using alpha = ,05

b R Squared = ,919 (Adjusted R Squared = ,912)

Estimated Marginal Means

BORRACHA PNEU (%) Dependent Variable: D (N)				
BORRACHA PNEU (%)	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
0	6173,020	146,785	5871,843	6474,197
15	2692,550	146,785	2391,373	2993,727
30	3565,240	146,785	3264,063	3866,417

Post Hoc Tests

BORRACHA PNEU (%)

Multiple Comparisons Dependent Variable: D (N) Tukey HSD						
(I) BORRACHA PNEU (%)	(J) BORRACHA PNEU (%)	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
0	15	3480,47(*)	207,585	,000	2965,78	3995,16
	30	2607,78(*)	207,585	,000	2093,09	3122,47
15	0	-3480,47(*)	207,585	,000	-3995,16	-2965,78
	30	-872,69(*)	207,585	,001	-1387,38	-358,00
30	0	-2607,78(*)	207,585	,000	-3122,47	-2093,09
	15	872,69(*)	207,585	,001	358,00	1387,38

Based on observed means.

* The mean difference is significant at the ,05 level.

Homogeneous Subsets

D (N) Tukey HSD				
BORRACHA PNEU (%)	N	Subset		
		1	2	3
15	10	2692,55		
30	10		3565,24	
0	10			6173,02
Sig.		1,000	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
Based on Type III Sum of Squares
The error term is Mean Square(Error) = 215457,292.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 10,000.

b Alpha = ,05.

Univariate Analysis of Variance

Between-Subjects Factors		
		N
BORRACHA PNEU (%)	0	10
	15	10
	30	10

Descriptive Statistics	
Dependent Variable: LI(Kgf/cm2)	

BORRACHA PNEU (%)	Mean	Std. Deviation	N
0	5,8453	1,38075	10
15	4,0328	1,25707	10
30	2,2511	,40028	10
Total	4,0431	1,83278	30

Levene's Test of Equality of Error Variances(a) Dependent Variable: LI(Kgf/cm2)			
F	df1	df2	Sig.
8,103	2	27	,002
Tests the null hypothesis that the error variance of the dependent variable is equal across groups.			
a Design: Intercept+BORRACHAPNEU			

Tests of Between-Subjects Effects Dependent Variable: LI(Kgf/cm2)								
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared	Noncent. Parameter	Observed Power(a)
Corrected Model	64,592(b)	2	32,296	26,567	,000	,663	53,134	1,000
Intercept	490,393	1	490,393	403,405	,000	,937	403,405	1,000
BORRACHAPNEU	64,592	2	32,296	26,567	,000	,663	53,134	1,000
Error	32,822	27	1,216					
Total	587,807	30						
Corrected Total	97,414	29						
a Computed using alpha = ,05								
b R Squared = ,663 (Adjusted R Squared = ,638)								

Estimated Marginal Means BORRACHA PNEU (%) Dependent Variable: LI(Kgf/cm2)					
BORRACHA PNEU (%)	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval		
			Lower Bound	Upper Bound	
0	5,845	,349	5,130	6,561	
15	4,033	,349	3,317	4,748	
30	2,251	,349	1,536	2,967	

Post Hoc Tests BORRACHA PNEU (%) Multiple Comparisons Dependent Variable: LI(Kgf/cm2) Tukey HSD						
(I) BORRACHA PNEU (%)	(J) BORRACHA PNEU (%)	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
0	15	1,8125(*)	,49308	,003	,5899	3,0350

	30	3,5942(*)	,49308	,000	2,3716	4,8167
15	0	-1,8125(*)	,49308	,003	-3,0350	-,5899
	30	1,7817(*)	,49308	,003	,5591	3,0042
30	0	-3,5942(*)	,49308	,000	-4,8167	-2,3716
	15	-1,7817(*)	,49308	,003	-3,0042	-,5591
Based on observed means.						
* The mean difference is significant at the ,05 level.						

Homogeneous Subsets

LI(Kgf/cm2) Tukey HSD				
BORRACHA PNEU (%)	N	Subset		
		1	2	3
30	10	2,2511		
15	10		4,0328	
0	10			5,8453
Sig.		1,000	1,000	1,000
Means for groups in homogeneous subsets are displayed. Based on Type III Sum of Squares The error term is Mean Square(Error) = 1,216. a Uses Harmonic Mean Sample Size = 10,000. b Alpha = ,05.				

Univariate Analysis of Variance

Between-Subjects Factors		
		N
BORRACHA PNEU (%)	0	10
	15	10
	30	10

Descriptive Statistics			
Dependent Variable: AP (N)			
BORRACHA PNEU (%)	Mean	Std. Deviation	N
0	1342,80	135,021	10
15	700,50	182,496	10
30	671,79	36,637	10
Total	905,03	340,112	30

Levene's Test of Equality of Error Variances(a)			
Dependent Variable: AP (N)			
F	df1	df2	Sig.
10,235	2	27	,000
Tests the null hypothesis that the error variance of the dependent variable is equal across groups.			

a Design: Intercept+BORRACHAPNEU

Tests of Between-Subjects Effects								
Dependent Variable: AP (N)								
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared	Noncent. Parameter	Observed Power(a)
Corrected Model	2878708,530(b)	2	1439354,265	81,661	,000	,858	163,322	1,000
Intercept	24572379,027	1	24572379,027	1394,101	,000	,981	1394,101	1,000
BORRACHAPNEU	2878708,530	2	1439354,265	81,661	,000	,858	163,322	1,000
Error	475900,961	27	17625,962					
Total	27926988,519	30						
Corrected Total	3354609,492	29						
a Computed using alpha = ,05								
b R Squared = ,858 (Adjusted R Squared = ,848)								

Estimated Marginal Means

BORRACHA PNEU (%)				
Dependent Variable: AP (N)				
BORRACHA PNEU (%)	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
0	1342,796	41,983	1256,653	1428,939
15	700,504	41,983	614,361	786,647
30	671,790	41,983	585,647	757,933

Post Hoc Tests

BORRACHA PNEU (%)

Multiple Comparisons						
Dependent Variable: AP (N)						
Tukey HSD						
(I) BORRACHA PNEU (%)	(J) BORRACHA PNEU (%)	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
0	15	642,29(*)	59,373	,000	495,08	789,50
	30	671,01(*)	59,373	,000	523,79	818,22
15	0	-642,29(*)	59,373	,000	-789,50	-495,08
	30	28,71	59,373	,880	-118,50	175,93
30	0	-671,01(*)	59,373	,000	-818,22	-523,79
	15	-28,71	59,373	,880	-175,93	118,50
Based on observed means.						
* The mean difference is significant at the ,05 level.						

Homogeneous Subsets

AP (N)

Tukey HSD			
BORRACHA PNEU (%)	N	Subset	
		1	2
30	10	671,79	
15	10	700,50	
0	10		1342,80
Sig.		,880	1,000
Means for groups in homogeneous subsets are displayed. Based on Type III Sum of Squares The error term is Mean Square(Error) = 17625,962.			
a Uses Harmonic Mean Sample Size = 10,000.			
b Alpha = ,05.			