



**APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DA MADEIRA DE
CANDEIA (*Eremanthus erythropappus*) PARA
PRODUÇÃO DE CHAPAS DE PARTÍCULAS**

Rosimeire Cavalcante dos Santos

2008

ROSIMEIRE CAVALCANTE DOS SANTOS

**APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DA MADEIRA DE CANDEIA
(*Eremanthus erythropappus*) PARA PRODUÇÃO DE CHAPAS DE
PARTÍCULAS.**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira, área de concentração em Processamento e Utilização da Madeira, para a obtenção do título de “Mestre”.

Orientador

Prof. Dr. Lourival Marin Mendes

LAVRAS
MINAS GERAIS – BRASIL
2008

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca Central da UFLA**

Santos, Rosimeire Cavalcante dos.

Aproveitamento de resíduos da madeira de candeia (*Eremanthus erythropappus*) para produção de chapas de partículas / Rosimeire Cavalcante dos Santos. -- Lavras : UFLA, 2008.

159 p. : il.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2008.

Orientador: Lourival Marin Mendes.

Bibliografia.

1. Painéis particulados. 2. Aproveitamento de resíduos. 3. Candeia. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 674.836

ROSIMEIRE CAVALCANTE DOS SANTOS

**APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DA MADEIRA DE CANDEIA
(*Eremanthus erythropappus*) PARA PRODUÇÃO DE CHAPAS DE
PARTÍCULAS.**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira, área de concentração em Processamento e Utilização da Madeira, para a obtenção do título de “Mestre”.

Aprovada em 27 de fevereiro de 2008

Profa. Dra. Angélica de Cássia Oliveira Carneiro UFV

Prof. Dr. Fábio Akira Mori UFLA

Prof. Dr. Setsuo Iwakiri UFPR

Prof. Dr. Lourival Marin Mendes
UFLA
(Orientador)

LAVRAS
MINAS GERAIS – BRASIL
2008

Ao meu pai (*in memoriam*), a minha mãe e à Liege Fernandes de Araújo,

OFEREÇO

Ao meu pai, Francisco Assis dos Santos, a minha mãe, Maria das Neves
Cavalcante e a minha grande amiga, Liege.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, pela graça da vida e pela força que eu sempre encontro quando preciso vencer obstáculos.

A minha mãe, por ter me acompanhado nessa nova conquista, dando uma lição do que é amor de mãe.

À Liege, por dividir comigo todos os momentos da minha vida e por me dar sempre tantos motivos pra ser feliz. Decerto, este trabalho também é conquista dela.

À Angélica de Cássia, minha maior incentivadora na ascensão acadêmica, que tão bem soube me fazer enxergar que eu posso ir sempre mais longe.

A João da Silva Maia, por existir na minha vida de forma tão especial e por se mostrar sempre um incentivador do crescimento pessoal e intelectual dos que estão à sua volta.

A todos os amigos que me acompanharam durante esta fase, especialmente àqueles que tão carinhosamente me receberam em Lavras como uma nova irmã, e aos que também foram obrigados a conviver com a saudade de casa. A esses declaro que foi fundamental dividir as dores que causam a saudade.

Ao Heber, laboratorista da UEPAM e à Taciana (Tatá), por terem colaborado de forma decisiva no desenvolvimento e na conclusão deste trabalho.

À Universidade Federal de Lavras e ao Departamento de Ciências Florestais, pela oportunidade de realização do mestrado.

À Capes, pela concessão da bolsa de estudos.

À Fapemig, pelo apoio financeiro na execução desta pesquisa.

À fábrica de óleo de candeia Citrominas, pela doação do resíduo da madeira de candeia utilizado neste trabalho.

À fábrica Humifla Reciclados Ind. e Com. Ltda., pela doação do plástico PET utilizado neste trabalho.

Ao professor Lourival Marin Mendes, pela orientação acadêmica e pessoal, amizade e incentivo durante todo o período em que trabalhamos juntos. Obrigada pela certeza de poder sempre contar com você e por ter colaborado para que eu me sentisse sempre protegida, mesmo tão longe da minha “terra”.

Ao professor José Roberto Scolforo, pela co-orientação e pelo apoio mais que decisivo nas questões pessoais.

Aos professores e funcionários do curso de Ciência e Tecnologia da Madeira da UFLA e aos funcionários e professores do Departamento de Ciências Florestais, pela amizade e apoio em todas as etapas deste trabalho.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO.....	i
ABSTRACT.....	ii
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	4
2.1 A madeira da candeia.....	4
2.2 Painéis reconstituídos a base de madeira.....	8
2.2.1 Chapas de partículas ou painéis aglomerados.....	10
2.2.2 Painéis plástico-madeira.....	12
2.2.3 Painéis cimento-madeira.....	13
2.2.4 A incompatibilidade química entre a biomassa e o cimento na confeção dos painéis cimento-madeira.....	16
2.2.5 Interação cimento-madeira.....	22
2.2.6 Componentes dos painéis cimento-madeira associados à madeira.....	23
2.3 Fatores que afetam as propriedades dos painéis particulados.....	25
2.3.1 Fatores inerentes à madeira.....	25
2.3.1.1 Espécie.....	25
2.3.1.2 Densidade da madeira.....	26
2.3.1.3 pH.....	26
2.3.1.4 Umidade da madeira.....	27
2.3.1.5 Compostos químicos presentes na madeira.....	28
2.3.1.6 Idade cambial.....	30
2.3.1.7 Substâncias estranhas.....	31
2.3.2 Fatores inerentes ao processo.....	32
2.3.2.1 Densidade dos painéis.....	32
2.3.2.2 Razão de compactação.....	33

2.3.2.3 Adesivo.....	34
2.3.2.4 Parafina.....	35
2.3.2.5 Dimensões das partículas.....	36
2.3.2.6 Umidade das partículas.....	36
2.3.2.7 Tempo de fechamento da prensa.....	37
2.3.2.8 Tempo de prensagem.....	38
2.3.2.9 Temperatura de prensagem.....	38
2.3.2.10 Pressão específica.....	39
2.4 Propriedades dos painéis particulados.....	39
2.4.1 Propriedades físicas.....	39
2.4.1.1 Absorção de água e inchamento em espessura.....	39
2.4.1.2 Taxa de não retorno em espessura.....	40
2.4.1.3 Expansão linear.....	41
2.4.2 Propriedades mecânicas.....	41
2.4.2.1 Módulo de elasticidade (MOE).....	41
2.4.2.2 Módulo de ruptura (MOR).....	41
2.4.2.3 Compressão paralela.....	42
2.4.2.4 Ligação interna.....	42
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	43
3.1 Obtenção de partículas de madeira.....	43
3.2 Análises física e química da madeira.....	44
3.2.1 Determinação da densidade básica da madeira.....	44
3.2.2 Análises químicas.....	44
3.3 Manufatura dos painéis.....	45
3.3.1 Painéis cimento-madeira.....	45
3.3.1.1 Tratamento das partículas em água fria.....	45
3.3.1.2 Análise de aptidão da madeira com o cimento.....	46
3.3.1.3 Parâmetros de produção dos painéis.....	49

3.3.1.4 Cálculos dos componentes dos painéis.....	50
3.3.1.5 Manufatura dos painéis cimento-madeira.....	52
3.3.1.6 Análise estatística.....	55
3.3.2 Painéis aglomerado convencional.....	56
3.3.2.1 Componentes dos painéis.....	56
3.3.2.2 Manufatura dos painéis.....	57
3.3.2.3 Análise estatística.....	59
3.3.3 Painéis plástico-madeira.....	61
3.3.3.1 Componentes dos painéis.....	61
3.3.3.2 Preparação das partículas de plástico do tipo PET.....	62
3.3.3.3 Manufatura dos painéis plástico-madeira.....	63
3.3.3.4 Análise estatística.....	65
3.4 Avaliação das propriedades dos painéis.....	66
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	68
4.1 Densidade básica das madeiras utilizadas na confecção dos painéis....	68
4.2 Análises químicas das madeiras utilizadas na confecção dos painéis...	69
4.3 Resultados da análise de aptidão das espécies com o cimento na manufatura dos painéis cimento-madeira.....	73
4.4 Resultados das propriedades físicas e mecânicas dos painéis.....	76
4.4.1 Painéis cimento-madeira.....	76
4.4.1.1 Densidade dos painéis cimento-madeira.....	76
4.4.1.2 Razão de compactação dos painéis cimento-madeira.....	77
4.4.1.3 Absorção de água após 2 e 24 horas nos painéis cimento-madeira	79
4.4.1.4 Inchamento em espessura após 2 e 24 horas nos painéis cimento- madeira.....	82
4.4.1.5 Compressão paralela nos painéis cimento-madeira.....	83
4.4.1.6 Flexão estática (MOE e MOR) nos painéis cimento-madeira.....	85

4.4.1.7 Teste de ligação interna nos painéis cimento-madeira.....	90
4.4.2 Painéis aglomerado convencional.....	92
4.4.2.1 Densidade dos painéis aglomerado convencional.....	92
4.4.2.2 Razão de compactação dos painéis aglomerado convencional.....	93
4.4.2.3 Absorção de água após 2 e 24 horas de imersão.....	95
4.4.2.4 Inchamento em espessura após 2 e 24 horas de imersão.....	99
4.4.2.5 Teste de ligação interna nos painéis aglomerado convencional.....	103
4.4.2.6 Compressão paralela nos painéis aglomerado convencional.....	106
4.4.2.7 Teste de flexão estática (MOE e MOR) nos painéis aglomerado convencional.....	108
4.4.3 Painéis plástico-madeira.....	112
4.4.3.1 Densidade dos painéis plástico-madeira.....	112
4.4.3.2 Razão de compactação dos painéis plástico-madeira.....	113
4.4.3.3 Absorção de água após 2 e 24 horas de imersão nos painéis plástico-madeira.....	115
4.4.3.4 Inchamento em espessura após 2 e 24 horas de imersão em água nos painéis plástico-madeira.....	119
4.4.3.5 Teste de compressão paralela nos painéis plástico-madeira.....	121
4.4.3.6 Teste de flexão estática (MOE e MOR) nos painéis plástico- madeira.....	123
4.4.3.7 Teste de ligação interna nos painéis plástico-madeira.....	127
5 CONCLUSÕES.....	129
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	133
ANEXOS.....	142

LISTA DE FIGURAS

	Página
FIGURA 1 - Área de ocorrência e de estudo da candeia no Estado de Minas Gerais.....	8
FIGURA 2 - Tabela não periódica de elementos de madeira.....	9
FIGURA 3 - Esquema representativo dos produtos de madeira reconstituída.....	10
FIGURA 4 – Tratamento das partículas de madeira em água fria.....	46
FIGURA 5 – Amostras armazenadas para o teste de aptidão entre a madeira e o cimento.....	48
FIGURA 6 – Sistema utilizado na análise de aptidão da mistura cimento-madeira.....	49
FIGURA 7 – Sistema de grampeamento dos painéis.....	54
FIGURA 8 – Granulometria das partículas de plástico do tipo PET.....	62
FIGURA 9 – Esquema de distribuição dos corpos-de-prova nos painéis para avaliação das propriedades.....	67
FIGURA 10 – Valores médios da razão de compactação em função das porcentagens de pinus associado à candeia nos painéis cimento-madeira..	78
FIGURA 11 – Valores médios de absorção de água após 2 e 24 horas de imersão, em função das porcentagens de pinus associado à candeia nos painéis cimento-madeira.....	80
FIGURA 12 – Valores médios de MOE em função das porcentagens de associação de eucalipto e pinus à candeia nos painéis cimento-madeira....	86
FIGURA 13 – Valores médios de MOR em função das porcentagens de associação de eucalipto e pinus à candeia nos painéis cimento-madeira....	88

FIGURA 14 – Valores médios para a razão de compactação nos painéis aglomerado convencional em função das porcentagens de eucalipto e pinus associados à candeia, utilizando 8 e 12% de teor de adesivo.....	94
FIGURA 15 – Valores médios de absorção de água após 2 horas de imersão, em função das porcentagens das madeiras associadas à candeia, utilizando 8 e 12% de teor de adesivo nos painéis aglomerado convencional.....	96
FIGURA 16 – Valores médios de inchamento em espessura após 2 horas de imersão, em função das porcentagens das madeiras associadas à candeia, utilizando 8% de teor de adesivo nos painéis aglomerado convencional.....	100
FIGURA 17 – Valores médios de inchamento em espessura após 24 horas de imersão, em função das porcentagens das madeiras associadas à candeia utilizando 8 e 12% de teor de adesivo nos painéis aglomerado convencional.....	102
FIGURA 18 – Valores médios de ligação interna, em função das porcentagens de eucalipto associadas à candeia utilizando 12% de teor de adesivo nos painéis aglomerado convencional.....	104
FIGURA 19 – Valores médios de compressão paralela, em função das porcentagens de eucalipto e pinus associadas à candeia utilizando 12% de teor de adesivo nos painéis aglomerado convencional.....	107
FIGURA 20 – Valores médios do MOE em função das porcentagens das madeiras associadas à candeia utilizando 12% de teor de adesivo nos painéis aglomerado convencional.....	109
FIGURA 21 – Valores médios do MOR em função das porcentagens das madeiras associadas à candeia utilizando 12% de teor de adesivo nos painéis aglomerado convencional.....	110

FIGURA 22 – Valores médios da densidade dos painéis plástico-madeira em função das porcentagens de incorporação de PET às partículas de madeira.....	112
FIGURA 23 – Valores médios de razão de compactação dos painéis plástico-madeira em função das porcentagens de incorporação de PET às partículas de madeira.....	114
FIGURA 24 – Valores médios de absorção de água após 2 horas de imersão em função das porcentagens de incorporação de PET em associação às partículas de madeira utilizadas nos painéis plástico-madeira.....	116
FIGURA 25 – Valores médios de absorção de água após 24 horas de imersão em função das porcentagens de incorporação de PET às partículas de madeira, na ausência de parafina, nos painéis plástico-madeira.....	118
FIGURA 26 – Valores médios de compressão paralela, em função das porcentagens de incorporação de PET, na presença de parafina nos painéis plástico-madeira.....	122
FIGURA 27 – Valores médios de MOE em função das porcentagens de incorporação de PET nos painéis plástico-madeira.....	124
FIGURA 28 – Valores médios de ligação interna, em função das porcentagens de incorporação de PET às partículas de madeira nos painéis plástico-madeira.....	127

LISTA DE TABELAS

	Página
TABELA 1 – Indústrias que extraem o óleo de candeia natural e bruto e/ou o alfabisabolol natural.....	7
TABELA 2 – Delineamento experimental empregado na confecção dos painéis cimento-madeira.....	45
TABELA 3 - Índice de inibição utilizado para classificar a compatibilidade da madeira com o cimento.....	49
TABELA 4 – Delineamento experimental empregado na confecção dos painéis aglomerado convencional.....	56
TABELA 5 – Delineamento experimental empregado na confecção dos painéis plástico-madeira.....	61
TABELA 6 – Valores médios da densidade básica das madeiras de eucalipto, pinus e candeia.....	68
TABELA 7 – Valores médios da análise química dos clones de <i>Eucalyptus</i> spp.....	69
TABELA 8 – Análise química das árvores de <i>Pinus</i> spp.....	71
TABELA 9 – Valores médios da análise química do resíduo da madeira de candeia, antes e depois da extração do óleo.....	72
TABELA 10 – Classificação do índice de inibição dos materiais lignocelulósicos, após o teste de aptidão com o cimento.....	74
TABELA 11 – Valores médios da densidade dos painéis em função dos tipos de madeira e porcentagem de substituição por candeia.....	76
TABELA 12 – Valores médios da razão de compactação em função dos tipos de madeira e porcentagem de substituição por candeia nos painéis cimento-madeira.....	78

TABELA 13 – Valores médios da absorção de água após 2 horas de imersão, em função dos tipos de madeira e porcentagem de substituição por candeia nos painéis cimento-madeira.....	81
TABELA 14 – Valores médios da absorção de água após 24 horas de imersão, em função dos tipos de madeira e porcentagem de substituição por candeia nos painéis cimento-madeira.....	81
TABELA 15 – Valores médios de inchamento em espessura após 2 horas de imersão, em função dos tipos de madeira e porcentagem de substituição por candeia nos painéis cimento-madeira.....	82
TABELA 16 – Valores médios do inchamento em espessura após 24 horas de imersão, em função dos tipos de madeira e porcentagem de substituição por candeia nos painéis cimento-madeira.....	83
TABELA 17 – Valores médios da variável força no teste de compressão em função dos tipos de madeira e porcentagem de substituição por candeia nos painéis cimento-madeira.....	84
TABELA 18 – Valores médios do MOE em função dos tipos de madeira e porcentagem de substituição por candeia nos painéis cimento-madeira.....	87
TABELA 19 – Valores médios do MOR em função dos tipos de madeira e porcentagem de substituição por candeia nos painéis cimento-madeira.....	88
TABELA 20 – Valores médios de ligação interna em função dos tipos de madeira e porcentagem de substituição por candeia nos painéis cimento-madeira.....	90
TABELA 21 – Valores médios dos valores da densidade dos painéis em função dos teores de adesivo, tipos de madeira e porcentagem de substituição por candeia nos painéis aglomerado convencional.....	92

TABELA 22 – Valores médios da razão de compactação em função dos teores de adesivo, tipos de madeira e porcentagem de substituição por candeia nos painéis aglomerado convencional.....	95
TABELA 23 – Valores médios da absorção de água após 2 horas de imersão, em função dos teores de adesivo, tipos de madeira e porcentagem de substituição por candeia nos painéis aglomerado convencional.....	97
TABELA 24 – Valores médios da absorção de água após 24 horas de imersão, em função dos teores de adesivo, tipos de madeira e porcentagem de substituição por candeia nos painéis aglomerado convencional.....	98
TABELA 25 – Valores médios do inchamento em espessura após 2 horas de imersão, em função dos teores de adesivo, tipos de madeira e porcentagem de substituição por candeia nos painéis aglomerado convencional.....	101
TABELA 26 – Valores médios do inchamento em espessura após 24 horas de imersão, em função dos teores de adesivo, tipos de madeira e porcentagem de substituição por candeia nos painéis aglomerado convencional.....	103
TABELA 27 – Valores médios de ligação interna em função dos teores de adesivo, tipos de madeira e porcentagem de substituição por candeia nos painéis aglomerado convencional.....	105
TABELA 28 – Valores médios de compressão paralela em função dos teores de adesivo, tipos de madeira e porcentagem de substituição por candeia nos painéis aglomerado convencional.....	107
TABELA 29 – Valores médios do MOE em função dos teores de adesivo e porcentagem de madeira associada à candeia nos painéis aglomerado convencional.....	110

TABELA 30 – Valores médios para MOR em função dos teores de adesivo porcentagem de madeira associada à candeia nos painéis aglomerado convencional.....	110
TABELA 31 – Valores médios da densidade dos painéis plástico-madeira em função das porcentagens de incorporação de PET e presença de parafina.....	113
TABELA 32 – Valores médios da razão de compactação nos painéis plástico-madeira em função das porcentagens de incorporação de PET e presença de parafina.....	115
TABELA 33 – Valores médios de absorção de água após 2 horas de imersão em função das porcentagens de incorporação de PET e presença de parafina nos painéis plástico-madeira.....	116
TABELA 34 – Valores médios de absorção de água após 24 horas de imersão em função das porcentagens de incorporação de PET e presença de parafina nos painéis plástico-madeira.....	119
TABELA 35 – Valores médios do inchamento em espessura após 2 horas de imersão em água em função das porcentagens de incorporação de PET e presença de parafina nos painéis plástico-madeira.....	120
TABELA 36 – Valores médios do inchamento em espessura após 24 horas de imersão em água em função das porcentagens de incorporação de PET e presença de parafina nos painéis plástico-madeira.....	120
TABELA 37 – Valores médios de compressão paralela em função das porcentagens de incorporação de PET e presença de parafina nos painéis plástico-madeira.....	122
TABELA 38 – Valores médios do MOE em função das porcentagens de incorporação de PET e presença de parafina nos painéis plástico-madeira.....	125

TABELA 39 – Valores médios do MOR em função das porcentagens de incorporação de PET e presença de parafina nos painéis plástico-madeira.....	125
TABELA 40 – Valores médios de ligação interna em função das porcentagens de incorporação de PET e presença de parafina nos painéis plástico-madeira.....	128

RESUMO

SANTOS, Rosimeire Cavalcante. **Aproveitamento de resíduos da madeira de candeia (*Eremanthus erythropappus*) para produção de chapas de partículas**. 2008. 159p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG¹.

A candeia (*Eremanthus erythropappus*) é uma espécie florestal nativa de múltiplos usos e especialmente utilizada como produtora de óleos essenciais, gerando, a partir desta atividade, uma grande quantidade de resíduo madeireiro. O aproveitamento desses resíduos para a produção de painéis particulados torna-se uma alternativa viável para a produção de produtos de maior valor agregado, evitando diversos problemas de ordem ambiental, além de possibilitar a inserção desses produtos no mercado consumidor. Este trabalho foi realizado com o objetivo de verificar a viabilidade da produção de painéis particulados dos tipos cimento-madeira, plástico-madeira e aglomerado convencional a partir do resíduo madeireiro, gerado após a extração do óleo de candeia, em associação às madeiras de *Pinus* e eucalipto. Na confecção dos painéis, o experimento foi instalado segundo um delineamento inteiramente casualizado, com três repetições. Os tratamentos nos painéis cimento-madeira foram arranjos segundo um esquema fatorial 2 x 3 (dois tipos de madeira e três porcentagens de substituição das madeiras por candeia). Nos painéis aglomerado convencional os tratamentos foram arranjos segundo esquema fatorial 2 x 2 x 3 (dois teores de adesivo, dois tipos de madeira e três porcentagens de substituição) e, nos painéis plástico-madeira foram arranjos segundo esquema fatorial 2 x 3 (três porcentagens de incorporação de plástico do tipo PET às partículas de madeira e a presença e ausência de parafina). Os painéis foram avaliados segundo propriedades mecânicas: teste de flexão estática (MOE e MOR), compressão paralela e ligação interna, e físicas: absorção de água e inchamento em espessura em duas e vinte e quatro horas. Os resultados experimentais mostraram que o resíduo da madeira de candeia mostrou-se viável tecnicamente, em todas as propriedades físico-mecânicas avaliadas, para a manufatura dos painéis cimento-madeira; mostrou-se viável também na manufatura dos painéis dos tipos aglomerado convencional e plástico-madeira, exceto no ensaio de flexão estática.

Palavras-chave: painéis particulados, aproveitamento resíduo, candeia.

¹ Comitê orientador: Lourival Marin Mendes (Orientador) – UFLA, Fábio Akira Mori e José Roberto Scolforo (Co-orientadores)

ABSTRACT

SANTOS, Rosimeire Cavalcante. **Use of residues of wood of candeia (*Eremanthus erythropappus*) for production of particle boards.** 2008. 159p. Dissertation (Master in Wood Science and Technology)-Federal University of Lavras, Lavras, MG¹.

Candeia (*Eremanthus erythropappus*) is a native forest species of multiple uses and specially utilized as a producer of essential oils, generating from this activity a great amount of wood residue. The use of those residues for production of particle boards becomes a viable alternative to the production of products of higher aggregated value, avoiding in this way, a lot of problems of environmental sort, in addition to making the insertion of those products into the consuming market. This work aimed to verify the viability of producing of particle boards of the types wood-cement, wood-plastic and conventional particle board from wood residue, generated from the extraction of candeia oil, in association with the woods of pinus and eucalyptus. In the making of the boards, the experiment was installed according to a completely randomized design with three replicates. The treatments in the wood-cement boards were arranged according to a factorial scheme 2 x 3 (two types of wood and three percentages of replacement of the woods by candeia). In the conventional particle boards, the treatments were arranged according to the factorial scheme 2 x 2 x 3 (two contents of resin, two types of wood and three replacement percentages) and, in the wood-plastic boards, they were arranged according to the factorial scheme 2 x 3 (three percentages of incorporation of PET-type plastic to the wood particles and the presence and absence of paraffin). The boards were evaluated according to the mechanical properties: static bending test (MOE and MOR), parallel stress and internal bond and physical properties: water absorption and thickness swelling in two and four hours. The experimental results showed that the wood residue of candeia proved viable technically in all the physical/mechanical properties evaluated for the manufacture of the wood/cement boards; it proved also viable in the making of the conventional and wood/plastic particle boards, except in the assay of static bending assay.

Key-words: particle boards, residue use, candeia.

¹ Guidance Committee: Lourival Marin Mendes (Adviser) – UFLA, Fábio Akira Mori and José Roberto Scolforo (Co-advisers)

1 INTRODUÇÃO

A floresta, de forma geral e simplificada, pode ser dividida em dois grandes grupos. O primeiro deles é representado pela função ecológica e social na forma de parques ecológicos, áreas de preservação de mananciais de águas e áreas de lazer. O segundo grupo, de importância econômica, pode ser desmembrado em sete modalidades de utilização da madeira, a saber: produtos sem industrialização ou semi-industrializados, serrados, laminados, energia, particulados, produtos de fibra e madeira “in natura”.

Os laminados e os particulados constituídos pelas lâminas, compensados, aglomerados, painéis minerais e chapas de fibra são produtos com maior valor agregado quando comparados com a madeira in natura ou com os produtos sem industrialização ou semi-industrializados. Estas duas modalidades de uso da madeira vêm substituindo os produtos tradicionalmente usados e vários tipos de painéis vêm ganhando espaço comercial, em virtude da melhor relação preço/desempenho e da crescente conscientização dentro da sociedade moderna de que não é mais viável a convivência com processos que utilizam reservas florestais, com níveis elevados de perdas.

No mundo, 50% das indústrias destes produtos empregam madeira de coníferas como matéria-prima principal e outras empregam mais de uma espécie de madeira em suas linhas de produção (Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, BNDES, 2000). Porém, painéis particulados podem ser produzidos para o aproveitamento de resíduos madeireiros, desde que o controle sobre o material lignocelulósico seja realizado, sem que haja prejuízo na qualidade do produto final, visto que as variações entre espécies, tipos de madeira, como também a composição química da mesma produzem diferentes efeitos nas chapas de partículas.

O aproveitamento do resíduo da madeira de candeia após a extração do óleo é uma das alternativas para a produção de painéis particulados. Grande volume de resíduo madeireiro é gerado a partir desse processo, pois o óleo é largamente utilizado na indústria farmacêutica e de cosméticos, sendo o principal princípio ativo o alfabisabolol que, segundo Pedralli (1997), possui propriedades antiflogísticas, antibacteriana, antimicótica, dermatológica e espasmódica. Parte desse resíduo é utilizada para fornecer energia às caldeiras durante o processo de extração e outra parte é acumulada nos pátios das fábricas, o que gera problemas com armazenamento e contaminação do ambiente.

A candeia é uma espécie florestal de múltiplos usos, podendo ser utilizada como moirões de cerca de alta durabilidade, além de ser produtora de óleos essenciais. Outras razões para se investir na candeia é que é uma espécie nativa e os produtos dela obtidos alcançam preços relativamente altos no mercado.

Assim, ampliar pesquisas com a utilização de diferentes espécies associadas a resíduos madeireiros na produção de painéis particulados pode resultar numa produção satisfatória e numa inserção considerável desses painéis no mercado consumidor, gerando novas alternativas tecnológicas.

Para tanto, é necessário maior conhecimento da utilização do resíduo da madeira de candeia após a extração do óleo, especialmente na produção de painéis particulados, como também da quantidade gerada para atender a esse propósito.

Desse modo, o presente trabalho foi realizado com os seguintes objetivos:

Geral:

Avaliar a viabilidade de utilização do resíduo gerado pelas indústrias de extração de óleo da madeira de candeia na geração de produtos de maior valor agregado, por meio da confecção de painéis de madeira reconstituída.

Específicos:

1. Classificar o índice de inibição das diferentes proporções do resíduo da madeira de candeia, após a extração do óleo, associadas às madeiras de eucalipto e pinus, por meio do teste de aptidão com o cimento na confecção dos painéis cimento-madeira.

2. Analisar a influência do tratamento prévio em água fria do resíduo da madeira de candeia e das partículas de pinus e eucalipto sobre a inibição da pega do cimento, na confecção dos painéis cimento-madeira.

3. Analisar, por meio das propriedades físico-mecânicas, a influência das diferentes proporções do resíduo da madeira de candeia associado às madeiras de pinus e eucalipto sobre os painéis cimento-madeira.

4. Analisar, por meio das propriedades físico-mecânicas, a influência das diferentes proporções do resíduo da madeira de candeia associado às madeiras de eucalipto e pinus e dois teores de adesivo uréia-formaldeído sobre os painéis de aglomerado convencional.

5. Analisar, por meio das propriedades físico-mecânicas, a influência das diferentes proporções de incorporação de plástico do tipo PET às partículas de madeira e a presença/ausência de parafina sobre os painéis plástico-madeira confeccionados com o resíduo da madeira de candeia associado à madeira de eucalipto.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 A madeira da candeia

O gênero *Eremanthus* tem várias espécies, a saber: *Eremanthus arboreus* (Gardner) MacLeish, *Eremanthus brasiliensis* (Gardner) MacLeish, *Eremanthus polycephalus* (DC.) MacLeish, *Eremanthus glomerulatus* Less., *Eremanthus erythropappus* (DC.) Macleish e *Eremanthus incanus* (Less.) Less. Destas, as duas últimas citadas são as de maior ocorrência.

A candeia (*Eremanthus erythropappus*) é classificada como pertencente à família Asteraceae, ao grupo ecológico das pioneiras e é considerada precursora na invasão de campos (Carvalho, 1994). Esta espécie se desenvolve rapidamente em campos abertos, formando povoamentos mais ou menos puros. Isso também acontece dentro da floresta, quando há alguma perturbação, pois é uma espécie heliófila, sendo beneficiada pela entrada de luz. É uma espécie cuja árvore possui altura que varia de 2 a 10 m, podendo seu diâmetro atingir 35 cm.

O tronco desta árvore possui casca grossa e cheia de fendas no fuste e, nos galhos mais novos, ela se torna menos rústica. As folhas têm uma característica marcante, que é a dupla coloração. Na parte superior são verdes e glabras e, na parte inferior, possuem um tom branco, tomentoso e são aveludadas. As folhas são simples, opostas com pilosidade cinérea (Corrêa, 1931). As flores são hermafroditas e se apresentam em inflorescências de cor púrpura nas extremidades dos ramos (Araújo, 1944). As características das folhas e da inflorescência facilitam a identificação da espécie, mesmo à distância.

Uma característica interessante dessa espécie é o seu desenvolvimento em sítios com solos pouco férteis, rasos e predominantemente, em áreas de campos de altitude, com esta variando entre 1.000 e 1.700 m. Assim, a candeia

se desenvolve em locais em que seria difícil a implantação de culturas agrícolas ou, mesmo, a implantação de alguma outra espécie florestal.

A madeira é branca ou acinzentada com grã mais escura; seu peso específico é de $0,912 \text{ g/cm}^3$, apresenta resistência ao esmagamento, carga perpendicular 339 kg/cm^2 e carga paralela 472 kg/cm^2 (Corrêa, 1931).

A candeia *Eremanthus incanus* (Less.) Less. é uma árvore de porte que varia de 2 a 10 m de altura e atinge até 20 cm de DAP. Possui tronco marrom-cinza, casca grossa e poucos galhos. As folhas são coriáceas, com pecíolos de 4 a 17 mm de comprimento e limbo com comprimento de 5,5 a 14 m de comprimento e largura de 2 a 6 cm.

Esta espécie é comum em Minas Gerais, com distribuição do sudeste ao nordeste do Planalto Central do Brasil, em altitude variando de 800 a 1.200 m, ocorrendo no cerrado, na floresta secundária ou na caatinga. Sua utilização é, basicamente, na produção de moirões, já que apresenta baixa produtividade do óleo alfabisabolol que é de baixa qualidade.

Os produtos obtidos da candeia são comercializados por pequenos empreendimentos que extraem o óleo alfabisabolol e por produtores rurais que utilizam moirões para a construção de cercas. As características comerciais dos moirões são que estes devem possuir comprimento de 2,20 m e diâmetro mínimo de 7 cm. Já para produção de óleo, a madeira das plantas com diâmetro a 1,30 m de altura (DAP) maior ou igual a 5 cm ou todas as demais partes da plantas que não são utilizadas para a produção de moirões.

A candeia é vendida para as fábricas de óleo que pagam preços diferenciados pela madeira colocada na beira da estrada e a que é colocada em seu pátio. O preço pago pela indústria varia também e, principalmente, em função da qualidade da madeira, em termos de produção de óleo. Um dos parâmetros visuais mais utilizados para avaliar a qualidade da madeira é o diâmetro das peças. Normalmente, peças de maior diâmetro têm uma proporção

maior de cerne que de alburno e, como a concentração maior de óleo está no cerne, elas têm maior valor.

Há, no Brasil, seis indústrias que extraem o óleo de candeia natural bruto, sendo duas em São Paulo, três em Minas Gerais e uma no Paraná (Tabela 1). A capacidade de produção estimada de óleo de candeia natural bruto destas indústrias é de 174 mil quilos por ano, o que gera uma demanda de cerca de 22 mil metro cúbicos de madeira (Scolforo et al., 2002).

O rendimento obtido na destilação do óleo bruto para obter o alfabisabolol varia de 65% a 75%, ou seja, com 1 kg de óleo de candeia natural produzem-se de 650 a 750 gramas de alfabisabolol (Scolforo et al., 2002).

A maior parte do óleo de candeia produzido pelas indústrias é exportada, principalmente para indústrias de cosméticos e fármacos de países europeus. Os preços variam de US\$ 20.00 a US\$ 30.00/kg, no caso do óleo bruto e de US\$ 38.00 a US\$ 55.00/kg, no caso do alfabisabolol (Scolforo et al., 2002).

TABELA 1 – Indústrias que extraem o óleo de candeia natural bruto e ou alfabisabolol natural.

Especificação	Município	Estado
- Citróleo óleos essenciais indústria e comércio Ltda.*	Torrinha	São Paulo
- Purita óleos essenciais indústria e comércio Ltda.*	Torrinha	São Paulo
- Dierberger óleos essenciais S.A***.	Barra Bonita	São Paulo
- Destilaria Maripá – Óleos essenciais**	Maripá	Paraná
- Citrominas óleos essenciais Ltda.**	Carrancas	Minas Gerais
- Citroflora Ltda.**	Morro do Pilar	Minas Gerais
- Atina**	Pouso Alegre	Minas Gerais

* produção de óleo de candeia natural bruto e alfabisabolol

** produção de óleo de candeia natural bruto

*** produção de alfabisabolol

FONTE: Scolforo et al. (2002).

Carvalho (1994) cita que a candeia ocorre na América do Sul, sendo encontrada no nordeste da Argentina, norte e leste do Paraguai e no Brasil. Pedralli et al. (1997) indicam que se pode encontrar a candeia no Brasil, nos estados de Minas Gerais, Bahia, Espírito Santo e Rio de Janeiro. Carvalho (1994) cita, ainda, outros estados nos quais também a candeia vegeta, como Goiás, Paraná, Rio Grande do Sul, Santa Catarina, São Paulo e, também, no Distrito Federal.

A ocorrência e de estudo da candeia no estado de Minas Gerais é mostrada na Figura 1.

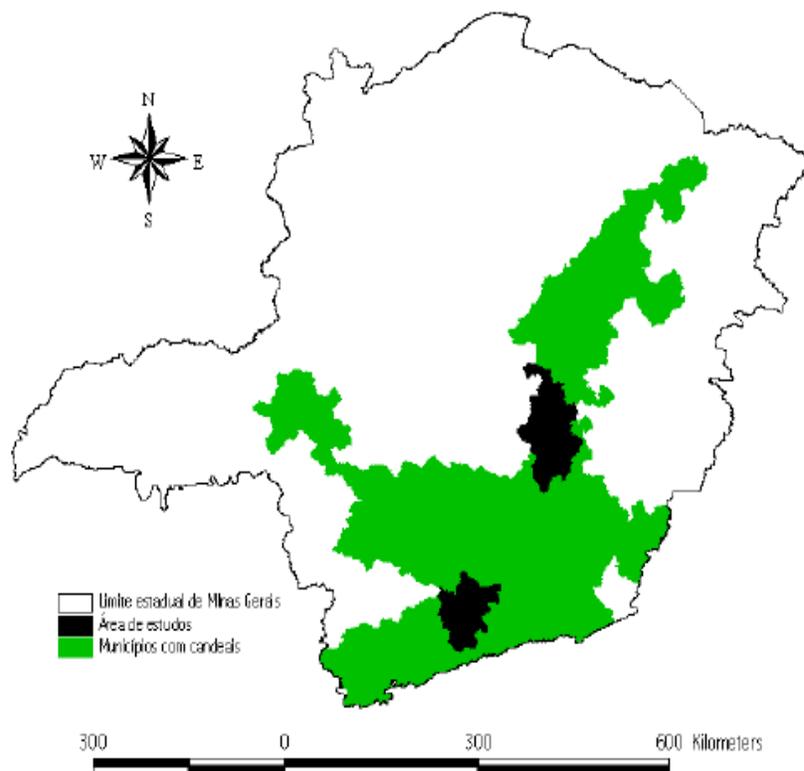


FIGURA 1 - Área de ocorrência e de estudo da candeia no estado de Minas Gerais. Fonte: Scolforo et al., 2002.

2.2 Painéis reconstituídos a base de madeira

Compostos de madeira são produtos que possuem, em comum, processo de redução e montagem. A madeira sólida é desdobrada em elementos de diversas formas e dimensões e, então, posteriormente reagrupada. Na Figura 2 é mostrado um exemplo dos elementos derivados da madeira sólida, para a produção de diversos produtos compostos. De modo geral, com base nessa figura, à medida que se segue a diagonal, o tamanho dos elementos decresce e a possibilidade ao ajuste em diversas formas aumenta, assim como a formabilidade (ajuste das partículas associada com a consolidação).

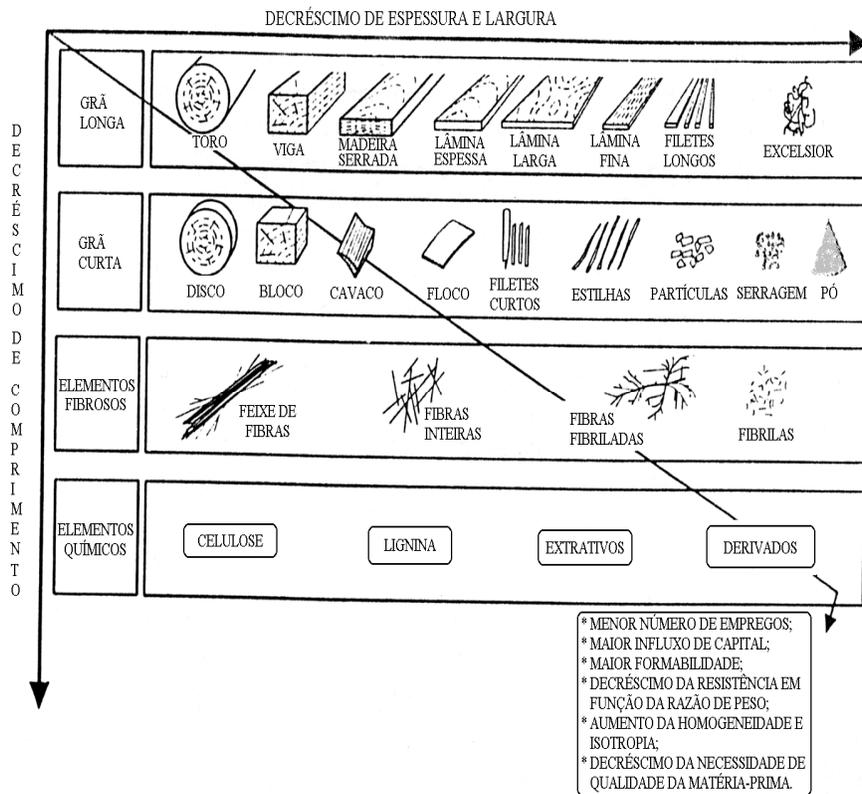


FIGURA 2 - Tabela não periódica de elementos de madeira.
 FONTE: Marra (1992).

De forma simplificada, os painéis reconstituídos de madeira podem ser classificados como ilustrado na Figura 3.

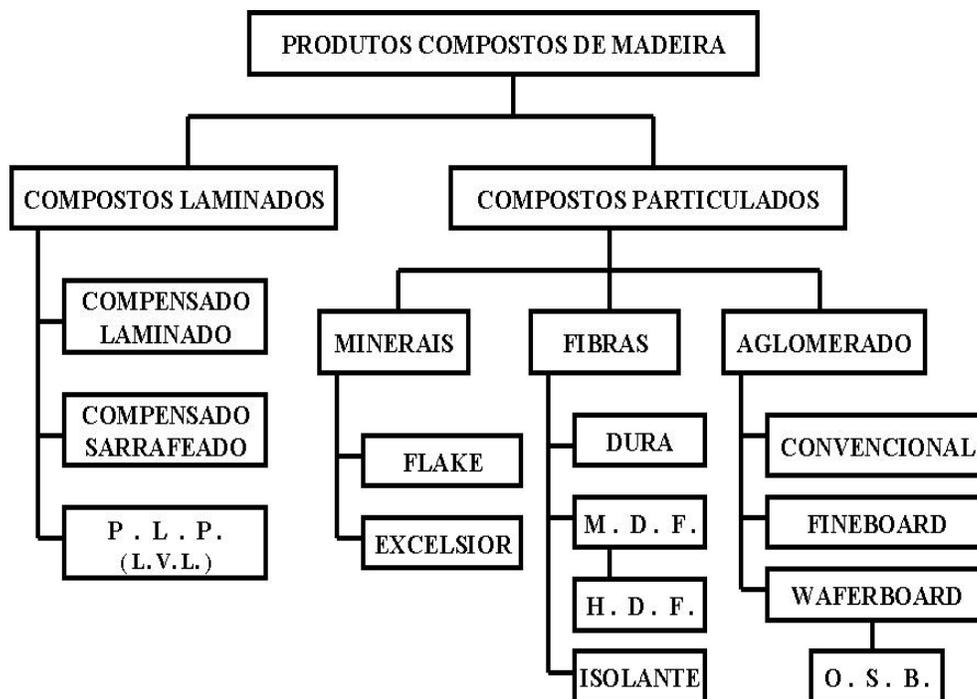


FIGURA 3 - Esquema representativo dos produtos de madeira reconstituída.
 FONTE: Marra (1992).

2.2.1 Chapas de partículas ou painéis aglomerados

Chapa de partículas ou painéis aglomerados é a forma genérica de designar um painel manufaturado a partir de materiais lignocelulósicos, geralmente madeira, essencialmente na forma de partículas. Essas partículas são ligadas por adesivos sintéticos, ou outros agentes aglutinantes apropriados, sob calor e pressão, por um processo em que as ligações interpartículas são totalmente realizadas pela adição de um agente aglutinante (Ford-Robertson, 1971).

Para chapas de partículas, seus elementos lignocelulósicos constituintes podem ser classificados, segundo Moslemi (1974) e FAO (1959), como: **flocos**

(flakes) – são partículas planas retangulares, finas, com espessura variando entre 0,2 e 0,4mm, comprimento entre 25 e 100 mm e largura compreendida entre 10 e 25 mm, que dão origem a um tipo de painel denominado fladeboard; **aparas** (shavings) – partículas finas, sem medidas padronizadas, resultantes das diversas operações de acabamento da madeira; **cavacos** (chips) – são fragmentos de madeira de tamanho variando entre 12 e 25 mm de comprimento por 1 a 5 mm de largura e espessura um pouco menor; **lã de madeira** (excelcior ou wood-wool) – definida como partículas longas e finas, com aproximadamente 250 mm de comprimento, 5 mm de largura e 0,5 mm de espessura; **strands** – são lâminas relativamente compridas, quando se compara a largura com a espessura, possuem comprimento variando de 12,7 a 76,2 mm, largura 6,4 a 25,2 mm e espessura de 0,25 a 0,64 mm, com as quais se produz um tipo de painel com partículas orientadas denominado OSB (*oriented strand board*); **partículas** (particles) – são pequenos fragmentos de madeira com comprimento variando entre 1,3 e 12,7 mm e largura e espessura variando de 0,13 a 1,3 mm; dispostas aleatoriamente geram as chapas de partículas aglomeradas convencionais; **serragem** (granule) – são partículas cujo comprimento, largura e espessura são aproximadamente iguais. Exemplo típico deste material é a serragem de madeira em suas várias granulometrias.

As fases de produção de painéis aglomerados em nível comercial são: chegada da madeira ao pátio, remoção das cascas, geração das partículas, secagem das partículas, peneiramento, estocagem das partículas em silos, aplicação do adesivo, formação do colchão, prensagem das chapas, esquadreamento e acabamento das chapas. Posteriormente, são realizados ensaios físico-mecânicos em amostras representativas para a avaliação da qualidade do produto e da viabilidade do uso a que se destina.

Embora as madeiras apresentem propriedades físico-mecânicas distintas e peculiares, as chapas produzidas com este material, independente do tipo e da

geometria das partículas e da relação madeira/adesivo, só poderão ser escolhidas para um determinado uso, com economia e segurança, conhecendo-se os valores médios que definem seu comportamento físico e sua resistência às solicitações mecânicas.

Este conhecimento indispensável é adquirido como resultado da realização de numerosos ensaios efetuados sobre corpos-de-prova retirados das chapas. Para as chapas de partículas, são usualmente utilizados os ensaios especificados na norma americana ASTM D-1037-91, e os resultados obtidos comparados aos mínimos exigidos pela norma comercial CS 236-66.

2.2.2 Painéis plástico-madeira

Painéis plástico-madeira são uma variação dos painéis conhecidos como chapas de partículas aglomerada. Além da madeira, fonte principal de matéria-prima para a produção de chapas de partículas, outros polímeros, principalmente aqueles de composição termoplástica, têm sido testados, fundidos ou em forma de partículas, para a elaboração desses produtos.

Os produtos de plástico-madeira podem ser fabricados a partir de dois processos principais: moldagem ou extrusão, sendo que ambos utilizam alta pressão e temperatura (Youngquist & Karmaker, 1996). O processo de confecção tolera pouca ou nenhuma água. A remoção da umidade das partículas de madeira e de plástico é algo crítico, pois, com o aquecimento a água em excesso pode evaporar e dar um aspecto esponjoso ao painel, resultando em um material de baixa resistência. O teor de umidade das partículas de madeira não deve ser superior a 2% (English, 1996). Segundo Youngquist & Karmaker (1996), estes compostos podem ser pregados, parafusados e trabalhados com ferramentas convencionais. O autor ainda cita a utilização desses materiais na indústria de automóveis e na construção civil.

Produtos à base de polímeros termoplásticos reciclados ou retornáveis e fibras lignocelulósicas estão, atualmente, sendo investigadas devido ao potencial que apresentam. Produtos obtidos pela mistura desses constituintes começaram a ser comercialmente empregados na década de 1980, principalmente no Japão e nos Estados Unidos, sendo fabricados segundo os mais diversos perfis e utilizados para as mais variadas aplicações (Wigotsky, 1988). Julgando pelas tendências mundiais, o futuro dos compósitos de madeira/plástico parece ser das mais promissoras, porque, para a maioria das aplicações, esses materiais têm propriedades adequadas e são de baixo custo.

A tecnologia de produção dos compósitos termoplásticos utiliza, atualmente, o polietileno de alta e baixa densidade e o polipropileno em mistura com farinha e fibras de madeira como principal matéria-prima, em função de sua maior disponibilidade e adequação aos sistemas de produção (English et al., 1996, citados por Maciel, (2001). Geralmente, os compósitos termoplásticos são produzidos pelos processos de extrusão, injeção e compressão. Durante a fusão destes polímeros recicláveis, no entanto, o calor afeta negativamente a maioria de suas propriedades. Na tentativa de manter inalteradas suas estruturas, novos tipos de plásticos têm sido avaliados em suas formas fragmentadas como elementos constituintes para a elaboração de materiais à base de plástico/madeira. Dentre eles, o poliestireno (PS) e o polietileno tereftalato (PET) têm se mostrado como potencialmente qualificados na produção de chapas de compósitos, por suas características de dureza e disponibilidade.

2.2.3 Painéis cimento-madeira

Historicamente, no âmbito da construção civil, resíduos vegetais de diversas naturezas, combinados com uma matriz aglomerante, vêm sendo empregados há quase um século. Todavia, somente nos últimos anos, com o avanço do conhecimento da microestrutura dos materiais cimentantes, foi

possível o aprofundamento das pesquisas desse tipo de material (Pimental & Beraldo, 2000, citado por Fonseca et al., 2002). Segundo Zucco (1999), os hebreus recorriam às fibras vegetais para reduzir a presença de fissuras em tijolos queimados ao sol, além de torná-los mais leves.

Essa mesma concepção tem sido aplicada em tempos atuais, utilizando-se fibras ou partículas de madeira combinada com cimento Portland e outros materiais inorgânicos tais como gesso e magnesita (Moslemi et al., 1983).

Relatos atuais mostram que os compósitos de madeira com matriz cimento foram mencionados pela primeira vez em 1908. O grande desenvolvimento desses compósitos se deu após a Segunda Guerra Mundial (Valenzuela, 1989, citado por Grandi, 1995).

Beraldo (1994), citado por Grandi (1995), afirma que o compósito obtido a partir de produtos à base de cimento e de partículas de madeira se tornou de interesse comercial nos anos 1930, com a fabricação de painéis leves, cujo ligante era cimento magnésiano. Esses painéis eram conhecidos por "Excelsius" (USA) ou "Heraklit" (Europa), tendo, em meados dos anos 1950, várias patentes sido depositadas pela sociedade Elmendorf. Ainda segundo o mesmo autor, a maior parte das atuais indústrias de painéis utiliza, ainda, os processos derivados dessas patentes. Em 1960, existia este tipo de indústria em mais de 28 países (Valenzuela, 1989, citado por Grandi, 1995).

Painéis cimento-madeira são painéis compostos basicamente de partículas ou fibras de madeira (agregado), cimento Portland (aglomerante) e água, na proporção de 1:3:1,5. Aditivos químicos têm sido empregados com o propósito de reduzir o tempo de endurecimento do cimento, acelerando o desenvolvimento da resistência. Segundo Latorraca (2000), a tecnologia de produção dos painéis de cimento-madeira é muito similar ao processo de produção de aglomerados com adesivo sintética. As propriedades dos painéis cimento-madeira dependem, estreitamente, da origem da matéria-prima vegetal

que o constitui. Conforme citam vários autores, raras são as fitomassas que podem ser adicionadas *in natura* ao cimento, sem lhe causar problemas.

A produção mundial de 2,5 milhões de m³, em 1996, demonstra o potencial deste produto. Entre os países produtores citam-se: Japão, Alemanha, Rússia, USA, Austrália, Holanda, França, Finlândia, Hungria, Costa Rica, Bulgária, Israel, Egito, Índia, Servia, Malásia, China, Canadá, Irã, Indonésia, Dinamarca, Áustria, Reino Unido, Bélgica e México (Latorraca & Albuquerque, 2002). Porém, a produção de painéis de cimento-madeira no Brasil ainda inexistente em escala industrial, apesar de ser um produto já consolidado em diversos países (Latorraca, 2000).

A boa aceitação desses painéis se deve, entre outros fatores, à resistência ao ataque de fungos e cupins, bom isolante térmico e acústico, virtualmente incombustível e de fácil trabalhabilidade (Chittenden et al., 1975, Sorfa & Bongers, 1983, Lee, 1984, citados por Latorraca, (2000). Outro fator para uma posição de destaque destes entre os produtos florestais é o custo do aglutinante utilizado (cimento) que, comprovadamente, é bastante inferior ao custo das adesivos sintéticas (Simatupang et al.,1978; Lee, 1984; Moslemi e Ahn, 1980, citados por Latorraca, (2000). Porém, grande parte dessas possíveis vantagens do compósito pode vir a ser totalmente anulada pela ocorrência de um fenômeno, ou seja, a incompatibilidade química entre a matéria-prima vegetal e o aglomerante. Esse fato levou diversos pesquisadores a buscarem soluções que evitassem ou minimizassem o efeito deletério sobre a matriz, causado pelos extrativos presentes na madeira (ou outro vegetal), (Beraldo et al., 2002).

Os compósitos cimento-madeira podem ser serrados, pregados, parafusados ou colados, permitindo assim larga utilização. Permitem, também, que sejam pintados, chapiscados, rebocados e revestidos com outros tipos de materiais. Ainda, esses painéis possibilitam o uso de rejeitos de madeira que

existem em grande quantidade no Brasil e que, na maioria dos casos, são queimados, devolvendo todo o CO₂ para a atmosfera.

Esses painéis têm tido boa aceitação no mundo, pois se busca, por meio dessa mistura, reunir propriedades desejáveis da madeira e do cimento (Coates, 1994).

O compósito pode ser definido como um material composto por dois ou mais constituintes, que possui uma fase reforçada, como, por exemplo, os painéis de cimento-madeira, em que as partículas de madeira estão envolvidas por uma fase ligante, o cimento. A vantagem desse compósito está na resistência e na dureza relativamente maiores que a dos materiais separados, além de sua baixa densidade, comparada à do concreto, seu melhor desempenho para resistir às intempéries, ao fogo, aos fungos e aos ataques de insetos, neste caso, em relação à madeira.

No compósito, na fase ligante, o cimento transmite o esforço entre as partículas de madeira, mantendo-as protegidas do meio e permitindo sua orientação apropriada. Por sua vez, a madeira, além de aumentar a resistência à tração, contribui para a redução da densidade e do custo.

2.2.4 A incompatibilidade química entre a biomassa e o cimento na confecção dos painéis cimento-madeira

De acordo com Chittenden et al. (1975), citados por Latorraca (2000), em geral, a maioria dos produtos lignocelulósicos podem, teoricamente, ser empregados como matéria-prima para, junto com o cimento, compor as chapas minerais. A exigência maior se refere à composição química desse material, a qual pode afetar a solidificação do cimento. As espécies florestais são, geralmente, as mais utilizadas nas indústrias destes painéis, podendo também ser utilizados resíduos vegetais, tais como casca do coco, bagaço da cana, casca de arroz, etc.

Os principais constituintes da madeira são a celulose, a hemicelulose e a lignina. Além destes, a madeira contém substâncias não pertencentes à parede celular, chamadas, de modo geral, de extrativos.

A celulose, devido à sua característica cristalina, provavelmente não reage com o cimento. No entanto, hemiceluloses não cristalinas solúveis em água ou em meio alcalino e os açúcares simples se combinam, provavelmente, por reação de união com íons metálicos (Pimenta, 1996). Os açúcares simples, tais como glicose, manose e galactose, têm graus de inibição da reação de hidratação diferentes. Estes carboidratos podem diminuir a hidratação e o tempo de pega por diferentes mecanismos (Pimenta, 1996). A lignina não apresenta efeito inibitório.

Estas substâncias (fenóis, ácidos, açúcares, etc.) podem retardar e, em alguns casos, impedir a “pega” do cimento, sendo necessária a utilização de algum processo de compatibilização da madeira com a matriz de cimento, para que ocorra a menor influência possível no processo de hidratação do cimento (Savastano Junior et al., 2000, citados por Fonseca et al., 2002).

Esses processos podem ser realizados por meio de tratamentos feitos por diversos meios, em geral, determinados em função do uso da peça a ser fabricada ou da disponibilidade tecnológica, segundo Fonseca et al. (2002). São eles:

- tratamentos químicos: impregnação da madeira por material quimicamente idêntico ou similar aos extrativos, com a finalidade de dificultar o acesso da água de amassamento ao interior da madeira. Também é possível impregnar a madeira com epóxi;
- tratamentos físicos: o resíduo pode ser comprimido para que se obtenha maior estabilidade dimensional, maior compacidade e maior massa específica ou pode ser lavado com água ou outros solventes para que seja eliminada a maior parcela de extrativos possível;

- aceleração de pega: não é propriamente um tratamento, mas sim a aditivação da mistura de cimento com aditivos modificadores de pega para minimizar os efeitos dos extrativos da madeira;
- mineralização: a madeira é submersa em uma solução salina para que libere extrativos e absorva os íons da solução que, posteriormente, irão cristalizar no interior da fibra. Este método produz excelentes resultados, porém, diminui a maleabilidade das fibras, tornando-as mais frágeis.

É utilizada também a lavagem das partículas em água quente. Podem-se também utilizar impermeabilizantes, como, por exemplo, Neutrol, para criar, sobre as partículas de madeira, uma camada impermeável, que impeça a água de solubilizar os extrativos da madeira, os quais são nocivos à hidratação do cimento. Alguns destes tratamentos físicos foram citados por Pimenta, (1996). São eles:

a) lavagem em água quente permite a remoção de extrativos da madeira, que se solubilizam na água, conforme procedimento utilizado por Biblis (1968);

b) aceleradores, como o cloreto de cálcio, sulfato de alumínio e silicato de sódio, têm sido empregados no estudo de compósitos cimento-madeira. Em presença de acelerador, o cimento tende a se hidratar mais rapidamente, não havendo tempo para que os extrativos da madeira afetem a reação de hidratação do cimento.

No trabalho de Moslemi et al. (1983), sobre compósitos, a adição de cloreto de cálcio (5% em relação à massa de cimento) produziu os melhores resultados relacionados aos parâmetros de hidratação do cimento (temperatura e tempo de pega), quando comparados aos tratamentos sem adição de acelerador.

Zhengtian & Moslemi (1985) testaram a influência de vários tipos de aceleradores de pega sobre a temperatura de hidratação da mistura *Western larch*/cimento. O uso do cloreto de cálcio (5% em relação à massa de cimento)

foi indicado como um dos quatro melhores, pois elevou a temperatura máxima de hidratação em 59°C. Segundo os autores, a elevação da temperatura é importante para as reações de hidratação do cimento, por reduzir o tempo de reação para apenas 8 horas, uma vez que a espécie estudada era fortemente inibidora à pega do cimento.

Lee et al. (1987) citaram o cloreto de cálcio como um acelerador eficiente e econômico, largamente adotado pelas indústrias de chapas de cimento-madeira.

Alguns ácidos orgânicos, como, por exemplo, o ácido alifático, demonstraram ser inibitórios, de acordo com Kleinlongel (1950), citado por Biblis (1968).

Segundo Biblis (1968), que estudaram a compatibilidade entre a madeira Southern pine e o cimento, a ação do fungo manchador azul (*Ceratocystis pilifera*) sobre essa madeira, durante um período de 4 meses, provocou a diminuição no tempo de pega da mistura com o cimento. Segundo os autores, tal fato deveu-se, provavelmente, à ação do fungo que consumiu os açúcares presentes na madeira.

A compatibilidade entre madeira e cimento pode ser avaliada por meio de ensaios laboratoriais, sendo os mais utilizados a verificação da resistência à compressão de corpos-de-prova cilíndricos e o teste do calor de hidratação. Sandermann & Brendel (1956), citados por Jain et al. (1989), desenvolveram o método de determinação da resistência à compressão de corpos-de-prova cilíndricos, preparados com mistura de madeira e cimento, submetidos à cura apropriada, para avaliação da compatibilidade entre madeira e cimento.

Uma avaliação do efeito de seis espécies de madeira sobre a pasta de cimento foi feita por Lee & Hong, (1986), por meio do uso do ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Nesse trabalho foi feita também uma análise para verificar a existência de correlação entre a resistência à compressão

com o tempo de hidratação, a temperatura máxima de hidratação e a idade de cura. Concluiu-se que existe relação entre a temperatura máxima de hidratação e a resistência à compressão. No entanto, não ficou bem definida a relação com o tempo de hidratação, principalmente quando foi utilizado cloreto de cálcio, o qual reduziu as faixas de variação da resistência e do tempo de hidratação, impossibilitando a análise da compatibilidade entre o cimento e as seis espécies de madeira.

Shukla et al. (1984), citados por Jain et al. (1989), verificaram a possível compatibilidade entre o cimento e uma grande quantidade de espécies de madeira e outros materiais lignocelulósicos, por meio do método desenvolvido por Sandermann et al. (1960). A resistência à compressão, obtida em corpos-de-prova cilíndricos, serviu como um parâmetro para a avaliação da compatibilidade do sistema cimento-madeira.

A determinação da resistência à compressão é um método que avalia bem a capacidade de o sistema cimento-madeira atingir a resistência final. No entanto, o método não parece ser adequado para avaliar a resistência inicial do material. O desenvolvimento da resistência inicial é importante quando se prevê um processo contínuo de produção e, para fazer esta avaliação inicial, o teste do calor de hidratação mostra-se mais adequado.

Weatherwax et al. (1964) foram os primeiros a propor uma fórmula para calcular o índice inibitório, usando apenas o tempo de hidratação (o tempo requerido para a mistura cimento-madeira atingir sua máxima temperatura). Esta fórmula foi, mais tarde, usada por outros autores para estudar misturas de madeira e cimento (Biblis, 1968). No entanto, quando variáveis experimentais começaram a se tornar mais complexas, apenas o uso do tempo de hidratação mostrou-se inadequado como índice inibitório. A fórmula do índice inibitório foi, então, melhorada por Moslemi et al. (1983), os quais sugeriram a inclusão

da máxima temperatura de hidratação e da inclinação da curva de hidratação (Lee & Hong, 1986).

Manzanares et al. (1991) utilizaram a temperatura de hidratação como parâmetro para avaliar a compatibilidade entre o cimento e três espécies florestais cubanas: *Casuarina equisetifolia*, *Pinus tropicalis* e *Busera simaruba*. Apenas essa última foi considerada como sendo não adequada para a fabricação de compósitos cimento-madeira. O método precedente também foi utilizado por Biblis (1968) e por Dass et al. (1969), ambos citados por Jain et al. (1989), para avaliação preliminar da compatibilidade do sistema cimento-madeira, para diversas espécies de madeira.

Irle & SIMPSON (1992) utilizaram a determinação da temperatura máxima de hidratação para avaliar a compatibilidade entre diversas fibras vegetais e o cimento. Avaliaram, igualmente, a influência de tratamentos físico-químicos aplicados sobre estas fibras, na compatibilidade entre elas e cimento.

Pode-se, também, analisar o fenômeno da incompatibilidade química pela vertente da matriz, ou seja, deve-se buscar um tipo de aglomerante que seja mais adequado, ou menos sensível, à combinação com a matéria-prima vegetal. Desse modo, pode-se utilizar o cimento aluminoso (pouco disponível no Brasil) ou um cimento de pega rápida, por exemplo, o CP-V-ARI, largamente utilizado na fabricação de pré-moldados. Outros autores recomendam matrizes nas quais o pH seja menor, de forma que se consiga aumentar a durabilidade do compósito (John & Agopyan, 1993, citados por Beraldo et al., 2002).

Pesquisas têm sido realizadas no intuito de identificar qual ou quais elementos constituintes da madeira afetam com maior intensidade a “pega” e solidificação do cimento. Estudos com base no teor de extrativos solúveis em água fria e ou quente são os mais realizados. Gnanaharan & Dhamodaran (1985), citados por Latorraca (2000), por exemplo, estudando extrativos solúveis em água quente e fria e em NaOH (5%) de 13 espécies tropicais, concluíram que

as espécies mais e menos promissoras ao uso em chapas de cimento-madeira foram aquelas que apresentaram, respectivamente, o menor e o maior percentual de extrativos. Oyagade (1994) et al., citados por Latorraca (2000), analisaram a compatibilidade de algumas espécies tropicais e concluíram que, para a espécie que apresentou a melhor compatibilidade com o cimento, por meio do estudo da evolução da temperatura de hidratação, a extração dos extrativos da madeira solúveis em água quente não resultou em melhorias de compatibilidade, porém, para as espécies menos compatíveis, proporcionou aumento considerável na compatibilidade.

2.2.5 Interação cimento-madeira

Segundo Coutts & Kightly (1984), a adesão entre a madeira e o cimento pode ser física, química ou uma combinação de ambas. A adesão física ocorre pelo entrelaçamento interfacial, enquanto que a química, por ligações de hidrogênio. O desenvolvimento da adesão entre o cimento e a madeira pode ser dividido em três estágios. O primeiro é um estágio químico, no qual a madeira e o cimento têm alta mobilidade, que diminui com o tempo. O segundo estágio é químico e físico: o cimento começa a cristalizar e desenvolve um matriz que envolve a madeira, e o terceiro estágio é físico e pode continuar por muitos anos.

Segundo Mehta & Monteiro (1994), a principal fonte de resistência nos produtos sólido da pasta é a existência de forças de Van der Waals. De acordo com esses autores, a adesão entre duas superfícies sólidas pode ser atribuída a estas forças.

Ahn & Moslemi (1980) relatam que o cimento sofre interferência por açúcares de formação cristalina, afetando, desta maneira, a possível interação entre a madeira e o cimento e a interação interna do próprio cimento, que, segundo Weatherwax & Tarkow (1964), resulta em chapas de qualidades inferiores (Latorraca & Albuquerque, 2002).

2.2.6 Componentes dos painéis cimento-madeira associados à madeira

- **Água**

A água é necessária para que ocorram as reações químicas do aglutinante, para os aditivos se dissolverem e, também, para permitir a mistura do cimento que irá revestir as partículas de madeira uniformemente (Schmitz, 1959, citado por Simatupang et al., 1978). Ainda de acordo com estes mesmos pesquisadores, a água necessária acima da quantidade teórica requerida para que ocorram as reações químicas do aglutinante tem sido adicionada e, durante a cura, parte do excesso dessa água é evaporada deixando microporos.

A resistência dos painéis de cimento-madeira, segundo Simatupang et al. (1978), também é muito influenciada pela presença de todos os tipos de poros. Assim, a quantidade de água a ser adicionada deve ser mantida em níveis mínimos. Como ocorre com o concreto, a propriedade de resistência dos painéis de cimento-madeira varia com a quantidade de água adicionada.

A água está presente no processo de produção das chapas sob três formas: água livre adicionada de acordo com o conteúdo de umidade das partículas, água utilizada na dissolução dos aditivos e água presente na madeira (Birault, 1989, citado por Latorraca, 2000).

- **Cimento**

O cimento é uma matéria mineral com propriedades que fazem dele um ligante oriundo diretamente das matérias-primas que a natureza põe ao nosso dispor; ele é, hoje, o produto mais usado pelo homem, superando o aço e só excedido pela água (Viroc, 2007).

Segundo Valenzuela, (1989), citado por Grandi, (1995), o cimento pode ser definido como um material aglomerante hidráulico, que se apresenta na forma de um pó muito fino. Hidráulico porque, ao contato com a água, provoca uma reação química que libera calor (reação exotérmica) e forma uma pasta

capaz de endurecer por secagem natural (Nããs, 1991, citado por Latorraca, 2000).

Antes da descoberta do cimento Portland, utilizavam-se grandes quantidades de cimento natural, obtido a partir da queima de uma mistura natural de calcário e argila. Como esta mistura ocorria na natureza sem qualquer intervenção humana, as propriedades deste cimento variavam muito (Viroc, 2007).

Em 1830, Joseph Aspdin patenteou o processo de fabricação de um ligante hidráulico, cujo método consistia em juntar proporções bem definidas de calcário e argila, reduzi-las a pó e calciná-las num forno, de forma a obter clínquer que era, depois, moído até se transformar em cimento. O produto resultante, depois de moído, tinha cor e características semelhantes às das pedras da Ilha de Portland, daí ter-se-lhe dado o nome de cimento Portland (Viroc, 2007).

Mais tarde, I.C. Johnson, em 1844, fixou as primeiras regras rigorosas que permitem calcular as misturas das matérias-primas e, simultaneamente, estabelecem o controle científico de todo o processo de fabricação.

O cimento Portland é, hoje, uma combinação química predeterminada e bem proporcionada, de cálcio, sílica, ferro e alumínio, sujeito a um processo de fabricação complexo, rigorosamente controlado e abarcando uma grande variedade de operações (Viroc, 2007).

- **Aditivos**

A indústria de aditivos, durante os últimos 40 anos, cresceu enormemente, em função do entendimento de que as propriedades do concreto, tanto no estado fresco como endurecido, podem ser modificadas pela adição de certos materiais. Os aditivos variam de tensoativos, sais solúveis e polímeros a minerais insolúveis. As finalidades para as quais eles são geralmente utilizados incluem a melhoria da trabalhabilidade, a aceleração ou o aumento de tempo de “pega” e o

controle do desenvolvimento da resistência, dentre outras. Os aditivos podem ser orgânicos e inorgânicos quanto à sua composição, mas a sua natureza química é a sua principal característica, ao contrário dos minerais (Latorraca, 2000).

Simatupang (1986) e Simatupang e Lange (1988), citados por Grandi (1995), relataram as tecnologias existentes para a redução do tempo de produção de chapas de cimento-madeira, gesso e magnésio. Referiram-se, também, à adição de retardadores e aceleradores de pega, à injeção de vapor e à adição de CO₂ em forma gasosa, durante a prensagem das chapas. Sabe-se que os aditivos influenciam as reações químicas inerentes à hidratação do cimento. A temperatura ótima durante a pega varia de 40°C a 80°C e é influenciada pelos materiais constituintes. O uso de CO₂ sob pressão na fabricação de placas cimento-madeira permite a utilização de espécies de madeira com maior concentração de glicose e taninos. Ressalta-se que tal tecnologia é empregada no Japão, utilizando-se autoclaves.

2.3 Fatores que afetam as propriedades dos painéis particulados

2.3.1 Fatores inerentes à madeira

2.3.1.1 Espécie

A espécie botânica é uma das mais importantes variáveis presentes no processo de produção de painéis. Ela interage com todas as outras variáveis no processo e determina quão reduzido o painel pode ser em massa específica. Em primeiro lugar, a espécie é refletida no tipo de matéria-prima disponível e, além disso, controla o tipo de partícula que pode ser produzida economicamente.

A variedade de espécies possui dois aspectos, segundo Zobel & Van Buijtenen (1989): a variação encontrada entre as espécies e as variações dentro de uma espécie.

Alguns fatos mostram a influência da espécie botânica na qualidade dos painéis e sua correlação com outras variáveis do processo.

Zhow (1990), ao não encontrar relação entre densidade dos painéis e condutibilidade térmica, menciona que as propriedades térmicas dos painéis dependem especialmente da espécie ou do tipo de madeira, utilizadas na manufatura.

2.3.1.2. Densidade da madeira

A mais importante variável relativa à espécie, que regula as propriedades das chapas, é a densidade da própria matéria-prima lenhosa. Esta densidade tem sido um importante fator na determinação de quais espécies podem ser empregadas na manufatura dos painéis. Em termos gerais, madeiras de densidade mais reduzida possibilitam a produção de painéis dentro da faixa adequada de densidade, além de possuir, normalmente, propriedades de resistência superiores a espécies de densidades mais elevadas (Maloney, 1993).

O emprego de espécies de alta densidade pode ser viabilizado por meio da mistura com espécies de baixa densidade, a fim de obter uma mistura de espécies com densidade média (Maloney, 1993).

2.3.1.3. pH

A acidez da madeira é uma importante variável que requer atenção, sendo avaliada pelo nível de pH e a capacidade compensadora. Muitas pesquisas têm sido realizadas nesse sentido por empresas fabricantes de adesivos. A fim de empregar adesivos de forma econômica e adequada ao tipo de operação utilizada nas unidades industriais, condições químicas apropriadas devem ser determinadas na montagem do painel, para a cura da adesivo propriamente dita, pois isto é importante, principalmente, nas empresas que empregam adesivos uréia-formaldeído. Essas condições são dependentes, em parte, de uma certa extensão de acidez no processo de cura (Maloney, 1993).

2.3.1.4. Umidade da madeira

A umidade pode ser definida como a quantidade de água presente em uma amostra em relação à sua massa (Biermann, 1996).

Variações do teor de umidade causam variações do peso da peça de madeira. Desse modo, é fácil perceber a alta influência que o teor de umidade exerce sobre a massa específica. Também o volume poderá sofrer alteração devido a contrações ou inchamentos da peça de madeira (Kollmann, 1950).

Grande parte do peso de uma árvore e, em alguns casos, a maior parte dele, se deve à presença da água, preenchendo os espaços vazios celulares e intercelulares do lenho, impregnando as paredes das células e participando de sua constituição química. A umidade interfere nas propriedades da madeira reduzindo sua resistência mecânica, seu poder calorífico e, por outro lado, facilitando a trabalhabilidade, aumentando o rendimento e a qualidade da polpa celulósica e a susceptibilidade ao ataque de fungos.

O teor de umidade da matéria-prima é importante no planejamento de qualquer unidade industrial, tendo em vista o dimensionamento da capacidade necessária do secador. Se o recebimento de um material com alto conteúdo de umidade é previsto para o futuro, isto terá de ser considerado no projeto original. Além disso, é importante ressaltar que grandes variações no conteúdo de umidade, do material que entra na fábrica, também causam problemas na produção (Maloney, 1993).

Espécies com umidade elevada podem apresentar dificuldade na picagem ou na moagem, por causa da obstrução do equipamento, além da secagem ser dispendiosa em função da necessidade de uma maior quantidade de energia. Em alguns casos, alta umidade tende a produzir partículas com superfícies encrespadas, que são mais difíceis de colar e, conseqüentemente, podem necessitar de maior quantidade de adesivo. Por outro lado, madeiras com

umidade elevada, normalmente, possuem um melhor rendimento em partículas, devido à reduzida quantidade de finos produzida, pois, nessa condição, a quebra de fibras se reduz durante a produção das partículas. Contudo, matéria-prima com umidade reduzida, geralmente, possui as características opostas das supramencionadas (Maloney, 1993).

O mesmo autor relata também que, durante o processo de produção, a variação da umidade da matéria-prima pode acarretar problemas operacionais em quase todas as etapas produtivas, incluindo a cura do adesivo durante a prensagem dos painéis.

2.3.1.5 Compostos químicos presentes na madeira

A composição química da madeira é caracterizada pela presença de componentes fundamentais e acidentais. Os componentes fundamentais caracterizam a madeira, pois são parte integrante das paredes das fibras e da lamela média. São considerados componentes fundamentais a celulose, as hemiceluloses e a lignina (Oliveira, 1997 e Silva, 2002).

Dentre os compostos químicos presentes na madeira estão os extrativos. Esses compostos não fazem parte da estrutura da madeira e incluem taninos e outros polifenólicos, substâncias corantes, óleos essenciais, gorduras, adesivos, graxas, gomas, amido, etc. Os extrativos na madeira variam, em proporção quantitativa, de 5% a 30%, e podem ser removidos por solventes adequados (Sjostron, 1993).

Diversas pesquisas têm sido conduzidas, ao longo dos anos, sobre as variações e os tipos de extrativos nas espécies. Muito pouco dessas informações tem sido relacionado à manufatura de painéis de partículas de madeira (Maloney, 1993).

Nos casos em que os tipos de extrativos, e suas variações quantitativas, representam importante parte no processo produtivo, problemas podem ocorrer

no consumo do adesivo e na sua taxa de cura. Adicionalmente, podem ser observadas baixas resistências à umidade em produtos acabados, bem como problemas relacionados ao estouro de painéis durante a prensagem. Tais problemas devem ser avaliados quando do uso de espécies que possuam extrativos que afetem negativamente o processo de composição do painel (Maloney, 1993).

Em geral, as espécies de alto teor de extrativos são propensas a estouros no final do ciclo de prensagem. Os extrativos podem também interferir na cura do adesivo, além de resultar numa linha de cola de baixa resistência entre as partículas (Cloutier, 1998).

A madeira é um material orgânico e os seus constituintes químicos estão relacionados com as suas propriedades. O conhecimento da composição química da madeira é importante para a definição do uso do material.

Hillis & Brown (1988) afirmam que o teor de extrativos é um dos mais importantes indicadores de conformidade da madeira para diversos usos industriais. A acentuada presença desses compostos inviabiliza a cura do cimento quando se utilizam tábuas como formas de betão em construções e alteram ou comprometem a utilização de tintas e vernizes, pois interferem na cura, na penetração e na reação de polimerização dos adesivos.

Os mesmos autores definem os compostos químicos constituintes da madeira e quantifica-os da seguinte forma:

(1) celulose: substâncias que se constituem em largas cadeias de polissacarídeos, apresentam-se na ordem de 40% a 45% da substância madeira;

(2) hemiceluloses: substâncias que formam uma matriz envolvendo a celulose, apresentam-se na ordem de 20% a 30% da substância madeira;

(3) lignina: substâncias incrustantes, que preenchem os espaços vazios na parede celular, constituem de 18% a 25% e de 25% a 35% da substância madeira em folhosas e coníferas, respectivamente;

(4) extrativos: compostos solúveis em água e solventes orgânicos, localizados nos lumens celulares, nas paredes celulares e nas células parenquimáticas da madeira, apresentam-se na ordem de 2% a 25% da substância madeira.

Araújo (1944), estudando a madeira de nim indiano (*Azadirachta indica* A. Juss), afirmam que a espécie possui teores de extrativos totais, de lignina e de holocelulose na ordem de 8,46%, 23,52% e 68,01%, respectivamente.

Hillis & Brown (1988) citam que, para o gênero *Eucalyptus* spp, a composição química para as suas madeiras varia de 40% a 62% de celulose, 12% a 22% de hemiceluloses e de 15% a 25% de lignina.

Trugilho et al. (2003) afirmam que, para as espécies *Eucalyptus grandis* e *E. saligna*, os valores médios de extrativos totais, de lignina e de holocelulose apresentam-se na ordem de 6,71%, 31,77% e 61,52%, respectivamente.

Esta variação nos componentes químicos da madeira dá-se devido a vários fatores, como espécie, tratos silviculturais e, principalmente, sua estrutura anatômica.

2.3.1.6 Idade cambial

Um aspecto de preocupação dos pesquisadores, para a melhoria da qualidade dos painéis, está relacionado com a proporção de madeira juvenil Zobel & Van Buijtenen, (1989), que é caracterizada por uma maior instabilidade dimensional em relação à madeira adulta. Observam-se mudanças abruptas na densidade e na porosidade das madeiras relacionadas à idade cambial, no entanto, essas mudanças resultam em partículas strands mais estreitas, além de uma maior produção de finos.

Nesse sentido, Hon & Bangi (1996) demonstraram, experimentalmente, que, se as partículas strands passarem por um pré-tratamento de acetilação, pode-se melhorar sensivelmente a estabilidade dimensional dos painéis.

Dadswell & Nicholls (1960), em pesquisas realizadas na Austrália, observaram que a variação das propriedades da madeira em função da idade deve ser levada em consideração para os estudos de qualidade. Pois, constataram que rotações florestais longas beneficiam a qualidade e o rendimento, proporcionando maiores diâmetros das toras, acarretando em maiores rendimentos no desdobro, madeira mais estável pela maior presença de cerne e produtos de maior valor pela proporção de madeira limpa de qualidade superior.

O uso do termo madeira juvenil é, de certa forma, errônea, pois não há uma mudança abrupta da madeira juvenil para a adulta, mas sim uma variação das propriedades físicas, químicas, mecânicas e anatômicas da madeira ao longo de um período longo de anos, caracterizando, assim, a zona juvenil que apresenta propriedades variáveis, se comparada com a zona adulta, que as tem de forma constante Zobel & Van Buijtenen, (1989).

2.3.1.7 Substâncias estranhas

A denominação “substâncias estranhas” talvez não seja adequada, quando se consideram as espécies. Contudo, essas substâncias estão associadas com a matéria-prima recebida, que normalmente vem acompanhada de resíduos de outras unidades industriais processadoras de madeira, como partículas de casca indesejáveis e substâncias minerais contidas na própria madeira. Segundo Maloney (1993), este é um problema real na região dos “Southern pine” nos E.U.A.

Outro problema se refere às partículas metálicas encontradas na madeira. Peças, como pregos, parafusos, componentes de motosserra ou de outras

máquinas, podem ser incorporadas de alguma forma à madeira. Esses materiais podem causar descolorações no painel, além de afetar o consumo de adesivo, aumentar a absorção de água na chapa ou afetar adversamente o acabamento do produto com revestimentos e coberturas.

Estas partículas também podem causar desgastes e danos aos equipamentos utilizados nas operações de geração e secagem das partículas, além de danificar as ferramentas de corte usadas no acabamento e na usinagem dos painéis, tanto na produção como na utilização final (Maloney, 1993).

2.3.2 Fatores inerentes ao processo

2.3.2.1 Densidade dos painéis

Sobral Filho (1981) concluiu que, aumentando-se a densidade dos painéis de 0,67 para 0,73g/cm³, ocorre um aumento nas suas propriedades mecânicas (MOR, MOE e ligação interna). No entanto, não se observou efeito da densidade dos painéis sobre inchamento em espessura em 24 horas (IE-24h) e expansão linear. O mesmo autor também observou que a introdução de partículas menores (“pulp chip strands”) causou um pequeno aumento na densidade dos painéis, mas uma diminuição nos valores de MOR e MOE.

Segundo Zhou (1990), a densidade dos painéis influencia de maneira significativa o MOR, o MOE, a ligação interna e a resistência ao arrancamento de pregos e parafusos. No entanto, concluiu que, para o caso específico do seu estudo, o relacionamento entre a densidade dos painéis com estas propriedades não é linear. Esse pesquisador também encontrou alta correlação entre a densidade dos painéis em relação à absorção de água e ao inchamento em espessura, porém, atribuiu o aumento dessas propriedades ao número maior de partículas necessárias para a confecção de painéis de densidade maior que, provavelmente, seria uma influência química, pelo aumento do número de sítios

higroscópicos e também pelo fato de a adesivo utilizada ter sido a uréia-formaldeído (UF).

Zhang et al. (1998) encontraram um aumento no MOR, no MOE e na ligação interna (LI), quando a densidade dos painéis passou de 0,60 para 0,70g/cm³. Wu (1999) também constatou a mesma tendência de aumento de MOR e MOE, com aumento da densidade dos painéis na faixa de 0,55 a 1,15g/cm³.

Garcia et al. (1999) encontraram relação positiva entre densidade dos painéis e condutibilidade térmica, e relação negativa com permeabilidade lateral/transversal e convecção térmica dos painéis.

Entretanto, quanto mais elevada for a densidade dos painéis, maior será a dificuldade na usinagem, que impede a aceitação de produtos densos no mercado convencional, acostumado com a utilização de painéis de densidade menores (Maloney, 1993).

2.3.2.2 Razão de compactação

A relação entre a densidade da chapa e a densidade da madeira, denominada de razão de compactação, exerce um efeito marcante nas propriedades dos painéis particulados, tendo em vista o processo de densificação do material, para a consolidação do painel até a espessura final. A utilização de madeiras de baixa densidade resulta em chapas de alta razão de compactação e maior área de contato entre as partículas, resultando em melhores propriedades de flexão estática e ligação interna (Moslemi, 1974; Maloney, 1993; Kelly, 1997).

A razão de compactação estabelece a relação entre a densidade da chapa pela densidade da madeira:

$$RC = \frac{d_{chapa}}{d_{madeira}} = \frac{t_{colch\tilde{a}o}}{t_{chapa}}$$

Sendo:

- RC : razão de compactação;
d_{chapa} : densidade da chapa (kg/m³);
d_{madeira} : densidade da madeira (kg/m³);
t_{colchão} : espessura do colchão (mm);
t_{chapa} : espessura da chapa (mm).

A razão pelo emprego preferencial de espécies relativamente leves é a de que tais espécies podem ser comprimidas numa chapa de partículas de média densidade, com a garantia de que uma suficiente área de contato entre partículas é desenvolvida durante a operação de prensagem, para realizar uma boa colagem. Espécies mais densas simplesmente não podem ser comprimidas numa chapa de partículas de média densidade com boa colagem.

Considerando-se a pressão específica constante durante a prensagem, as partículas de madeiras mais leves produzirão painéis com valores maiores de ligação interna e resistência mecânica em relação às partículas de madeiras de densidades mais elevadas (Maloney, 1993).

2.3.2.3 Adesivo

Os quatro principais tipos de adesivos atualmente empregados na indústria de painéis compostos à base de madeira são os seguintes: uréia-formaldeído (UF), melamina-formaldeído (MF), fenol-formaldeído (FF) e difenil metano di-isocianato (MDI).

Watai (1996) menciona que a indústria de produtos colados, principalmente à base de madeira, pode se tornar cada vez mais importante e competitiva no setor de construção civil. Ainda segundo o autor, este processo requererá etapas audaciosas em pesquisas e em aplicações de novas tecnologias.

Murakami et al. (1999) estudaram os efeitos do tipo e do teor de adesivo e observaram um incremento nas propriedades mecânicas e estabilidade dimensional dos painéis, com o aumento do conteúdo do adesivo. Em contrapartida, Wu (1999) não encontrou uma relação bem definida entre teor de adesivo e MOR, MOE e expansão linear, quando o teor foi aumentado de 4% para 6%. Ele menciona que os efeitos do nível de adesivo sobre estas propriedades são relativos e mais diversificados, não seguindo, portanto, uma tendência lógica.

2.3.2.4 Parafina

A parafina é adicionada a fim de proporcionar uma melhora na resistência do painel acabado quanto à absorção de água na forma líquida. Contudo, isso não melhora o desempenho do painel quanto à absorção de vapor d'água. O efeito da parafina na absorção da água na forma líquida e o aumento na espessura do painel são significativos somente em curto intervalo de tempo, pois, em períodos de tempo mais longos, o efeito não é significativo.

Em trabalho realizado por Matos (1988), MOR e MOE apresentaram valores maiores quando foi adicionado 1% de parafina às partículas com teor de umidade de 3% e 5% para a produção de painéis *walferboard*. Ele supôs que este

fato tenha ocorrido pelo acréscimo de umidade às partículas com a adição da parafina e a tendência seria a menor resistência à compactação pelo aumento da plasticização devido à adição de umidade. Esta suposição decorre do fato de que Kelly (1997), em sua extensa revisão sobre a influência das variáveis de processamento nas propriedades dos painéis particulados, ressalva que aplicações de parafina acima de 1%, baseadas no peso seco do material, causam reduções nas propriedades de resistência dos painéis pela influência sobre a reação de cura do adesivo.

A indústria utiliza a parafina numa proporção máxima em torno de 1,5%. Uma proporção mais elevada não é eficiente na redução de absorção de água e do inchamento em espessura (Cloutier, 1998). É nesse sentido que todas as pesquisas utilizando parafina não ultrapassam 1,5% de parafina com base no peso seco do material.

2.3.2.5 Dimensões das partículas

Segundo Maloney (1977), a relação entre o comprimento e a largura das partículas deve ser de, no mínimo, três, para proporcionar boa orientação das partículas no painel, sendo esta relação utilizada por Marra (1992) para classificar as partículas “strand”.

Kelly (1997) relata que é muito freqüente encontrar, na literatura, indicações de que, na relação entre o comprimento e a espessura (índice de esbeltez), a espessura tem o efeito mais importante, principalmente acima de 0,5mm.

Iwakiri (1989) verificou que as chapas tipo “WAFER” apresentaram maior MOE que as dos tipos “flake” e “sliver”, devido, principalmente, ao maior comprimento das partículas e ao índice de esbeltez. O autor observou que a menor área superficial específica das partículas e a maior disponibilidade de

adesivo por unidade de área das partículas do tipo “wafer” pode ter contribuído para a diferença do MOE em relação aos outros painéis de “flake” e “sliver”.

2.3.2.6 Umidade das partículas

Segundo Matos (1988), a importância do teor de umidade do material no ciclo da prensa deve-se à influência que exerce sobre a resistência da madeira à compressão. Partículas com teor de umidade elevado requerem um tempo menor para atingir, sob pressão, uma desejada espessura. A umidade e a temperatura em conjunto proporcionam maior plasticização da madeira que oferecerá menor resistência à compactação. Também a transferência de calor, desde a superfície até o miolo do painel, é facilitada com maiores teores de umidade do material. Há um movimento mais rápido de vapor para as camadas internas, facilitando o aquecimento e a cura do adesivo. O mesmo autor relata que, por outro lado, elevados teores de umidade requerem tempos mais longos de prensagem, até que uma quantidade suficiente de vapor seja liberada e permita a adesão entre partículas de camadas interiores.

Segundo Kelly (1997), uma umidade excessiva interfere na reação química de polimerização do adesivo e isso ocorre especialmente nas camadas mais internas, pois, assim que os pratos aquecidos da prensa tocam o material, há transferência de calor entre as camadas e a umidade das camadas superficiais, mais aquecidas, migra para o interior do painel, menos aquecido, o que dificulta o processo de cura do adesivo.

Segundo Cloutier (1998), o gradiente de densidade é determinado por vários fatores, entre os quais se destaca a umidade das camadas superficiais do colchão. De modo geral, o conteúdo de umidade mais alto nas camadas superficiais e o tempo de fechamento da prensa mais reduzido acentuam o gradiente de densidade.

2.3.2.7 Tempo de fechamento da prensa

O tempo de fechamento da prensa é o tempo de compressão das partículas desde o contato dos pratos da prensa com o material até atingir a espessura desejada (Matos, 1988).

Segundo Kelly (1997), o aquecimento das camadas superficiais ocorre rapidamente e permite a compressão das partículas dessas camadas, antes do aquecimento do interior (miolo). Desse modo, não há uma boa distribuição da compressão através do material, provocando um aumento no gradiente vertical de densidade. O mesmo autor relata que um tempo muito longo de fechamento faz com que o adesivo nas partículas em contato com os pratos aquecidos da prensa polimerize antes que um contato suficiente entre as partículas tenha ocorrido, resultando na redução da adesão do material e causando pré-cura nas camadas superficiais, o que reduz as propriedades de resistência.

2.3.2.8 Tempo de prensagem

Quando espaçadores são empregados na prensagem de painéis de partículas, o tempo de prensagem refere-se ao intervalo de tempo desde o momento em que os espaçadores são atingidos pelos pratos da prensa até a abertura da prensa (Matos, 1988).

Segundo Iwakiri (1989), o tempo mínimo de prensagem depende, principalmente, da eficiência na transferência de calor, da espessura do painel, da temperatura de prensagem e da distribuição da umidade no colchão.

Segundo Matos (1988), reduções no tempo de prensagem dos painéis são mais desejáveis, pois implicam em uma maior produção por unidade de tempo, bem como provoca uma redução no consumo de energia. O mesmo autor, referindo-se à literatura, relata que o principal efeito do decréscimo no tempo de prensagem é a redução nas propriedades de resistência.

Para painéis com 15mm de espessura, produzidos experimentalmente com madeiras do gênero pinus, o tempo de prensagem de 8 minutos tem apresentado resultados satisfatórios (Brito, 1984; Matos, 1988; Iwakiri, 1989).

2.3.2.9 Temperatura de prensagem

A principal função da temperatura da prensa na produção de painéis de partículas é a aceleração da polimerização do adesivo distribuído entre as partículas e a plasticização da madeira (Matos, 1988).

Iwakiri (1989) encontrou referências de que quanto maior a temperatura de prensagem maior será o fluxo de calor, permitindo melhor densificação das camadas mais internas dos painéis, resultando em maior resistência das ligações internas e menor resistência à flexão estática.

Brito (1984), Keinert Jr. (1988), Matos (1988) e Iwakiri (1989) obtiveram painéis de boa qualidade para espécies do gênero pinus, utilizando temperatura de prensagem de 160°C a 180°C, com adesivo fenólica.

Segundo Cloutier (1998), as indústrias no Canadá utilizam temperatura de prensagem de 200°C a 220°C, dependendo da espessura do painel.

2.3.2.10 Pressão específica

As principais funções da pressão aplicada sobre as partículas são promover a consolidação do colchão na espessura final desejada e assegurar o contato adequado entre as partículas. Brito (1984), Keinert Jr. (1988), Matos (1988) e Iwakiri (1989) obtiveram painéis de boa qualidade para espécies do gênero pinus, utilizando pressão específica variando de 35 a 40kgf/cm² e adesivo fenólica.

2.4 Propriedades dos painéis particulados

2.4.1 Propriedades físicas

2.4.1.1 Absorção de água e inchamento em espessura

Absorção de água e inchamento em espessura são, respectivamente, a expressão percentual da quantidade de água absorvida e o inchamento em espessura, quando uma amostra condicionada a 20°C e 65% de UR (umidade de equilíbrio em torno de 12%) é imersa em água, por 2 e 24 horas (Norma ASTM). Segundo Brito (1984), o inchamento em espessura é uma das propriedades mais importantes em termos de estabilidade dimensional dos painéis.

O inchamento em espessura pode ser afetado pela espécie de madeira, pela geometria das partículas, pela densidade dos painéis, pelo nível de adesivo, pelo nível de parafina, pela eficiência da aplicação da cola e pelas condições de prensagem. No entanto, também para esta propriedade, existem algumas controvérsias entre as pesquisas já realizadas. Como, por exemplo, a maioria das citações relata a existência de uma relação positiva entre densidade dos painéis e IE/AA. Em contrapartida, Vital et al. (1974) concluíram que painéis com maior razão de compactação (1,6) apresentaram menor absorção de água que painéis com menor razão de compactação (1,2). Eles consideraram a redução na porosidade e o aumento na quantidade de material lenhoso como prováveis causas da menor taxa de absorção de água.

2.4.1.2 Taxa de não retorno em espessura

Segundo Iwakiri (1989), a exposição do painel a um ciclo de alta e baixa umidade relativa, em que ocorre primeiro o inchamento e depois a contração, resulta em um inchamento residual, devido à liberação das tensões de compressão impostas aos painéis, sendo denominada de taxa de não retorno em espessura (TNRE). Este efeito pode ser reduzido ou eliminado por meio de

tratamentos especiais, como pós-vaporização e pós-aquecimento dos painéis, embora estes métodos tenham aplicações limitadas.

Kelly (1997) relata uma relação direta entre o inchamento residual e a densidade do painel (aglomerado convencional) e relação inversa com o teor de adesivo. O autor afirma também que a largura das partículas não apresenta qualquer influência sobre o inchamento residual.

No estudo realizado por Matos (1988), para painéis Waferboard produzidos com *Pinus taeda*, a diferentes condições de prensagem, foi observada forte influência da umidade das partículas e presença de parafina sobre o inchamento residual. O autor relata que, com a aplicação de 1% de parafina, o inchamento residual é reduzido.

2.4.1.3 Expansão linear

Expansão linear é a expressão percentual do valor expandido, quando uma amostra condicionada a 20°C e 65% de UR (umidade de equilíbrio em torno de 12%) é imersa em água por 24 horas. Os valores obtidos para painéis de partículas de madeira são menores em comparação com os valores da madeira maciça, em função da diminuição da anisotropia. Na literatura encontram-se resultados contrastantes entre os pesquisadores para definir a relação da expansão linear com algumas variáveis de processamento, tais como densidade dos painéis, nível de adesivo e parafina, razão de compactação. Nesse sentido, Brito (1984), após revisar o assunto, concluiu que não há uma relação clara entre as variáveis mencionadas anteriormente e a expansão linear.

2.4.2 Propriedades mecânicas

2.4.2.1 Módulo de elasticidade (MOE)

Maloney (1977) define o módulo de elasticidade (MOE), como a elasticidade de um material até o limite de proporcionalidade. Já Iwakiri (1989)

menciona que o MOE é um parâmetro que indica a rigidez de um material submetido a um determinado esforço.

O MOE é afetado pelas diversas variáveis do processo de produção de painéis, dentre as quais a densidade e a composição dos painéis, o conteúdo de adesivo, a razão de compactação, o conteúdo de parafina e as dimensões das partículas refletidas no índice de esbeltez (Vital et al., 1974; Kelly, 1997; Matos, 1988).

2.4.2.2 Módulo de ruptura (MOR)

Brito (1984) e Maloney (1977) definem o módulo de ruptura (MOR) como o limite do material, submetido ao esforço máximo até a ruptura. Iwakiri (1989) ressalta que o MOR é uma propriedade muito importante, que determina a aplicabilidade dos painéis de partículas de madeira para uso estrutural.

2.4.2.3 Compressão paralela

O ensaio mecânico de compressão paralela em painéis consiste na aplicação da tensão paralela ou perpendicular às partículas das faces, dependendo da direção do corpo-de-prova em relação às camadas externas dos painéis. A resistência a este esforço também é influenciada pela linha de cola das partículas e pela tendência de ruptura por cisalhamento.

2.4.2.4 Ligação interna

O ensaio mecânico de ligação interna mede o grau de adesão entre as partículas, em amostras submetidas aos esforços de tração perpendicular. A ruptura ocorre, normalmente, na porção média da sua espessura, a qual corresponde à região de menor densidade e ligação entre as partículas (Iwakiri, 1989).

Em geral, a literatura menciona que, com o aumento da densidade dos painéis, do conteúdo de adesivo, do tempo e da temperatura de prensagem, ocorre um aumento na resistência da ligação interna. No entanto, existem algumas controvérsias em relação ao efeito de determinadas variáveis de processamento na ligação interna. Por exemplo, Vital et al. (1974) não encontraram correlação definida entre ligação interna e densidade dos painéis. A adição de parafina é muito importante para a estabilidade dimensional dos painéis, no entanto, promove, segundo Winistorfer et al. (1992), uma redução na ligação interna dos painéis.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Para a produção dos painéis foram utilizados seis clones de *Eucalyptus* spp, procedentes da companhia mineira de metais, localizada no município de Vazante, MG, resíduos da madeira de candeia (*Eremanthus erythropappus*), após a extração do óleo, procedentes da indústria de óleo de candeia Citrominas, localizada no município de Carrancas, MG e madeira de *Pinus* spp procedente do Campus da Universidade Federal de Lavras (UFLA), em Lavras, MG.

3.1 Obtenção das partículas de madeira

Os clones de *Eucalyptus* spp e as árvores de *Pinus* spp foram conduzidos na Unidade Experimental de Produção de Painéis de Madeira (UEPAM) da UFLA, na condição de toras retiradas a 0%, 25%, 50%, 75% e 100% da altura comercial da árvore. As toras foram laminadas para posterior utilização na produção de compensados multilaminados. Os resíduos da laminação e do arredondamento das toras passaram por um moinho martelo para serem transformados em partículas, sendo estas submetidas a peneiramento mecânico. Os resíduos da madeira de candeia também passaram pelo peneiramento mecânico. O material resultante do aproveitamento da laminação utilizado na produção dos painéis, em sua maioria, foi aquele da secção periférica das toras. Menor volume foi utilizado das aparas das lâminas.

As partículas e o resíduo utilizados foram aqueles que, após peneiramento mecânico, passaram pela peneira de 10 mesh e ficaram retidos na de 30 mesh.

As partículas de madeira, tanto de pinus quanto de eucalipto e o resíduo da candeia utilizados na confecção dos painéis aglomerado convencional e plástico-madeira, foram levadas à estufa, até atingir uma umidade final de 3%, a qual foi monitorada pelo uso de medidor de umidade por infravermelho. As partículas e o resíduo utilizados na confecção dos painéis cimento-madeira foram secos ao ar e utilizados quando atingiram uma umidade final de 11%.

3.2 Análise física e química da madeira

3.2.1 Determinação da densidade básica da madeira

Parte dos discos de cada uma das cinco seções das árvores foi destinada à determinação da densidade básica de acordo com a Norma ABNT NBR 11941/2003, obtendo-se, assim, uma média para cada árvore, no caso do pinus e, para cada clone, para a madeira de eucalipto. A densidade básica da madeira da candeia foi obtida segundo informações coletadas em estudo realizado por Scolforo et al. (2002), na região de estudo.

3.2.2 Análises químicas

Para realização das análises químicas foi utilizado o material resultante da outra parte dos discos retirados de cada uma das cinco seções de cada árvore, o qual foi transformado em cavacos e, posteriormente, em serragem. Utilizou-se a fração de serragem que atravessou a peneira de 40 mesh e ficou retida na peneira de 60 mesh. Esse material foi acondicionado em ambiente climatizado com $20 \pm 3^{\circ}\text{C}$ de temperatura e a $65 \pm 1\%$ de umidade relativa, até peso constante.

A solubilidade da madeira em água fria e em água quente foi determinada de acordo com o padrão estabelecido em norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas de Celulose e Papel, ABNT-CP (1974) M 4/68;

O teor de extrativos totais foi determinado de acordo com o padrão estabelecido em norma da ABNT-CP (1974) M 3/69;

O teor de lignina (Klason) foi determinado de acordo com procedimentos descritos por Gomide e Demuner (1986);

A porcentagem de holocelulose foi calculada por meio da Equação 1:

$$H (\%) = 100 - ET - TLI \quad (1)$$

em que:

ET = extrativos totais (%)

TLI = teor de lignina insolúvel (%)

A análise química da madeira de candeia foi feita a partir do material coletado antes e depois da retirada do óleo.

3.3 Manufatura dos painéis

Foram confeccionados três diferentes tipos de painéis: painéis cimento-madeira, aglomerado convencional e painéis plástico-madeira.

3.3.1 Painéis cimento-madeira

Foram adotados seis tratamentos na confecção dos painéis cimento-madeira. Produziram-se três painéis por tratamento, totalizando dezoito painéis.

O delineamento experimental adotado na confecção dos painéis está apresentado na Tabela 2.

TABELA 2 – Delineamento experimental adotado na manufatura dos painéis.

Tratamentos	% candeia	% <i>Eucalyptus</i> spp	% <i>Pinus</i> spp
T1	75	25	-
T2	50	50	-
T3	25	75	-
T4	75	-	25
T5	50	-	50
T6	25	-	75

3.3.1.1 Tratamento das partículas em água fria

Baseando-se no resultado do tratamento de partículas para a confecção de painéis cimento-madeira realizado por Lochi (2007), ao estudar a utilização de clones de eucalipto na confecção de painéis cimento-madeira, optou-se pelo mesmo tratamento no desenvolvimento desse trabalho.

As partículas de *Pinus* spp, *Eucalyptus* spp e *Eremanthus* spp foram colocadas em recipientes distintos e imersas em água fria até completa saturação, deixando-se um volume de água acima do nível destas, durante 24 horas, agitando-se periodicamente. Passado esse tempo, as partículas foram lavadas em água corrente até que a água se apresentasse incolor, indicando que já não havia mais remoção de compostos químicos. Na Figura 4 está ilustrado o procedimento utilizado. Após o tratamento, as partículas foram secas ao ar livre.



FIGURA 4 – Tratamento das partículas de madeira em água fria.

3.3.1.2 Análise de aptidão das partículas com o cimento

O método utilizado para avaliar a aptidão das partículas com o cimento foi o utilizado por Hofstrand et al. (1984), com algumas modificações.

A análise de aptidão consistiu, de forma sistemática, na evolução da temperatura da mistura cimento-madeira durante 24 horas. O monitoramento da temperatura de reação é utilizado como parâmetro para a determinação dos índices de inibição da “pega” ou endurecimento do cimento.

Foram realizados nove tratamentos para a análise de aptidão das madeiras com o cimento. Do tratamento T1 ao tratamento T6, as partículas receberam tratamento prévio em água fria, durante 24 horas e a massa para cada espécie a ser utilizada no teste foi calculada de acordo com as proporções que seriam utilizadas na confecção dos painéis. A associação utilizada nos tratamentos T1, T2 e T3 foi eucalipto e candeia (25:75), (50:50) e (75:25), respectivamente. Nos tratamentos T4, T5 e T6, foi utilizada a associação de pinus e candeia (25:75), (50:50) e (75:25), respectivamente. Os tratamentos T7, T8 e T9 foram os chamados tratamentos testemunha, em que foram utilizadas porcentagens de 100% de candeia, pinus e eucalipto, respectivamente, sem tratamento prévio das partículas.

Nessa análise, foram utilizadas as partículas de madeira que ficaram retidas na peneira com malha de 60 mesh.

Dentro de um saco plástico (4 x 20cm) foram colocados 200 g de cimento Portland CP V – ARI/Plus, 15 g de partículas secas ao ar em proporções equivalentes àquelas que foram utilizadas na confecção dos painéis e que receberam tratamento em água fria, durante 24 horas. Foram realizados também testes de aptidão com partículas que não receberam tratamento, com o objetivo de servirem de testemunhas para o teste. Para cada mistura foram adicionados 90 ml de água. Sem exceder 5 minutos, o material foi misturado e, em cada saco, foi colocado um cabo termopar tipo “J”, acoplado a um sistema de aquisição de dados de fabricação da YOCOGAWA, modelo DC100 –12–11–1D –Data Collector, no qual os dados foram gerados e armazenados em intervalos de um minuto, pelo período de 24 horas. Posteriormente, os dados foram transferidos

para um microcomputador e processados no aplicativo computacional Microsoft Excel.

Cada saco plástico contendo a mistura cimento-madeira-água foi envolvido em papel alumínio e, em cada um deles, foi introduzido um cabo para medir a temperatura (termopar). Foram, então, colocados em garrafas térmicas que foram revestidas com lã de vidro e acomodadas em uma caixa térmica hermeticamente fechada, a fim de evitar a perda de calor para o ambiente, uma vez que as reações que ocorrem com a mistura cimento-madeira e água são exotérmicas. Os cabos foram conectados de dentro do saco em contato com a mistura ao aparelho, atravessando a tampa da caixa (Figuras 5 e 6).

A caixa térmica continha quatro garrafas, cada uma delas com um cabo termopar. Para cada tratamento foram feitas quatro repetições do ensaio de termometria.

A quantidade de cimento e de partículas secas para o teste obedeceu à relação madeira:cimento de 1:2,75. A quantidade de água foi calculada pela equação sugerida por Souza (1994), citado por Latorraca (2000), conforme apresentada a seguir:

$$\text{ÁGUA(g)} = \text{taxa água : cimento} \cdot \text{cimento(g)} + \text{madeira} \cdot 0,3 - \left(\frac{\text{UM}(\%)}{100} \right)$$



FIGURA 5 – Amostras armazenadas para o teste de aptidão entre a madeira e o cimento.



FIGURA 6 – Sistema utilizado na análise de aptidão da mistura cimento-madeira.

Os índices de inibição foram calculados de acordo com a equação de Hostrand et al. (1984).

Para a classificação da compatibilidade da madeira com o cimento foi utilizada a classificação de Okino et al. (2003), conforme Tabela 3.

TABELA 3 – Índice de inibição utilizado para classificar a compatibilidade da madeira com o cimento.

Índice de inibição (%)	Classificação
I < 10	Inibição baixa
I = 10 – 50	Inibição moderada
I = 50 – 100	Inibição alta
I > 100	Inibição extrema

Fonte: Okino et al. (2003).

3.3.1.3 Parâmetros de produção dos painéis

Na confecção dos painéis foram utilizados os seguintes parâmetros:

- densidade do painel:
 - 1,25 g/cm³.
- dimensões do painel:
 - 48,0 cm de largura;
 - 48,0 cm de comprimento;
 - 1,5 cm de espessura.
- relação madeira:cimento:
 - 1: 2,75.
- relação água:cimento
 - 1: 2,5.
- taxa água de hidratação:cimento
 - 0,25.
- quantidade de aditivo:
 - 4% em relação à massa de cimento.
- porcentagem de perdas:
 - 6%.

- parâmetros de prensagem:
 - pressão = 40 kgf/cm²;
 - prensagem a frio;
 - tempo de prensagem = 10 minutos;
 - tempo de grampeamento = 24 horas.
- tempo de acondicionamento
 - 28 dias.

3.3.1.4 Cálculos dos componentes dos painéis

Para os cálculos dos componentes de cada painel, utilizou-se a metodologia citada por Souza (1994).

a) Determinação do peso do painel (Equação 1):

$$PC = \text{comprimento} \times \text{largura} \times \text{espessura} \times \text{peso específico (seco)} \times \text{perdas} \quad (1)$$

b) Determinação da quantidade de cimento (Equação 2) e madeira (Equação 3) para o painel seco:

$$Cimento(g) = \frac{PC}{(1 + \text{taxa madeira : cimento} + \text{taxa água hidratação : cimento})} \quad (2)$$

$$Madeira(g) = \frac{PC \times \text{taxa madeira : cimento}}{(1 + \text{taxa madeira : cimento} + \text{taxa água hidratação : cimento})} \quad (3)$$

c) Determinação da quantidade de cimento (Equação 4), madeira (Equação 5), aditivo (Equação 6) e água (Equação 7):

$$CIMENTO(g) = cimento(g) \times \left(1 - \frac{\text{aditivo}}{100}\right) \quad (4)$$

$$MADEIRA(g) = madeira (g) \times \left(1 - \frac{UM}{100}\right) \quad (5)$$

$$ADITIVO (g) = cimento (g) \times \left(\frac{aditivo}{100}\right) \quad (6)$$

$$\dot{A}GUA(g) = taxa\acute{a}gua: cimento \times cimento(g) + madeira \times 0,3 - \left(\frac{UM}{100}\right) \quad (7)$$

em que:

UM = umidade da madeira (%)

Aditivo (%)

d) Determinação do peso total do painel (Equação 8):

$$PT (g) = CIMENTO (g) + MADEIRA (g) + ADITIVO (g) + \dot{A}GUA (g) \quad (8)$$

e) Cálculo da quantidade de material a ser levado para a prensa (Equação 9):

$$MP = PESO TOTAL \times \left(1 - \frac{PERDAS}{100}\right) \quad (9)$$

3.3.1.5 Manufatura dos painéis cimento-madeira

Na manufatura dos painéis cimento-madeira utilizaram-se três diferentes porcentagens de madeira na forma de partículas oriundas do clone 4 de *Eucalyptus* spp, árvores de *Pinus* spp e resíduos da madeira de candeia após a extração do óleo, tratadas em água fria, cimento Portland ARI-V (alta resistência inicial), água destilada e o aditivo químico cloreto de cálcio ($CaCl_2$).

Os valores da densidade básica do clone 4 de *Eucalyptus* spp, da média das árvores de *Pinus* spp e da madeira de candeia foram, respectivamente, de 0,52 g/cm³, 0,50 g/cm³ e 0,58 g/cm³.

Procedeu-se, inicialmente, ao cálculo de cada componente (madeira, cimento, água e aditivo), determinando-se, assim, a massa equivalente dos componentes para cada tratamento.

Após pesado cada componente, esses foram misturados em uma betoneira. Primeiramente, colocaram-se as partículas de madeira, conforme proporções adotadas para cada tratamento, e pulverizou-se lentamente a água com o aditivo químico diluído, para se obter uma umidificação homogênea das partículas, evitando-se assim a formação de embolamentos. Em seguida, adicionou-se o cimento sobre as partículas umidificadas e deixou-se a betoneira funcionando por 8 minutos, contados a partir do momento em que todos os componentes se encontravam na betoneira.

A massa total dos três painéis foi misturada ao mesmo tempo. Retirada da betoneira, a massa de cada painel foi devidamente separada, pesada e distribuída aleatoriamente em placas de alumínio formadoras do colchão, untadas com óleo diesel, para facilitar a retirada do painel após sua prensagem e grampeamento. Sobre cada chapa de alumínio foram colocadas quatro barras de ferro, com espessura de 15 mm, para controlar a espessura final dos painéis. As barras formavam um quadrado, limitando as dimensões de cada painel em 480mm de largura e 480mm de comprimento. Em seguida, foram sobrepostas mais duas chapas de alumínio, também untadas com óleo diesel e limitadas pelas barras de ferro, favorecendo a confecção de três painéis para cada tratamento.

Carregada com os painéis, a prensa foi fechada sob pressão a frio. Aplicou-se e manteve-se a pressão necessária para os colchões atingirem a espessura dos separadores, para efetivar o grampeamento. Foi aplicada uma pressão de 40 kgf/cm^2 , durante 10 minutos. Logo em seguida, a prensa foi aberta e, durante 24 horas, ocorreu a fase de restrição por grampeamento (Figura 7). Durante esse período, os painéis foram mantidos sob condição ambiente de umidade e temperatura.

Após as 24 horas, os grampos foram retirados e os painéis encaminhados para a retirada dos corpos-de-prova para os ensaios físicos e mecânicos. Em seguida, os mesmos foram levados à câmara de climatização, à temperatura de $20\pm 3^{\circ}\text{C}$ e a $65\pm 1\%$ de umidade relativa e empilhados cuidadosamente, separados por tabiques, para garantir secagem uniforme até a cura final de 28 dias, quando foram ensaiados para a determinação das propriedades físicas e mecânicas.

Os painéis produzidos com a associação de eucalipto à candeia apresentaram embolamentos após a mistura dos componentes do painel.



FIGURA 7 – Sistema de grampeamento dos painéis.

3.3.1.6 Análise estatística

O experimento com painéis cimento-madeira foi instalado segundo um delineamento inteiramente casualizado com três repetições. Os tratamentos foram arranjados segundo um esquema fatorial 2 x 3, sendo 2 tipos de madeira (eucalipto e pinus) e 3 porcentagens de substituição de candeia pelas madeiras estudadas (25%, 50% e 75%).

O modelo estatístico que descreve as observações é dado por:

$$y_{ijk} = \mu + m_i + s_j + ms_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

em que: y_{ijk} é o valor da variável dependente na k-ésima repetição que recebeu

o i-ésimo tipo de madeira e a j-ésima porcentagem de substituição;
com $k = 1, 2, 3$;

μ é uma constante inerente a cada observação;

m_i é o efeito do i-ésimo tipo de madeira, com $i = 1, 2$;

s_j é o efeito da j-ésima porcentagem de substituição, com $j = 1, 2, 3$;

ms_{ij} é o efeito da interação entre o i-ésimo tipo de madeira e j-ésima porcentagem de substituição;

ε_{ijk} é o erro experimental associado à observação na k-ésima repetição que recebeu o i-ésimo tipo de madeira e j-ésima porcentagem de substituição, independente e com distribuição normal com média zero e variância σ^2 .

3.3.2 Painéis aglomerado convencional

Foram adotados 12 tratamentos e produziram-se 3 painéis por tratamento, totalizando 36 painéis. O delineamento experimental empregado na confecção dos painéis pode ser visto na Tabela 4 .

TABELA 4 – Delineamento experimental empregado na confecção dos painéis aglomerado convencional.

Tratamentos	Partículas (%)			Adesivo (%)	Parafina (%)
	Eucalipto	Pinus	Candeia		
T1	25	-	75	8	1
T2	50	-	50	8	1
T3	75	-	25	8	1
T4	-	25	75	8	1
T5	-	50	50	8	1
T6	-	75	25	8	1
T7	25	-	75	12	1
T8	50	-	50	12	1
T9	75	-	25	12	1
T10	-	25	75	12	1
T11	-	50	50	12	1
T12	-	75	25	12	1

3.3.2.1 Componentes dos painéis

Foram utilizados, na confecção dos painéis: partículas de madeira do clone 6 de *Eucalyptus* spp, escolhido em função das suas características físicas e químicas, partículas De *Pinus* spp, resíduo da madeira de candeia após a extração do óleo, adesivo uréia-formaldeído com teor de sólidos de 62,37% e emulsão de parafina com teor de sólidos de 59,8%.

As densidades básicas encontradas para o clone 6 de *Eucalyptus* spp., de *Pinus* spp e madeira de candeia foram, respectivamente, de 0,56 g/cm³, 0,50 g/cm³ e 0,58 g/cm³.

3.3.2.2 Manufatura dos painéis

Os painéis aglomerado convencional foram produzidos utilizando-se 2 teores de adesivo (8% e 12%), base peso seco das partículas, 2 tipos de madeira (eucalipto e pinus), em 3 porcentagens de incorporação ao resíduo da madeira de candeia.

Os painéis foram produzidos de forma a se obter uma densidade final igual a $0,70 \text{ g/cm}^3$ e dimensões de $48 \times 48 \times 1,5 \text{ cm}$. As quantidades de madeira, adesivo e parafina foram calculadas em função desses parâmetros. Para o cálculo da massa de madeira considerou-se uma umidade de 3%, baseado no monitoramento da umidade das partículas. Para cada tratamento, foram feitas três repetições.

As proporções das partículas de madeira foram pesadas e colocadas no interior de um misturador tipo tambor rotatório, com velocidade de 30 rotações por minuto. O adesivo e a parafina foram aplicados por meio de uma pistola, acionada por compressor de ar, durante um tempo médio de aplicação de 6 minutos. O método consistiu em adicionar primeiro o adesivo e, logo após, a parafina. O adesivo foi colocado em um recipiente graduado e descia até a pistola por gravidade; a parafina foi colocada em um recipiente no interior do tambor.

As partículas de madeira, depois de misturadas com o adesivo e a parafina, foram levadas para a seção formadora do colchão. O colchão foi formado, manualmente, depositando-se a mistura de partículas sobre uma chapa de alumínio de 2,0 mm de espessura colocada sob uma caixa de madeira sem fundo, com dimensões internas de $48 \times 48 \text{ cm}$, as quais foram, então, cuidadosamente espalhadas, de forma aleatória e levadas a uma pré-prensagem manual, sob pressão média de 10 kgf/cm^3 , durante 3 minutos.

Formado o colchão de partículas, esse foi levado à prensa com a mesma chapa de alumínio utilizada na pré-prensagem e outra na parte superior do

colchão, de mesma espessura. Para controlar a espessura final do painel em 1,5cm, evitando uma possível interferência na sua densidade e, conseqüentemente nas propriedades avaliadas, foram colocadas barras nas laterais do colchão, antes de o mesmo ser submetido à pressão em prensa hidráulica automática, com aquecimento elétrico, ajuste independente de temperatura nos pratos e controle de pressão aplicada. O ciclo de prensagem obedeceu às seguintes condições: temperatura de 160°C; pressão, 40 kgf/cm² e tempo de 8 minutos.

3.3.2.3 Análise estatística

O experimento realizado com painéis aglomerado convencional foi instalado segundo um delineamento inteiramente casualizado, com três repetições. Os tratamentos foram arranjados segundo um esquema fatorial 2 x 2 x 3, sendo 2 teores de adesivo (8% e 12%), 2 tipos de madeira (eucalipto e pinus) e 3 porcentagens de substituição de candeia pelas madeiras estudadas (25%, 50% e 75%).

O modelo estatístico que descreve as observações é dado por:

$$y_{ijkl} = \mu + r_i + m_j + p_k + rm_{ij} + rp_{ik} + mp_{jk} + rmp_{ijk} + \varepsilon_{ijkl},$$

em que: y_{ijkl} é o valor da variável dependente na l-ésima repetição que recebeu

o i-ésimo teor de adesivo, j-ésimo tipo de madeira e k-ésima porcentagem de substituição; com $l = 1, 2, 3$;

μ é uma constante inerente a cada observação;

r_i é o efeito do i-ésimo teor de adesivo, com $i = 1, 2$;

m_j é o efeito do j-ésimo tipo de madeira, com $j = 1, 2$;

p_k é o efeito da k-ésima porcentagem de substituição, com $k = 1, 2, 3$;

rm_{ij} é o efeito da interação entre o i-ésimo teor de adesivo e j-ésimo tipo de madeira;

rp_{ik} é o efeito da interação entre o i-ésimo teor de adesivo e k-ésima porcentagem de substituição;

mp_{jk} é o efeito da interação entre o j-ésimo tipo de madeira e k-ésima porcentagem de substituição;

rpm_{ijk} é o efeito da interação entre o i-ésimo teor de adesivo, j-ésimo tipo de madeira e e k-ésima porcentagem de substituição;

ε_{ijkl} é o erro experimental associado à observação na l-ésima repetição que recebeu o i-ésimo teor de adesivo, j-ésimo tipo de madeira e k-ésima porcentagem de substituição, independente e com distribuição normal com média zero e variância σ^2 .

3.3.3 Painéis plástico-madeira

Foram adotados 6 tratamentos, baseando-se nos melhores resultados encontrados nas avaliações físicas e mecânicas das propriedades dos painéis produzidos para o aglomerado convencional. Produziram-se 3 painéis por tratamento, totalizando 18 painéis.

O delineamento experimental adotado na confecção dos painéis está apresentado na Tabela 5.

TABELA 5 – Delineamento experimental empregado na confecção dos painéis plástico-madeira.

Tratamentos	Candeia (%)	<i>Eucalyptus spp</i> (%)	PET (%)	Parafina (%)
T1	25	75	25	1
T2	25	75	25	-
T3	25	75	50	1
T4	25	75	50	-
T5	25	75	-	1
T6	25	75	-	-

3.3.3.1 Componentes dos painéis

Foram utilizados os seguintes componentes na confecção dos painéis plástico-madeira: partículas de madeira, adesivo uréia-formaldeído com teor de sólidos de 62,37%, polietileno tereftalato (PET) e parafina com teor de sólidos de 59,8%.

As madeiras empregadas na produção dos painéis foram o MIX (mistura dos clones 1,2,3,4,5,6) de *Eucalyptus spp* e o resíduo da madeira de candeia, após a extração do óleo, retidos em peneira com malha de 1,0 x 1,0 mm .

O polietileno tereftalato (PET) foi obtido de uma fábrica de materiais recicláveis localizada no município de Bonsucesso, MG, na forma de partículas originadas de envases de refrigerantes.

A densidade do PET determinada medindo-se o volume de água deslocada por uma massa conhecida foi igual a $1,13 \text{ g/cm}^3$. As densidades básicas média do mix de *Eucalyptus* spp e da madeira de candeia, determinadas de acordo com a norma ABNT NBR 11941/2003, foram iguais a $0,57 \text{ g/cm}^3$ e $0,58 \text{ g/cm}^3$, respectivamente.

3.3.3.2 Preparação das partículas de plástico do tipo PET

Os plásticos de PET foram coletados em forma de partículas, já isentos de impurezas. Essas partículas foram, então, classificadas em peneira com sistema mecânico e malha com abertura de $1,0 \times 1,0 \text{ mm}$, sendo aproveitadas as que ficaram retidas na respectiva malha. As granulometrias das partículas de PET são mostradas na Figura 8.



FIGURA 8 – Granulometria das partículas de plástico do tipo PET.

3.3.3.3 Manufatura dos painéis plástico-madeira

Na manufatura dos painéis plástico-madeira, utilizaram-se duas porcentagens de incorporação de PET e tratamentos com e sem parafina, e os tratamentos testemunha.

Todos os painéis foram produzidos de forma a se obter uma densidade final igual a $0,70 \text{ g/cm}^3$ e dimensões de $48 \times 48 \times 1,5 \text{ cm}$. As frações de madeira e plástico foram calculadas em função desses parâmetros. Para o cálculo da massa de madeira considerou-se uma umidade de 3%. A quantidade de adesivo aplicada nos painéis foi de 12% de sólidos resinosos, com base na massa da mistura empregada. A massa de partículas foi calculada para gerar um painel por vez, cada tratamento correspondendo a três repetições. Os equipamentos e a seqüência de utilização foram os mesmos utilizados na confecção dos painéis aglomerado convencional, sob as mesmas condições.

As partículas de madeira e de plástico foram pesadas e colocadas no interior de um misturador tipo tambor rotatório, à velocidade de 30 rotações por minuto. O adesivo e a parafina foram aplicados por meio de uma pistola acionada por compressor de ar, durante um tempo médio de aplicação de 6 minutos. O método consistiu em adicionar primeiro o adesivo e, logo após, a parafina. O adesivo foi colocado em recipiente graduado e descia até a pistola por gravidade; a parafina foi colocada em um recipiente no interior do tambor.

A mistura de partículas de madeira e plástico, depois de aspergidas com o adesivo e a parafina, foi levada para a seção formadora do colchão. O colchão foi formado, manualmente, depositando-se a mistura de partículas sobre uma chapa de alumínio de 2,0 mm de espessura, colocada sob uma caixa de madeira sem fundo, com dimensões internas de $48 \times 48 \text{ cm}$, as quais foram espalhadas de forma aleatória e levadas a uma pré-prensagem manual, sob pressão média de 10 kgf/cm^3 , durante 3 minutos.

Após a pré-prensagem, o colchão de partículas foi levado à prensa com a mesma chapa de alumínio recebida na pré-prensagem e outra na parte superior do colchão, de mesma espessura. Para controlar a espessura final do painel em 1,5cm e evitar uma possível interferência na sua densidade e, conseqüentemente, nas propriedades avaliadas, foram colocadas barras nas laterais do colchão antes do mesmo ser submetido à pressão em prensa hidráulica automática, com aquecimento elétrico. O ciclo de prensagem obedeceu as seguintes condições: temperatura de 160⁰C; pressão de 40 kgf/cm² e tempo de 8 minutos.

3.3.3.4 Análise estatística

O experimento realizado com os painéis plástico-madeira foi instalado segundo um delineamento inteiramente casualizado com três repetições. Os tratamentos foram arrançados segundo um esquema fatorial 3 x 2, sendo 3 porcentagens de incorporação de plástico PET (0%, 25% e 50%), na presença e na ausência de parafina.

O modelo estatístico que descreve as observações é dado por:

$$y_{ijk} = \mu + s_i + p_j + sp_{ij} + \varepsilon_{ijk},$$

em que: y_{ijk} é o valor da variável dependente na k-ésima repetição que recebeu

a i-ésima porcentagem de incorporação de PET no j-ésimo nível do fator parafina; com $k = 1, 2, 3$;

μ é uma constante inerente a cada observação;

s_i é o efeito da i-ésima porcentagem de incorporação de PET, com $i = 1, 2, 3$;

p_j é o efeito do j-ésimo nível do fator parafina, $j = 1, 2$;

sp_{ij} é o efeito da interação entre a i-ésima porcentagem de incorporação de PET e o j-ésimo nível do fator parafina;

ε_{ijk} é o erro experimental associado à observação na k-ésima repetição que recebeu a i-ésima porcentagem de incorporação de PET no j-ésimo nível do fator parafina, independente e com distribuição normal com média zero e variância σ^2 .

3.4 Avaliação das propriedades dos painéis

O processo de obtenção dos corpos-de-prova dos painéis foi realizado por meio do uso de uma serra circular esquadrejadeira. Inicialmente, os painéis foram esquadrejados, retirando-se cerca de 2 cm de cada extremidade para a retirada das bordas. A distribuição dos corpos-de-prova em cada painel é apresentada na Figura 9.

Para a avaliação das propriedades físico-mecânicas dos painéis e dos compósitos adotaram-se os procedimentos recomendados pela norma alemã DIN (1982), com as devidas modificações e a norma americana ASTM 1037 (1997).

As propriedades avaliadas foram: ligação interna (LI), flexão estática (módulo de elasticidade - MOE e módulo de ruptura - MOR), compressão paralela (CP), absorção em água (AA) e inchamento em espessura (IE), após 2 e 24 horas de imersão.

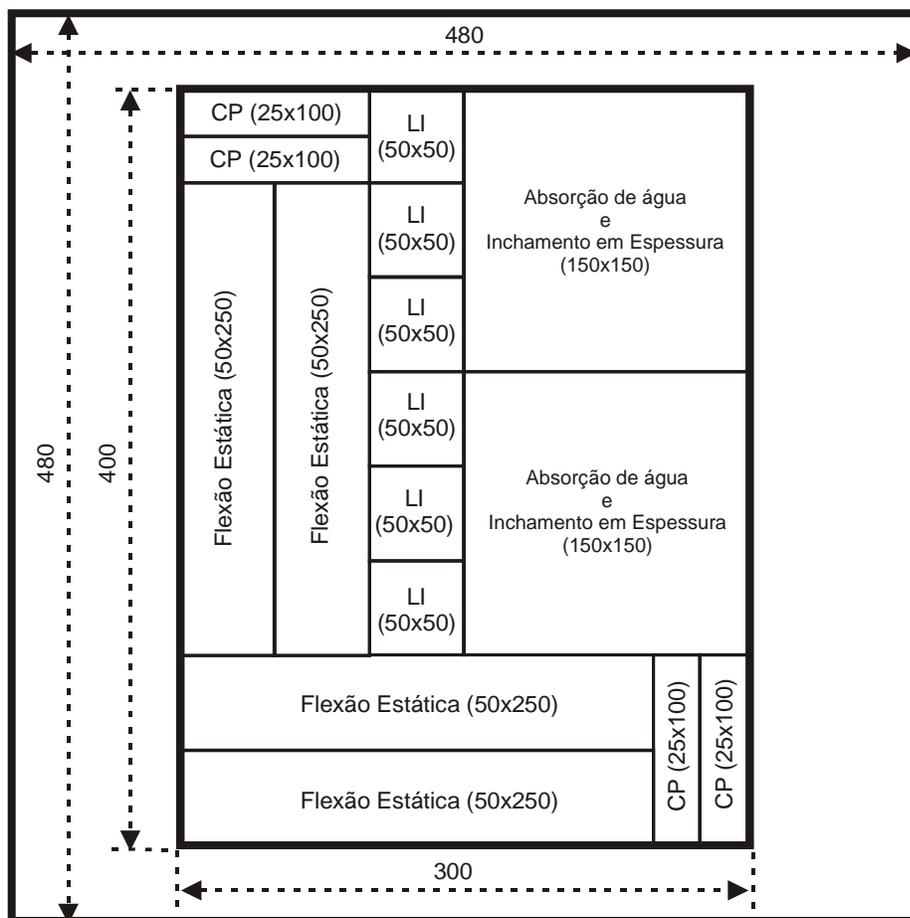


FIGURA 9 – Esquema de distribuição dos corpos-de-prova nos painéis para a avaliação das propriedades (mm).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Densidade básica das madeiras utilizadas na confecção dos painéis

Na Tabela 6 são apresentados os valores médios de densidade básica da madeira dos clones 4 e 6 de eucalipto, do MIX dos clones 1, 2, 3, 4, 5, 6 de eucalipto, de pinus e da madeira de candeia.

TABELA 6 – Valores médios da densidade básica das madeiras de eucalipto, pinus e candeia.

Espécie	Densidade básica média (g/cm ³)
<i>Eucalyptus</i> spp (clone 4)	0,52
<i>Eucalyptus</i> spp (clone 6)	0,56
MIX <i>Eucalyptus</i> spp	0,56
<i>Pinus</i> spp	0,50
<i>Eremanthus</i> spp	0,58

A densidade média da madeira do clone 4, utilizada na confecção dos painéis cimento-madeira, é de 0,52 g/cm³. Nota-se que esse é o menor valor dentre os observados para os clones de eucalipto. A densidade da madeira do clone 6, utilizado na confecção dos painéis de aglomerado convencional, é de 0,56 g/cm³. Esse mesmo valor é observado para a densidade média do “MIX” de clones utilizados na confecção dos painéis plástico-madeira. As madeiras de pinus e candeia apresentaram, respectivamente, valores iguais a 0,50g/cm³ e 0,58g/cm³. Estes valores influenciam no volume de partículas empregadas na formação do colchão, pois estão diretamente relacionados ao seu peso.

Em geral, a densidade da madeira empregada para a produção de chapas situa-se entre 0,40 e 0,60 g/cm³ (Mitlin, 1968). Iwakiri (1998) encontrou, para quatro diferentes espécies de pinus, densidades que variavam entre 0,47 e 0,54

g/cm³, durante o estudo de utilização da espécie para a produção de chapas waferboard.

No entanto, vários trabalhos foram realizados com painéis de madeira reconstituída, utilizando-se espécies com densidades acima da faixa citada por Mitlin (1968). Iwakiri et al. (2002) encontraram, para seis diferentes espécies de *Eucalyptus*, valores de densidade que variavam entre 0,61 e 0,81g/cm³ e as utilizaram na produção de chapas de partículas orientadas.

Verifica-se, portanto, que o valor médio observado para a densidade das madeiras utilizadas na manufatura dos painéis, durante este estudo, está dentro da média encontrada, na literatura, para espécies destinadas ao processamento e à geração de partículas e posterior confecção de painéis de madeira reconstituída.

Segundo Scolforo et al. (2002), a faixa de densidade básica encontrada para a madeira de candeia ao longo da árvore situa-se entre 0,60 e 0,78g.cm⁻³, com predominância de valor entre 0,63 e 0,71g.cm⁻³.

4.2 Análises químicas das madeiras utilizadas na confecção dos painéis

Os resultados da análise química dos clones 4, 6 e MIX dos clones de *Eucalyptus* spp podem ser visualizados na Tabela 7.

TABELA 7 – Valores médios da análise química dos clones de *Eucalyptus* spp

Clones de eucalipto	Análises				
	Solubilidade (%)		Extrativos totais (%)	Teor de lignina (%)	Holocelulose (%)
	Água fria	Água quente			
4	4,82	6,47	8,65	29,21	62,14
6	5,68	7,46	8,52	26,47	65,01
MIX	5,13	6,99	8,02	25,91	66,06

O valor da porcentagem de extrativos totais para o clone 4, utilizado na confecção dos painéis cimento-madeira, foi de 8,65%. Para o clone 6, esse valor foi de 8,52% e a média percentual do teor de extrativos totais para o “MIX” dos clones (1,2,3,4,5,6) foi de 8,02%. Apesar de ocorrerem diversas influências sobre essas características da madeira, como idade e sítio, esses valores são considerados elevados, comparados àqueles encontrados na literatura.

Latorraca (2000) observou, para quatro diferentes espécies de *Eucalyptus* utilizadas na confecção de painéis cimento-madeira, valores de extrativos entre 1,51% e 4,52%.

Os valores da porcentagem de extrativos totais observados neste trabalho também foram superiores aos encontrados por Trugilho et al. (2003) que verificaram que, para as espécies de *Eucalyptus grandis* e *E. saligna*, os valores médios para extrativos totais foram de 6,71%. Silva, (2002) encontrou, para a madeira de *Eucalyptus grandis*, valor médio de 4,6% de extrativos totais e citou Oliveira & Della Lúcia (1994), que encontraram 3,6% de extrativos totais para a mesma espécie.

Hachmi & Moslemi (1989) verificaram que o conhecimento da composição química da madeira tem um papel importante para se determinar a compatibilidade da mesma na confecção de painéis minerais. Alberto et al. (2000) ratificam que as características físicas e químicas da madeira são aspectos fundamentais que têm grande influência no produto final, sobretudo porque nem todas as espécies reagem favoravelmente com o cimento Portland, devido ao tipo e à quantidade de extrativos presentes na madeira.

Trugilho et al. (2003) verificaram, para *Eucalyptus grandis* e *E. saligna*, valores médios para teor de holocelulose de 61,52%.

Foi observada correlação negativa entre o teor de lignina e o teor de holocelulose, indicando que, na medida em que diminuiu o teor de lignina, aumentou o teor de holocelulose presente na madeira dos clones de eucalipto. A

mesma correlação foi observada por Trugilho et al. (1996), ao estudarem as características físico-químicas da madeira de *Eucalyptus saligna*.

Os resultados da análise química para as árvores de pinus podem ser visualizados na Tabela 8. Observa-se valor médio, para os extrativos totais, de 6,83% e, para o teor de holocelulose, de 66,49%.

TABELA 8 – Análise química das árvores de *Pinus* spp

Árvores de <i>Pinus</i> spp	Análises				
	Solubilidade (%)		Extrativos totais (%)	Teor de lignina (%)	Holocelulose (%)
	Água fria	Água quente			
1	3,49	3,56	6,68	26,63	66,69
2	3,69	4,70	8,31	27,52	64,17
3	3,18	5,88	5,55	25,78	68,67
4	2,74	4,69	6,79	26,75	66,46
Médias	3,27	4,70	6,83	26,67	66,49

Mendes (1993) encontrou, para *Pinus taeda*, valores médios de 5,8%, para extrativos totais e de 66,4%, para porcentagem de holocelulose. Silva, (2002), estudando a utilização múltipla de *Pinus caribaea*, encontrou valores médios para extrativos totais de 7,63% e de 65,93% para holocelulose. Observa-se que os valores encontrados, após análise química das árvores de pinus, estão dentro das médias encontradas por esses autores.

Os valores encontrados para as árvores de pinus, comparados aos valores encontrados para os clones de eucalipto, são inferiores para porcentagem de extrativos totais e superiores para porcentagem de holocelulose. O valor médio de holocelulose, para os seis clones de eucalipto (66,06%) é próximo ao valor médio para as quatro árvores de pinus (66,49%). Segundo Andrade (2006), nas folhas, a holocelulose é encontrada em maior quantidade do que nas

coníferas. Porém, apesar de próximos, os valores para porcentagens de holocelulose encontrados para folhosas e coníferas, durante este estudo, diferem desses. Por outro lado, o mesmo autor afirma que o teor de lignina é maior nas coníferas do que nas folhosas, o que foi verificado, visto que o valor médio das porcentagens de lignina para os clones de eucalipto foi de 25,91%, enquanto que, para o pinus, foi de 26,67%.

Hachmi & Moslemi (1989) verificaram que a compatibilidade das espécies para a produção de chapas de cimento-madeira, em geral, diminui quando o teor de extrativos dessas aumenta, apesar de terem encontrado exceções.

O resultado da análise química do resíduo da madeira de candeia, antes e após a extração do óleo, encontra-se na Tabela 9.

TABELA 9 – Valores médios da análise química do resíduo da madeira de candeia, antes e depois da extração do óleo.

Resíduo da madeira de candeia	Análises				
	Solubilidade (%)		Extrativos totais (%)	Teor de lignina (%)	Holocelulose (%)
	Água fria	Água quente			
Antes da extração do óleo	6.12	11.59	15.10	49.42	35,48
Após a extração do óleo	7,23	10,30	16,62	54,12	29,26

O resíduo da madeira de candeia, após a extração do óleo, apresentou valor médio percentual de 16,62%, para teor de extrativos totais e de 7,23%, para extrativos em água fria e 10,30%, para teor de extrativos em água quente.

De acordo com os resultados observados, a candeia é uma das espécies com maior porcentagem de extrativos totais, extrativos em água quente e água fria, dentre as utilizadas para a confecção dos painéis.

A espécie *Quercus súber* (mamona virgin-cork) foi classificada com alto teor de extrativos, por Hachmi & Moslemi (1989), ao revelar valor médio de 10,8%, porém, apta para produção de painéis minerais.

O fato de a candeia apresentar valores elevados para extrativos totais era esperado, visto que tratar-se de uma espécie que possui, em sua madeira, uma considerável concentração de óleos.

Observa-se que os valores encontrados na análise química do resíduo da madeira de candeia são, em sua maioria, superiores após a extração do óleo da madeira, exceção à porcentagem de extrativos em água quente e ao teor de holocelulose. Esse fato foi influenciado, possivelmente, pela inclusão de cascas na amostra, pela forma de amostragem do material, além da possibilidade de ter ocorrido hidrólise de algumas hemiceluloses, mediante pressão e temperatura exercidas no processo de retirado do óleo.

4.3 Resultados da análise de aptidão das espécies com o cimento na manufatura dos painéis cimento-madeira

Na tabela 10 são apresentados os resultados da análise de aptidão das espécies dentro dos tratamentos.

TABELA 10 – Classificação do índice de inibição dos materiais lignocelulósicos, após teste de aptidão com o cimento.

Tratamentos	T max.(°C)	Tempo (h)	S max.(°C/h)	I calc (%)	Classificação do I
T1 (25% eucalipto + 75% candeia)	63,2	14,8	7,8	3,01	Baixa
T2 (50% eucalipto + 50% candeia)	61,6	15,23	7,6	2,4	Baixa
T3 (75% eucalipto + 25% candeia)	78,6	9,56	17,2	0,31	Baixa
T4 (25% pinus + 75% candeia)	63,4	14,31	11,5	1,14	Baixa
T5 (50% pinus + 50% candeia)	54,3	18,24	4,9	2,5	Baixa
T6 (75% pinus + 25% candeia)	73,6	10,5	13,5	0,2	Baixa
T7 (100% candeia)	26,1	26,1	0,6	47,8	Moderada
T8 (100% pinus)	48,2	9,06	1,9	2,1	Baixa
T9 (100% eucalipto)	42,4	10,43	2,9	2,6	Baixa

Em que:

T = temperatura máxima atingida pela mistura cimento-madeira-água;

Tempo (h) = tempo para alcançar a temperatura máxima de hidratação da mistura cimento-madeira-água;

S = variação máxima da temperatura, por hora, para a mistura cimento-madeira-água;

I = índice de inibição.

Verifica-se que, para os tratamentos (T1, T3, T4 e T6), na medida em que aumentou a proporção de eucalipto e pinus associada à candeia, o índice de inibição foi reduzido. Para 75% de eucalipto associado a 25% de candeia, o I foi igual a 0,31% (T3); para o pinus associado na mesma proporção, o I foi igual a 0,2% (T6).

Os índices observados são considerados excelentes, pois, para essas condições, maiores temperaturas foram alcançadas em um menor intervalo de tempo, o que indica compatibilidade e ou aptidão das espécies com o cimento, sob condições de tratamento prévio das partículas em água fria. As maiores temperaturas atingidas para os menores valores de I foram 78,6°C e 73,6°C, para as associações eucalipto e pinus à candeia, respectivamente. Latorraca (2000) encontrou, para os menores valores de I, resultados do efeito de quatro espécies de eucalipto sobre a temperatura, valores iguais a 78,41°C e 79,86°C.

Os tratamentos T7, T8 e T9 mostraram os resultados dos testes de aptidão das três madeiras utilizadas na produção dos painéis na ausência de tratamento das partículas. O índice de inibição observado para o tratamento 7 (47,8%), madeira de candeia, evidencia a relação existente entre a compatibilidade e ou a aptidão da espécie e suas propriedades químicas, especialmente os teores de extrativos. Como a candeia foi a espécie que apresentou maior teor de extrativo, era esperado que essa espécie apresentasse o pior resultado de aptidão, comparada às outras duas espécies utilizadas na confecção dos painéis.

4.4 Resultados das propriedades físicas e mecânicas dos painéis

4.4.1 Painéis cimento-madeira

4.4.1.1 Densidade dos painéis

Valores da análise de variância para a densidade dos painéis são apresentados na Tabela 1A, no Anexo. Os resultados mostram um efeito significativo da interação entre os fatores: tipo de madeira x porcentagem de substituição, indicando um comportamento diferenciado para os valores da densidade dos painéis nos diferentes tipos de madeira, para cada porcentagem de substituição.

Na Tabela 11 são apresentados os valores médios para a densidade dos painéis.

TABELA 11 – Valores médios em g/cm^3 (erro padrão da média) da densidade dos painéis, em função dos tipos de madeira e porcentagem de substituição por candeia.

Tipos de madeira	Porcentagem de madeira ¹		
	25%	50%	75%
Eucalipto	1,60 (0,05) a	1,50 (0,05) a	1,48 (0,05) a
Pinus	1,45 (0,05) b	1,45 (0,05) a	1,58 (0,05) a

1 - médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si, pelo teste t de Student, a 5% de significância.

Os resultados mostram que os painéis confeccionados com 25% de eucalipto associado à candeia apresentaram valor médio para densidade significativamente superior, comparados aos painéis confeccionados com pinus associado à candeia na mesma proporção. Isso se deve, provavelmente, à maior densidade do eucalipto. Para as porcentagens superiores utilizadas, não houve diferença estatística entre eucalipto e pinus quanto a essa propriedade.

Silva, (2002), estudando o efeito dos aditivos minerais sobre as propriedades físicas e mecânicas dos painéis, encontraram valores médios, para

densidade nos painéis cimento-madeira, entre $1,35 \text{ g/cm}^3$ a $1,41 \text{ g/cm}^3$. A densidade adotada nesta pesquisa, a partir do plano experimental para os painéis cimento-madeira, foi de $1,25 \text{ g/cm}^3$. Nota-se que, para todos os tratamentos, as densidades médias observadas foram superiores àquelas estimadas. Diferenças entre as densidades estimadas e as observadas em painéis foram verificadas em outros trabalhos, porém, com resultados subestimados, como os encontrados por Okino et al. (2003) que estimaram um valor médio de $1,4 \text{ g/cm}^3$ para painéis minerais e encontraram densidade variando entre $1,19 \text{ g/cm}^3$ e $1,24 \text{ g/cm}^3$.

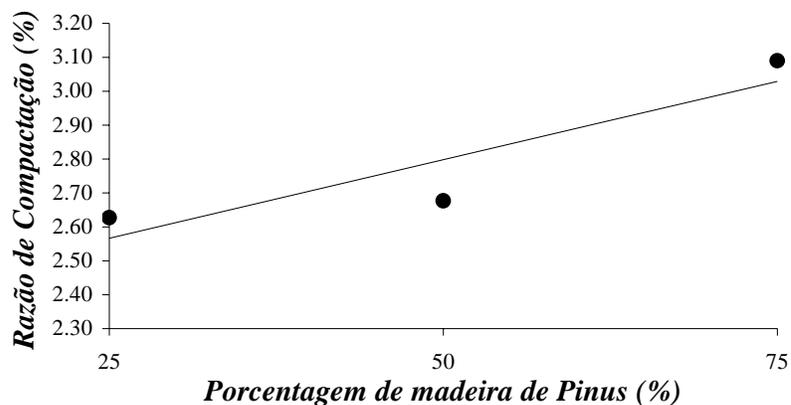
As maiores densidades da madeira para as proporções utilizadas foram encontradas para a associação eucalipto e candeia, quando comparadas às associações com pinus.

4.4.1.2 Razão de compactação dos painéis cimento-madeira

Os resultados obtidos através da análise de variância (Tabela 2A) do anexo mostram que houve um efeito significativo da interação entre os fatores estudados, tipo de madeira e porcentagem de substituição, indicando um comportamento diferenciado da razão de compactação para os dois tipos de madeira, nas diferentes porcentagens de substituição.

Os resultados apresentados na Tabela 3A (Anexo) indicam, após a análise de desdobramento, que houve efeito das porcentagens de substituição sobre a razão de compactação, quando foi utilizada a associação de pinus à candeia, na confecção dos painéis.

Por meio da Figura 10, pode-se observar que existe uma relação linear crescente entre a razão de compactação medida e as porcentagens de pinus utilizadas em associação à candeia.



● Pinus obs

— Pinus est- $y=2,33+0,0093x$ $R^2 = 0,8299$

FIGURA 10 – Valores médios da razão de compactação em função das porcentagens de pinus associado à candeia.

Na Tabela 12 são apresentados os valores médios da razão de compactação, mostrando que os painéis confeccionados com 75% de eucalipto associado à candeia apresentam menor razão de compactação quando comparados aos painéis confeccionados com pinus associado à candeia na mesma proporção. Para as outras porcentagens utilizadas, não houve diferença estatística entre eucalipto e pinus, quanto à razão de compactação dos painéis.

TABELA 12 – Valores médios (erro padrão da média) da razão de compactação, em função dos tipos de madeira e da porcentagem de substituição por candeia.

Tipos de madeira	Porcentagem de madeira ¹		
	25%	50%	75%
Eucalipto	2,85 (0,09) a	2,72 (0,09) a	2,79 (0,09) b
Pinus	2,63 (0,09) a	2,68 (0,09) a	3,09 (0,09) a

¹ - médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si, pelo teste t de Student, a 5% de significância.

Os resultados encontrados neste estudo mostram que houve uma relação entre as densidades das madeiras associadas à candeia e à razão de compactação dos painéis cimento-madeira. Esse fato foi observado quando houve o aumento na proporção de eucalipto, que possui densidade da madeira superior ao pinus associado à candeia de 25% para 75%. Sob essa condição, foi observada redução no valor da razão de compactação dos painéis. Relação oposta foi observada nos tratamentos em que foi utilizada a associação pinus à candeia. Como era esperado, as maiores médias para essa propriedade foram observadas em painéis produzidos com maiores proporções de madeira com densidade inferior, pois a razão de compactação é inversamente proporcional à densidade da madeira utilizada na confecção de painéis.

4.4.1.3 Absorção de água após 2h e 24h de imersão

Os resultados experimentais (Tabela 4A) mostrados no Anexo para o estudo da absorção de água pelos painéis, após 2 e 24 horas de imersão, indicam que houve efeito significativo da interação entre os fatores estudados, tipo de madeira x porcentagem de substituição (M x S), indicando um comportamento diferenciado da absorção de água em 2 e 24 horas, nos diferentes tipos de madeira para cada porcentagem de substituição.

Os resultados da análise de desdobramento para os níveis de substituição e para o tipo de madeira são apresentados na Tabela 5A e indicam que a diferença para a absorção de água ocorreu quando foi utilizada a associação de pinus à candeia na manufatura dos painéis para a absorção de água em 2 e 24 horas.

Por meio da Figura 11, se observa que existe relação quadrática entre a absorção de água medida em 2 e 24 horas e a porcentagem de pinus utilizada em associação à candeia. Houve redução na absorção de água, tanto em 2 quanto em 24 horas, com o aumento da porcentagem de pinus associado à candeia. O

máximo de absorção de água atingido para, aproximadamente, 29% e 36% de pinus, para 2 e 24 horas, respectivamente.

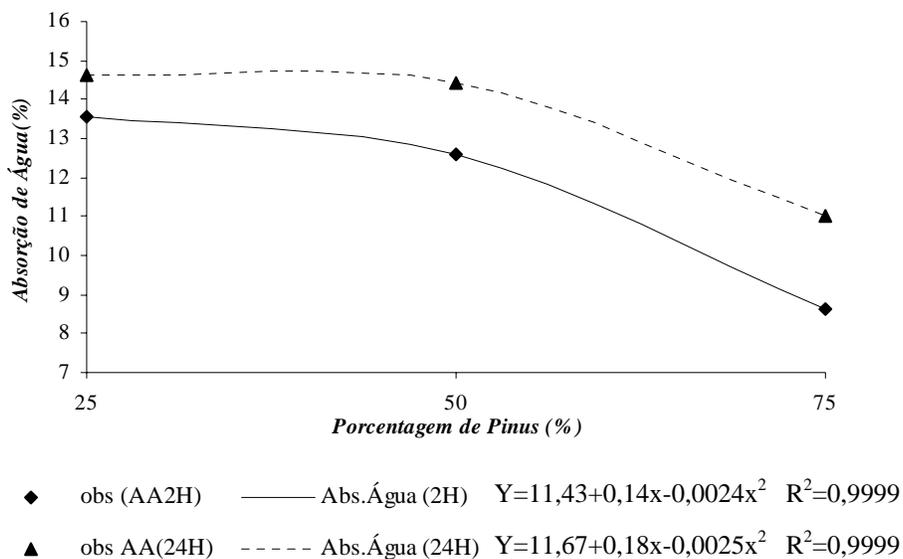


FIGURA 11 – Valores médios de absorção de água, após 2 e 24 horas de imersão, em função das porcentagens de pinus associado à candeia.

Os resultados nas Tabelas 13 e 14 mostram que, para todas as porcentagens de madeira estudadas, a absorção de água, em 2 e em 24 horas, foi superior para os tratamentos com pinus. A exceção foi para os tratamentos nos quais foi utilizada a associação de 75% de eucalipto, que superou, nesta mesma porcentagem, os painéis com pinus associado, após 24 horas de imersão em água.

TABELA 13 – Valores médios em porcentagem (erro padrão da média) para absorção de água após 2 horas (A.A.2h) de imersão, em função dos tipos de madeira e da porcentagem de substituição por candeia.

Tipos de madeira	Porcentagem de substituição ¹		
	25%	50%	75%
Eucalipto	9,18 (0,38) b	9,36 (0,38) b	9,63 (0,38) b
Pinus	13,54 (0,38) a	12,60 (0,38) a	9,83 (0,38) a

1- médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si, pelo teste t de Student, a 5% de significância.

TABELA 14 – Valores médios em porcentagem (erro padrão da média) para absorção de água após 24 horas (A.A.24h) de imersão, em função dos tipos de madeira e da porcentagem de substituição por candeia.

Tipos de madeira	Porcentagem de madeira ¹		
	25%	50%	75%
Eucalipto	11,29 (0,29) b	11,83 (0,29) b	12,07 (0,29) a
Pinus	14,63 (0,29) a	14,41 (0,29) a	11,02 (0,29) b

1- médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si, pelo teste t de Student, a 5% de significância.

A estrutura formada pela matriz do compósito pinus associado à candeia resultou em maior absorção de água nos dois intervalos de tempo (2h e 24h), nas proporções 25% e 50%, devido às suas características (permeabilidade e superfície específica) associadas à menor cobertura pela matriz do cimento, promovendo, assim, maior absorção de água. A menor cobertura pela matriz é sugerida em função da menor densidade proporcional encontrada para madeira de pinus em relação à densidade proporcional da madeira de eucalipto observada neste estudo, nas diferentes proporções.

Assim como a variação dimensional em espessura, a propriedade de absorção de água revela o comportamento do painel em contato com a umidade e também seria um parâmetro útil na avaliação final da composição de produtos com possíveis exposições à umidade.

Absorção de água em 2 e em 24 horas, observadas neste trabalho, é considerada baixa, especialmente quando comparada com os resultados apresentados na literatura e encontrados para outros tipos de painéis, como, por exemplo, o aglomerado convencional.

Latorraca (2000), estudando a influência de quatro espécies de eucalipto sobre as propriedades físicas dos compósitos cimento-madeira, encontrou valores médios, para absorção de água, após 2 horas de imersão, entre 12,90% e 18,74%, respectivamente. Para a absorção de água após 24 horas de imersão, o autor encontrou valores médios percentuais entre 15,69% e 22,22%. Souza (1994), utilizando partículas de eucalipto, encontrou valor médio de 38% para a absorção de água em 24 horas.

4.4.1.4 Inchamento em espessura em 2 e 24 horas

A análise de variância para o inchamento em espessura dos painéis, após 2 e 24 horas de imersão em água (Tabela 6A, do Anexo) indica que não houve efeito significativo das fontes de variações tipo de madeira (M) e porcentagem de substituição (S). Nas Tabelas 15 e 16 são apresentados os valores médios de inchamento em espessura, em 2 e em 24 horas, respectivamente.

TABELA 15 – Valores médios em porcentagem (erro padrão da média) de inchamento, após 2 horas (Incham.2h) de imersão, em função dos tipos de madeira e porcentagem de substituição por candeia.

Tipos de madeira	Porcentagem de madeira			Médias (%)
	25%	50%	75%	
Eucalipto	0,30 (0,23)	0,82 (0,23)	0,31 (0,23)	0,47 (0,13)
Pinus	0,34 (0,23)	0,75 (0,23)	0,10 (0,23)	0,39 (0,13)
Médias	0,32 (0,16)	0,79 (0,16)	0,21 (0,16)	

TABELA 16 – Valores médios em porcentagem (erro padrão da média) de inchamento, após 24 horas (Incham.24h) de imersão, em função dos tipos de madeira e porcentagem de substituição por candeia.

Tipos de madeira	Porcentagem de madeira			Médias (%)
	25%	50%	75%	
Eucalipto	0,36 (0,28)	0,78 (0,28)	0,51 (0,28)	0,55 (0,16)
Pinus	0,26 (0,28)	0,46 (0,28)	0,28 (0,28)	0,33 (0,16)
Médias	0,31 (0,20)	0,62 (0,20)	0,39 (0,20)	

Apesar de não apresentarem significância, as médias encontradas neste estudo, para inchamento em espessura, tanto em 2 horas quanto em 24 horas, em todas as porcentagens de associação estudadas, são inferiores às encontradas na literatura, como também às médias máximas exigidas pelo processo Bison Wood (1978), que é de 0,80% e, entre 1,2%-1,8%, respectivamente, para inchamento em espessura, após 2 e 24 horas de imersão em água.

Latorraca (2000) encontrou, para quatro espécies de eucalipto utilizadas na confecção de painéis cimento-madeira, valores médios para inchamento em espessura, após 2 e 24 horas de imersão, entre 1,28%-1,75% e 1,64% e 2,12%, respectivamente. Semple et al. (2002), estudando painéis produzidos com resíduo de eucalipto verificaram, para os painéis confeccionados sem inclusão de casca, valor médio de 4,4% para inchamento em espessura, após 24 horas de imersão.

4.4.1.5 Compressão paralela à superfície do painel

A análise de variância para o teste de compressão paralela à superfície do painel (Tabela 7A) indica que houve efeito significativo do tipo de madeira estudada sobre esta variável. Não houve efeito da interação e também das porcentagens de substituição por candeia.

Na Tabela 17, os resultados apresentados indicam que a resistência à compressão paralela dos painéis confeccionados associando-se eucalipto à

candeia foi superior, estatisticamente, àquela em que foi associado pinus à candeia, independente da porcentagem de substituição utilizada.

TABELA 17 – Valores médios, em kgf/cm² (erro padrão da média), da variável força, em função dos tipos de madeira e da porcentagem de substituição por candeia.

Tipos de madeira	Porcentagem de substituição			Médias (kgf/cm ²)
	25%	50%	75%	
Eucalipto	97,67 (10,47)	62,00 (10,67)	59,00 (10,67)	72,89 (6,05) a
Pinus	30,67 (10,47)	43,00 (10,67)	31,33 (10,67)	35,00 (6,05) b
Médias	64,17 (7,41)	52,50 (7,41)	45,17 (7,41)	

Latorraca (2000), estudando o efeito de quatro espécies de eucalipto na resistência à compressão paralela, observou valor médio de 66,86 kgf/cm². Beraldo et al. (2002) encontraram, para painéis produzidos com madeira da base de toras de *Eucalyptus grandis*, valor médio de 73,93 kgf/cm².

Houve uma redução significativa no valor de compressão paralela na associação pinus à candeia, estando abaixo da média encontrada na literatura para essa propriedade. Existem algumas possíveis razões para a perda de resistência à compressão em compósitos cimento-madeira, geralmente ligadas à absorção de água pelas fibras e partículas e posterior liberação na argamassa.

Conforme relatado por Savastano Júnior et al. (1994), a água, após contato com as fibras ou as partículas de madeira, é liberada na matriz de cimento juntamente com extrativos, dentre eles fenóis, taninos e açúcares, que contribuem sobremaneira para o retardo na reação de pega e endurecimento da matriz.

Esta mesma água, ao ser liberada de volta à matriz, é envolvida por uma película de água (efeito parede), aumentando a porosidade da zona de transição, o que favorece o acúmulo de cálcio nesta mesma zona, tornando-a mais frágil e suscetível a fissuras.

Define-se zona ou auréola de transição como a região da pasta de aglomerante próxima à fibra, com espessura de 10 mm a 100 mm e que apresenta características diferenciadas do restante da matriz (Savastano Júnior et al., 1994).

Esse efeito pode ter colaborado para a ocorrência do menor valor médio encontrado para a propriedade estudada na associação pinus à candeia, durante esse estudo.

4.4.1.6 Flexão estática (MOE e MOR)

Na Tabela 8A, do Anexo, são apresentados os resultados experimentais do teste de flexão estática. Houve efeito significativo do tipo de madeira utilizada sobre o módulo de elasticidade, não sendo este efeito significativo para o módulo de ruptura. Houve efeito significativo das porcentagens de substituição por candeia sobre o módulo de ruptura, não sendo este efeito significativo para o módulo de elasticidade.

Os resultados apresentados para a análise de desdobramento na Tabela 9A, do Anexo, indicam, portanto, que houve efeito das porcentagens de substituição sobre o módulo de elasticidade e módulo de ruptura, para ambas as madeiras.

Na Figura 12, pode-se observar, para o teste de flexão, quando foi estudada a variável MOE, que existe relação linear entre o módulo de elasticidade e as porcentagens de madeira utilizadas em associação à candeia. Para o eucalipto associado à candeia, verifica-se uma redução de, aproximadamente, 2.873 kgf/cm^3 em módulo de elasticidade a cada 10% de aumento desta madeira, na associação com candeia. Para o pinus, comportamento inverso foi observado; para cada aumento de 10% na associação desta madeira à candeia, verificou-se um aumento de 3.800 kgf/cm^3 , em módulo de elasticidade.

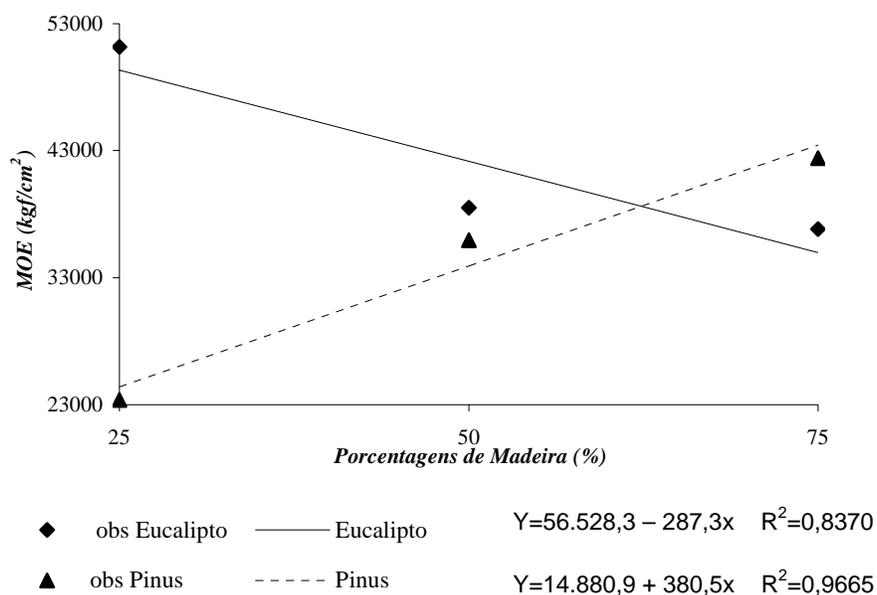


FIGURA 12 – Valores médios de MOE, em função das porcentagens de associação de eucalipto e pinus à candeia.

Os resultados na Tabela 18 demonstram que os painéis confeccionados com 25% de eucalipto associado à candeia apresentaram valor médio superior de MOE ,quando comparados àqueles produzidos com pinus associado à candeia, nesta mesma porcentagem. Para as demais porcentagens de madeira estudadas, os módulos de elasticidade não diferiram entre si.

TABELA 18 – Valores médios, em kgf/cm² (erro padrão da média), de MOE, em função dos tipos de madeira e porcentagens de substituição por candeia.

Tipos de madeira	Porcentagem de madeira ¹		
	25%	50%	75%
Eucalipto	51.176 (3.742) a	38.503 (3.742) a	36.811 (3.742) a
Pinus	23.372 (3.742) b	35.953 (3.742) a	42.400 (3.742) a

1- médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si, pelo teste t de Student, a 5% de significância.

Souza (1994) obteve média de 34.670 kgf/cm² em painéis produzidos com partículas de *Populus* sp. e *Larix laricina*. Lee (1984) encontrou valor médio de 15.784 kgf/cm², trabalhando com uma espécie de pinus do sul dos EUA. Olorunnisola & Adefisan (2002) obtiveram valores variando de 4.800 kgf/cm² a 35.630 kgf/cm², trabalhando com painéis produzidos com partículas de cana e cimento Portland tipo I. Painéis cimento-madeira comerciais produzidos no processo Bison Wood(1978) pela indústria internacional apresentam valores de MOE em torno de 30.000 kgf/cm².

Menores valores para MOE encontrados nos tratamentos em que foi utilizado pinus associado à candeia podem ser atribuídos à mesma proporção de cimento utilizada em todos os tratamentos. O fato de a madeira de pinus apresentar uma densidade menor do que a madeira de eucalipto gerou um maior volume de partículas da mesma, para as mesmas proporções utilizadas nos tratamentos com eucalipto. Possivelmente, esse fato fez com que a matriz do cimento recobrisse uma menor área específica de partículas, na medida em que aumentou a proporção de pinus associado à candeia, o que ocasionou uma ligação frágil entre este material e a matriz do cimento.

Na Figura 13, observa-se, para o módulo de ruptura (MOR), que existe relação linear entre o módulo de ruptura e a porcentagem de pinus associado à candeia e uma relação quadrática entre o módulo de ruptura e a porcentagem de eucalipto para a mesma associação. Quando o eucalipto foi associado à candeia,

verificou-se uma redução no módulo de ruptura de, aproximadamente, 57,5%, quando essa associação passou de 25% para 50%, passando, então, a um aumento nesta variável até 75% de associação à candeia, porém, sem superar o valor para módulo de ruptura quando a associação é de 25% de eucalipto à candeia. Para o pinus associado à candeia é verificado um aumento linear e constante de, aproximadamente, 12,4% em módulo de ruptura a cada 10% de aumento desta madeira na associação com candeia.

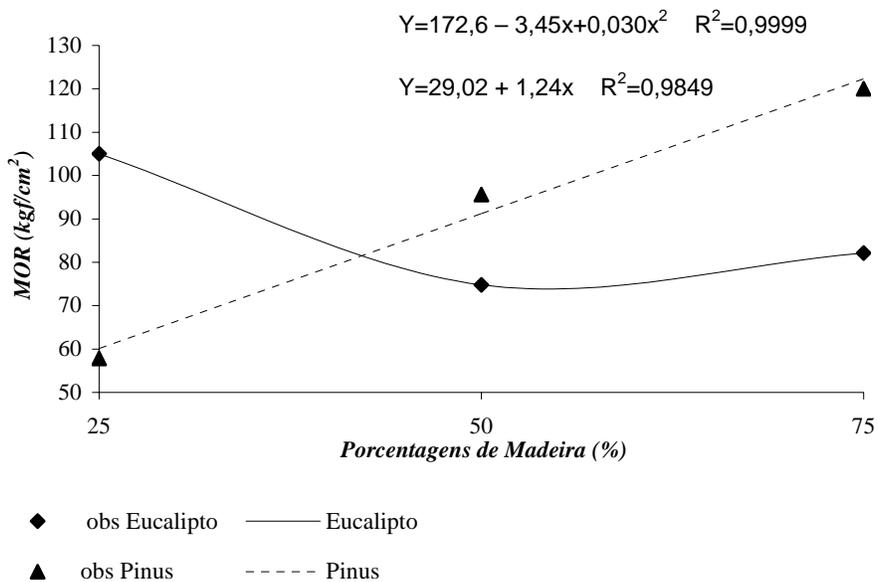


FIGURA 13 – Valores médios de MOR, em função das porcentagens de associação de eucalipto e pinus à candeia.

Os resultados do teste de flexão para a variável módulo de ruptura (MOR) são mostrados na Tabela 19.

TABELA 19 – Valores médios, em kgf/cm² (erro padrão da média), de módulo de ruptura, em função dos tipos de madeira e porcentagens de substituição por candeia.

Tipos de madeira	Porcentagem de madeira ¹			Médias (kgf/cm ²)
	25%	50%	75%	
Eucalipto	104,99 (6,49) a	74,82 (6,49) b	82,09 (6,49) b	87,30 (3,74)
Pinus	57,88 (6,49) b	95,64 (6,49) a	120,05 (6,49) a	91,19 (3,74)
Médias	81,44 (4,59)	85,23 (4,59)	101,07 (4,59)	

1- médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si, pelo teste t de Student, a 5% de significância.

Observa-se que os painéis produzidos com 25% de eucalipto associado à candeia apresentaram valor superior para MOR quando comparados àqueles produzidos com pinus associados à candeia nesta mesma porcentagem. Para as demais porcentagens de madeira estudadas (50% e 75%), comportamento inverso foi observado, ou seja, o MOR foi significativamente superior para os painéis produzidos com pinus associado à candeia.

Observa-se que o maior valor médio encontrado para MOR foi para a associação pinus à candeia, 120,05 kgf/cm². Esse valor é superior a alguns encontrados na literatura e ao valor mínimo exigido pelo processo Bison Wood (1978), que é de 91 kgf/cm².

Valores de MOR encontrados na literatura variam de 39,9 kgf/cm² para espécies de pinus dos EUA (Lee, 1984) e de 36,0 kgf/cm² a 69,6 kgf/cm², como os valores obtidos por Latorraca (2000) trabalhando com diferentes granulometrias de partículas de madeira e diferentes espécies de eucalipto. Okino et al. (2003), trabalhando com associação de *Eucalyptus grandis* a dois clones de *Hevea brasiliensis* na produção de painéis cimento-madeira com densidade de 1,4g/cm³, obtiveram, para MOR, valor médio de 65,26 kgf/cm².

Painéis cimento-madeira produzidos comercialmente apresentam valores de MOR em torno de 110 kgf/cm² (Viroc, 2007).

O MOR encontrado para associação eucalipto e candeia, nas porcentagens 50% e 75%, apesar de estar abaixo das exigências do processo Bison Wood (1978), ainda é superior a resultados encontrados na literatura. O fato de a menor capacidade de suportar cargas ter sido alcançada nesses tratamentos (50% e 75% de eucalipto associado), possivelmente, deve-se à influência do maior teor de extrativos na madeira de eucalipto quando comparada à de pinus, o que pode ter gerado um efeito sobre as propriedades dos painéis refletido na ocorrência de embolamentos, levando a resultados inferiores para o MOR em flexão estática sob essas proporções de associação à candeia. No entanto, outros fatores devem ser considerados, relacionando-os aos efeitos das porcentagens de madeira utilizadas, como o grau de compactação do compósito.

4.4.1.7 Teste de ligação interna

Na Tabela 10A são mostrados os resultados da análise de variância do teste de ligação interna. Os resultados indicam que não houve efeito significativo das fontes de variações para a resistência à ligação interna dos painéis.

Os valores médios de ligação interna são mostrados na Tabela 20.

TABELA 20 – Valores médios, em kgf/cm² (erro padrão da média), da variável tensão no teste de ligação interna, analisada em função dos tipos de madeira e das porcentagens de substituição por candeia.

Tipos de madeira	Porcentagem de substituição			Médias (kgf/cm ²)
	25%	50%	75%	
Eucalipto	6,39 (0,38)	5,96 (0,38)	5,99 (0,38)	6,11 (0,22)
Pinus	6,06 (0,38)	6,85 (0,38)	5,48 (0,38)	6,13 (0,22)
Médias	6,22 (0,27)	6,41 (0,27)	5,74 (0,27)	

Os valores médios para ligação interna encontrados no presente trabalho, para as associações eucalipto e pinus à candeia, são superiores à exigência mínima requerida pelo processo Bison Wood (1978), que é de 4,0 kgf/cm².

Latorraca (2000), trabalhando *Eucalyptus urophylla*, encontrou valor médio para ligação interna de 6,76 kgf/cm², considerando um excelente resultado em relação a outras médias encontradas na literatura. Painéis cimento-madeira comerciais, com densidade média de 1,35 g/cm³, apresentaram valor para ligação interna de 5,00 kgf/cm² (Viroc, 2007).

4.4.2 Painéis aglomerado convencional

4.4.2.1 Densidade dos painéis

A análise de variância (Tabela 11A) indicou que a densidade dos painéis não foi afetada pelos tratamentos (teor de adesivo, porcentagem de substituição e tipo de madeira), a 5% de probabilidade, pelo Teste F.

Os valores médios para a densidade dos painéis, para os diferentes tipos de madeira, teores de adesivo e porcentagem de substituição, estão apresentados na Tabela 21.

TABELA 21 – Valores médios (erro padrão da média) dos valores de densidade dos painéis (g/cm^3), em função dos teores de adesivo, tipos de madeira e porcentagem de substituição por candeia.

Tipo de madeira	Porcentagem de madeira	Teor de adesivo		Médias g/cm^3
		8%	12%	
Eucalipto	25%	0,55 (0,02)	0,61 (0,02)	0,58 (0,016)
	50%	0,63 (0,02)	0,61 (0,02)	0,62 (0,016)
	75%	0,62 (0,02)	0,61 (0,02)	0,62 (0,016)
	Média eucalipto	0,60 (0,014)	0,61 (0,014)	0,61 (0,009)
Pinus	25%	0,64 (0,02)	0,61 (0,02)	0,63 (0,016)
	50%	0,59 (0,02)	0,61 (0,02)	0,60 (0,016)
	75%	0,63 (0,02)	0,61 (0,02)	0,62 (0,016)
	Média pinus	0,62 (0,014)	0,61 (0,014)	0,62 (0,009)
Médias		0,61 (0,009)	0,61 (0,009)	

Observa-se, pelos dados da Tabela 21, que os valores médios das densidades dos painéis, em todos os tratamentos, estão abaixo do valor para a densidade nominal estabelecida no plano experimental. Foi estabelecido um valor para densidade final dos painéis igual a $0,70 \text{ g/cm}^3$. Essa diferença pode ser atribuída, principalmente, à perda de partículas durante o manuseio, nas fases anteriores à consolidação do painel na prensa quente, em razão das condições laboratoriais de manufatura.

4.4.2.2 Razão de compactação dos painéis aglomerado convencional

A análise de variância (Tabela 12A) indica que houve um efeito significativo da porcentagem de substituição sob a razão de compactação nos painéis. A interação tripla entre os fatores teor de adesivo x tipo de madeira x porcentagem de substituição (R x M x S) significativa indica que houve comportamento diferenciado da razão de compactação.

Os resultados apresentados na análise de desdobramento podem ser observados na Tabela 13A e indicam que houve efeito das porcentagens de substituição sobre a razão de compactação, quando foi utilizado o teor de 8% de adesivo em painéis confeccionados tanto com eucalipto quanto pinus associado à candeia e também quando foi utilizado 12% de adesivo em painéis que associam pinus à candeia.

Por meio da Figura 14 pode-se observar que existe uma relação quadrática entre a razão de compactação medida e a porcentagem de pinus utilizado em associação à candeia, para um teor de adesivo de 8%. Houve uma redução no valor da razão de compactação quando a porcentagem de pinus associado à candeia passou de 25% para 50%, atingindo um mínimo em, aproximadamente, 42%, com posterior aumento. Para a associação de pinus com 12% de adesivo e eucalipto com 8% de adesivo, a razão de compactação apresenta um aumento constante dentro do intervalo estudado para as porcentagens de substituição por candeia.

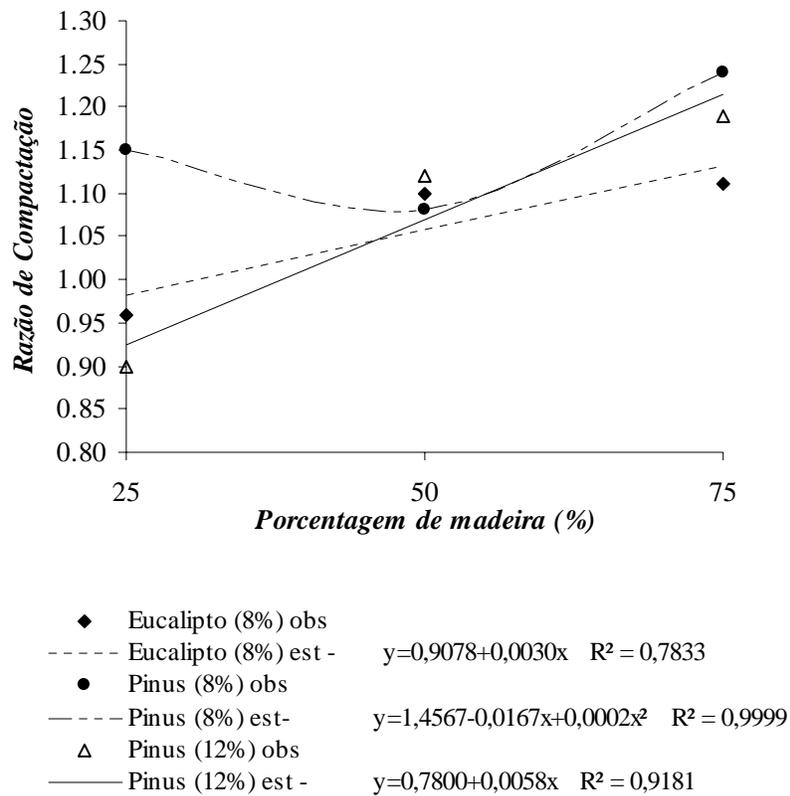


FIGURA 14 – Valores médios para a razão de compactação nos painéis aglomerado convencional, em função das porcentagens de eucalipto e pinus associados à candeia, utilizando-se 8% e 12% de teor de adesivo.

Os resultados médios apresentados na Tabela 22 mostram uma redução significativa na razão de compactação, de 8% para 12% de adesivo, quando o pinus foi utilizado em associação à candeia em uma porcentagem de 25%.

TABELA 22 – Valores médios (erro padrão da média) para a razão de compactação, em função dos teores de adesivo, tipos de madeira e porcentagem de substituição por candeia.

Tipo de madeira	Porcentagem de madeira	Teor de adesivo ¹	
		8%	12%
Eucalipto	25%	0,96 (0,04) a	1,07 (0,04) a
	50%	1,10 (0,04) a	1,07 (0,04) a
	75%	1,11 (0,04) a	1,08 (0,04) a
Pinus	25%	1,15 (0,04) a	0,90 (0,04) b
	50%	1,08 (0,04) a	1,12 (0,04) a
	75%	1,24 (0,04) a	1,19 (0,04) a

1- médias seguidas de mesma letra minúscula na linha não diferem entre si, pelo teste t de Student, a 5% de significância.

De acordo com Kelly (1997), as propriedades mecânicas dos painéis apresentam relação direta com a razão de compactação, mas as propriedades físicas exibem uma relação inversamente proporcional.

4.4.2.3 Absorção de água em 2h e 24h

A análise de variância (Tabela 14A) indica um efeito significativo da interação tripla entre os fatores estudados teor de adesivo x tipo de madeira x porcentagem de substituição (R x M x S) para a variável absorção de água em 2 e 24 horas.

Os resultados apresentados para a análise de desdobramento na Tabela 15A indicam que apenas houve efeito das porcentagens de substituição sobre a absorção de água em 2 horas quando foi utilizado 12% de adesivo em painéis confeccionados com a associação de eucalipto à candeia e 8% de adesivo em painéis em que foi associado pinus à candeia.

Por meio da Figura 15 pode-se observar que existe relação linear decrescente entre a absorção de água em duas horas e a porcentagem de

eucalipto e pinus associados à candeia com 12% e 8% de adesivo, respectivamente.

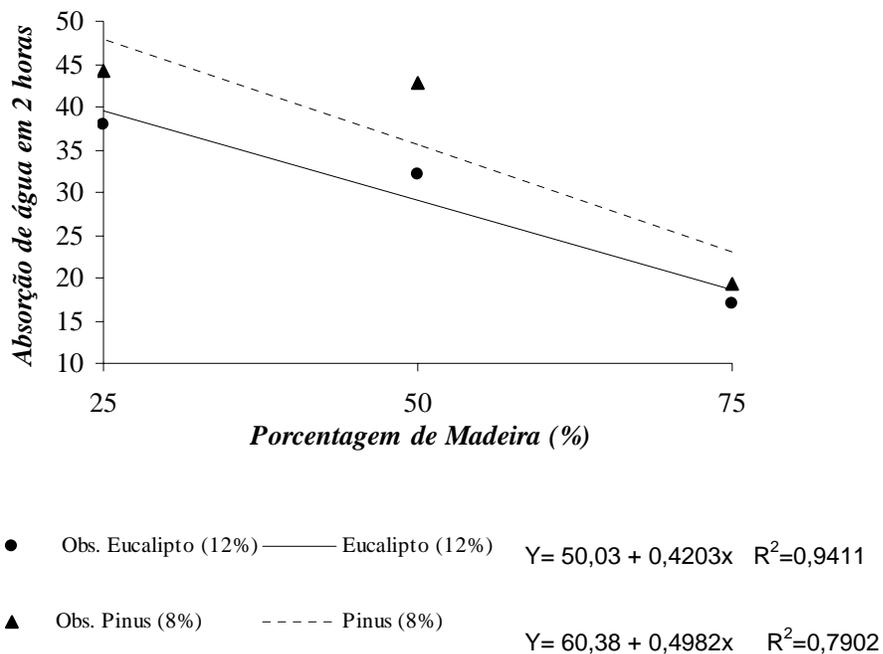


FIGURA 15 - Valores médios de absorção de água (%) após 2 horas de imersão, em função das porcentagens de madeiras associadas à candeia, utilizando 8% e 12 % de teor de adesivo.

Os resultados apresentados na Tabela 23 indicam que, para 75% de eucalipto associado à candeia, a absorção de água em 2 horas foi significativamente superior quando se utilizou 8% de adesivo na confecção de painéis. Comportamento semelhante foi observado para associação de pinus à candeia, nas porcentagens de 25% e 50% desta madeira. Para as demais porcentagens de associação de eucalipto e pinus à candeia não houve diferença significativa para esta propriedade nos painéis confeccionados com 8% e 12% de teor de adesivo.

TABELA 23 – Valores médios (erro padrão da média) para absorção de água após 2 horas (A.A.2h) de imersão, em função dos teores de adesivo, tipos de madeira e porcentagem de substituição por candeia.

Tipo de madeira	Porcentagem de madeira	Teor de adesivo ¹		Médias (%)
		8%	12%	
Eucalipto	25%	38,88 (5,90)a	38,00 (5,90)a	38,44 (4,17)
	50%	48,39 (5,90)a	32,05 (5,90)a	40,22 (4,17)
	75%	41,77 (5,90)a	16,99 (5,90)b	29,38 (4,17)
	Média eucalipto	43,01 (3,41)	29,01 (3,41)	36,01 (2,41)
Pinus	25%	44,22 (5,90)a	25,04 (5,90)b	34,63 (4,17)
	50%	42,88 (5,90)a	21,51 (5,90)b	32,19 (4,17)
	75%	19,31 (5,90)a	20,64 (5,90)a	19,98 (4,17)
	Média pinus	35,47 (3,41)	22,40 (3,41)	28,93 (2,41)
Médias		29,24 (2,41)	25,71 (2,41)	

1- médias seguidas de mesma letra minúscula na linha não diferem entre si, pelo teste t de Student, a 5% de significância.

Iwakiri et. al. (2002) estudaram paralelamente a influência de dois teores de adesivo uréia-formaldeído sobre as propriedades dos painéis (6% e 8%) e não encontraram diferenças significativas para a absorção de água pelos painéis. Já no presente trabalho, foi observada influência dos diferentes teores de adesivo na confecção dos painéis aglomerado convencional sobre a absorção de água, após duas horas de imersão. Os resultados mostraram que, com o aumento na porcentagem de adesivo de 8% para 12%, ocorreu redução da absorção de água pelos painéis, nos tratamentos com 75% de eucalipto associado e com 25% e 50% de pinus associado. A princípio, essas diferenças encontradas nos tratamentos com eucalipto podem estar relacionadas ao maior volume dessa madeira contido nos painéis em relação aos volumes estabelecidos para os outros tratamentos (25% e 50%), em função da menor densidade proporcional encontrada para madeira nessa associação (0,54 g/cm³), aumentando, assim, a área de contato superficial da madeira com a água. Nas proporções de 25% e 50% de eucalipto associado, a densidade média da madeira foi de 0,57 g/cm³.

Absorção de água após 24 horas de imersão

Os resultados apresentados para a análise de desdobramento na Tabela 16A indicam que não houve efeito significativo das porcentagens de substituição de madeira por candeia sobre a absorção de água em 24 horas.

Porém, os resultados dos valores médios na Tabela 24 indicam diferenças dos teores de adesivo e mostram que, para 75% de eucalipto associado à candeia, a absorção de água em 24 horas foi significativamente superior quando se utilizou 8% de adesivo na confecção de painéis. Comportamento semelhante a este foi observado quando pinus foi associado à candeia nas porcentagens de 25% e 50%. Para as demais porcentagens de substituição, tanto de pinus como de eucalipto, não houve diferença significativa para esta propriedade, nos dois teores de adesivo.

TABELA 24 – Valores médios (erro padrão da média) de absorção de água após 24 horas (A.A.24h) de imersão, em função dos teores de adesivo, tipos de madeira e porcentagem de substituição por candeia.

Tipo de madeira	Porcentagem de madeira	Teor de adesivo ¹		Médias (%)
		8%	12%	
Eucalipto	25%	48,85 (5,62)a	55,25 (5,62) a	52,05 (3,97)
	50%	54,70 (5,62)a	47,66 (5,62)a	51,18 (3,97)
	75%	55,23 (5,62)a	35,08 (5,62)b	45,15 (3,97)
	Média eucalipto	52,93 (3,24)	45,99 (3,24)	49,46 (2,29)
Pinus	25%	57,79 (5,62)a	40,69 (5,62)b	49,24 (3,97)
	50%	54,01 (5,62)a	36,66 (5,62)b	45,33 (3,97)
	75%	40,28 (5,62)a	40,68 (5,62)a	40,48 (3,97)
	Média pinus	50,69 (3,24)	39,44 (3,29)	45,02 (2,29)
Médias ¹		51,81 (2,29)	42,67 (2,29)	

1- médias seguidas de mesma letra minúscula na linha não diferem entre si, pelo teste t de Student, a 5% significância.

De modo geral, os painéis produzidos com 12% de adesivo apresentaram menor absorção de água em relação aos painéis com 8%, tanto

para 2h, quanto para 24h de imersão. A aplicação de maior quantidade de adesivo às partículas de madeira pode ter contribuído para melhor impermeabilização das superfícies das partículas e, conseqüentemente, para redução na absorção de água. Comportamento semelhante foi observado por Iwakiri et al. (2000), ao estudarem três tipos de espécies de eucalipto, misturadas e individualizadas, na forma de resíduo de processamento de serrarias e misturas proporcionais, com dois níveis de adesivo uréia-formaldeído (8% e 12%).

4.4.2.4 Inchamento em espessura após 2h e 24h de imersão

Inchamento em espessura após 2h

A análise de variância (Tabela 17A) indica efeito significativo da interação entre os fatores tipo de adesivo x tipo de madeira x porcentagem de substituição (R x M x S), para as variáveis inchamento em espessura em 2 e em 24 horas.

Os resultados da análise de desdobramento apresentados na Tabela 18A indicam que apenas houve efeito das porcentagens de substituição sobre o inchamento em espessura em 2 horas quando foi utilizado 8% de adesivo em painéis que associam tanto eucalipto quanto pinus à candeia.

Pela Figura 16, pode-se observar que existe relação linear crescente entre o inchamento em 2 horas e a porcentagem de eucalipto utilizada em associação à candeia, quando utilizado 8% de adesivo. Para a associação de pinus à candeia, comportamento inverso foi observado, ou seja, a relação entre o inchamento em 2 horas e a porcentagem utilizada na associação pinus à candeia é descrita por uma relação linear decrescente para esse teor de adesivo.

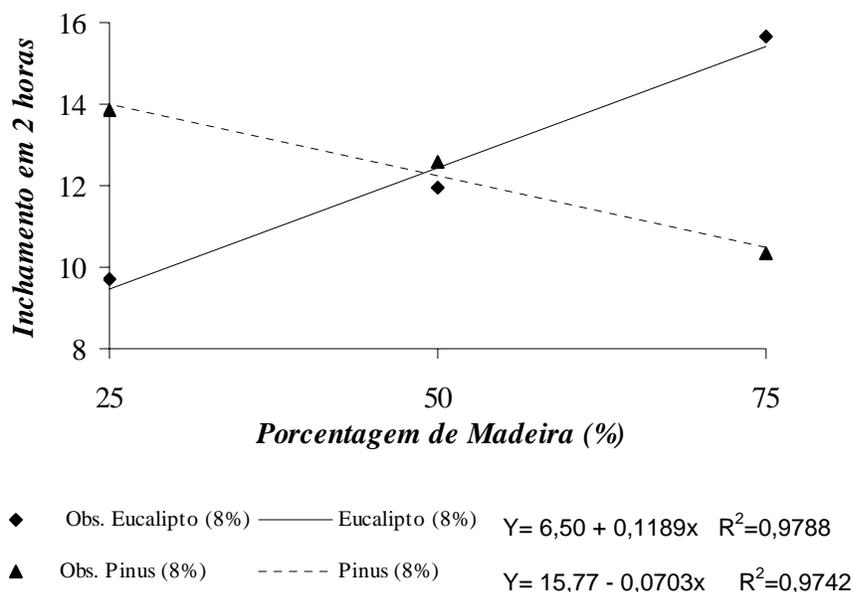


FIGURA 16 - Valores médios de inchamento em espessura (%) após 2 horas de imersão, em função das porcentagens de madeiras associadas à candeia, utilizando 8% de teor de adesivo.

Os resultados apresentados na Tabela 25 indicam que, para 75% de eucalipto associado à candeia, o inchamento em 2 horas foi significativamente superior quando foi utilizado 8% de adesivo na confecção dos painéis. Para as demais porcentagens de associação desta mesma madeira à candeia, não houve diferença significativa no inchamento em 2 horas, quando a porcentagem de adesivo passou de 8% para 12%. Para as porcentagens 25% e 50% de pinus associado à candeia, o inchamento em espessura em 2 horas também foi significativamente superior, quando utilizado 8% de teor de adesivo. Para 75% desta mesma madeira associada à candeia, não houve diferença significativa no inchamento em 2 horas quando a porcentagem de adesivo utilizada passou de 8% para 12%.

TABELA 25 – Valores médios (erro padrão da média) para inchamento em espessura após 2 horas (Incham.2h) de imersão, em função dos teores de adesivo, tipos de madeira e porcentagem de substituição por candeia.

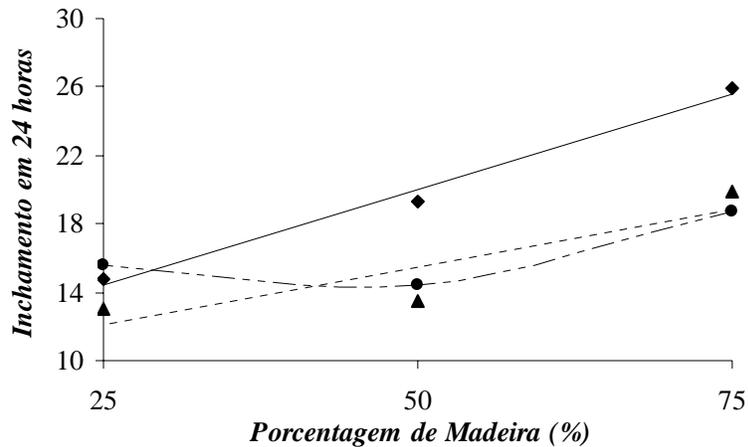
Tipo de madeira	Porcentagens de madeira	Teor de adesivo ¹		Médias (%)
		8%	12%	
Eucalipto	25%	9,73 (0,96) a	9,87 (0,96) a	9,80 (0,68)
	50%	11,95 (0,96) a	10,62 (0,96) a	11,28 (0,68)
	75%	15,67 (0,96) a	8,15 (0,96) b	11,91 (0,68)
	Média eucalipto	12,45 (0,55)	9,55 (0,55)	10,99 (0,39)
Pinus	25%	13,85 (0,96) a	8,06 (0,96) b	10,95 (0,68)
	50%	12,59 (0,96) a	7,69 (0,96) b	10,14 (0,68)
	75%	10,33 (0,96) a	9,78 (0,96) a	10,06 (0,68)
	Média pinus (%)	12,26 (0,55)	8,51 (0,55)	10,38 (0,39)
Médias		12,35 (0,39)	9,03 (0,39)	

1-médias seguidas de mesma letra minúscula na linha não diferem entre si, pelo teste t de Student, a 5% de significância.

Inchamento em espessura após 24 horas de imersão

Os resultados dos níveis de desdobramento apresentados na Tabela 19A indicam que houve efeito das porcentagens de substituição sobre o inchamento em 24 horas, quando foi utilizado 8% de adesivo em painéis em que houve associação de eucalipto à candeia e para 12% de adesivo naqueles que associam tanto eucalipto como pinus à candeia.

Por meio da Figura 17 pode-se observar relação linear crescente entre o inchamento em espessura em 24 horas e a porcentagem de associação, tanto de eucalipto quanto de pinus à candeia com 8% e 12% de adesivo, respectivamente. A relação entre o inchamento em 24 horas e a porcentagem de associação de eucalipto à candeia, quando foi utilizado 12% de adesivo, é descrita por uma equação quadrática em que o mínimo de inchamento em espessura em 24 horas foi conseguido com, aproximadamente, 43% de associação do eucalipto ao resíduo da madeira de candeia.



- ◆ Obs. Eucalipto (8%) ——— Eucalipto (8%) $Y = 8,85 + 0,2227x$ $R^2=0,9902$
- Obs. Eucalipto (12%) — — — Eucalipto (12%) $Y = 21,98 - 0,37x + 0,0043x^2$ $R^2=0,9999$
- ▲ Obs. Pinus (12%) - - - - - Pinus (12%) $Y = 8.68 + 0.1356x$ $R^2=0.7902$

FIGURA 17 - Valores médios de inchamento em espessura (%) em 24 horas, em função das porcentagens de madeiras associadas à candeia, utilizando 8% e 12% de teor de adesivo.

Os resultados dos valores médios apresentados na Tabela 26 indicam que, para 50% e 75% de eucalipto associado à candeia, o inchamento em espessura em 24 horas foi significativamente superior, quando se utilizou 8% de adesivo na confecção dos painéis. Comportamento semelhante a este foi observado quando pinus foi associado à candeia nas porcentagens de 25% e 50% de substituição. Para 25% de eucalipto associado à candeia, bem como para 75% de pinus, para esta mesma associação não houve diferença significativa para a propriedade avaliada, para os dois teores de adesivo estudados.

TABELA 26 – Valores médios (erro padrão da média) para inchamento em espessura após 24 horas (Incham.24H) de imersão, em função dos teores de adesivo, tipos de madeira e porcentagens de substituição por candeia.

Tipo de madeira	Porcentagem de madeira	Teor de adesivo ¹		Médias (%)
		8%	12%	
Eucalipto	25%	14,74 (0,80)a	15,53 (0,80)a	15,14 (0,56)
	50%	19,35 (0,80)a	14,46 (0,80)b	16,90 (0,56)
	75%	25,88 (0,80)a	18,75 (0,80)b	22,31 (0,56)
	Média eucalipto	19,98 (0,46)	16,25 (0,46)	18,12 (0,33)
Pinus	25%	19,25 (0,80)a	13,08 (0,80)b	16,17 (0,56)
	50%	19,40 (0,80)a	13,45 (0,80)b	16,43 (0,56)
	75%	20,87 (0,80)a	19,86 (0,80)a	20,37 (0,56)
	Média pinus	19,84 (0,46)	15,46 (0,46)	17,65 (0,33)
Médias		19,91 (0,33)	15,86 (0,33)	

1- médias seguidas de mesma letra minúscula na linha não diferem entre si, pelo teste t de Student, a 5% de significância.

As alterações nos painéis, quando expostos à umidade, as tornam um fator limitante em relação ao uso do produto. Absorção de água pelos painéis aglomerado convencional, tanto em 2 quanto em 24 horas, mostram que a aplicação de maior quantidade de adesivo reduziu o inchamento em espessura. Comportamento semelhante foi observado por Iwakiri et al. (2002) ao encontrarem valores inferiores para essas propriedades em painéis produzidos com maior conteúdo de adesivo. Estes autores estudaram o comportamento de *Grevillea robusta* na produção de painéis aglomerado, utilizando diferentes densidades (0,60g/cm³ e 0,80g/cm³) e teores de adesivo (6% e 8%).

Em relação aos valores estabelecidos pela norma CS 236-66, os que foram observados para os tratamentos adotados mantiveram-se dentro da média, ou seja, abaixo de 35% de inchamento em espessura.

4.4.2.5 Teste de ligação interna

Na Tabela 20A encontram-se os resultados da análise de variância para a variável tensão, obtidos a partir do teste de ligação interna. Com base na análise

de variância, constata-se que houve efeito significativo do teor de adesivo sob a tensão medida. A interação entre os fatores teor de adesivo x tipo de madeira x porcentagem de substituição (R x M x S) significativa.

Os resultados apresentados na Tabela 21A indicam, por meio da análise de desdobramento, que apenas houve efeito das porcentagens de substituição, sobre a tensão analisada quando foi utilizado 12% de adesivo em painéis nos quais se associou eucalipto à candeia.

Por meio da Figura 18 observa-se que existe relação quadrática entre a tensão medida e a porcentagem de eucalipto utilizada em associação à candeia, para um teor de adesivo de 12%. Houve redução na tensão quando a porcentagem de eucalipto associado à candeia passou de 25% para 50% e posterior aumento na tensão com o aumento da porcentagem de eucalipto associado para 75%.

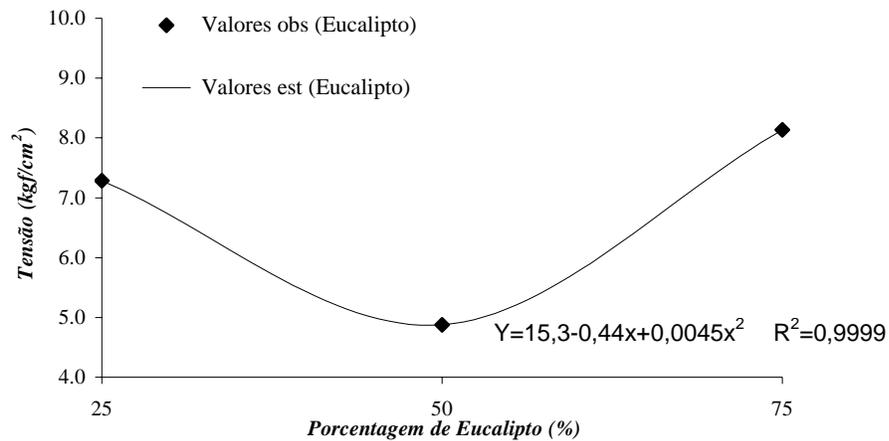


FIGURA 18 – Valores médios da variável tensão (kgf/cm²), estudada no teste de ligação interna, em função das porcentagens de eucalipto associadas à candeia utilizando 12% de teor de adesivo.

Os resultados da Tabela 27 mostram um aumento significativo no valor da resistência à ligação interna ao aumentar o teor de adesivo de 8% para 12%, quando o eucalipto foi utilizado em associação à candeia, na porcentagem de 75%. Para a associação de pinus à candeia, houve um aumento significativo no valor de tensão, de 8% para 12% de adesivo, quando a associação foi de 50%.

TABELA 27 – Valores médios (erro padrão da média) da variável tensão, estudada no teste de ligação interna, em função dos teores de adesivo, tipos de madeira e porcentagem de substituição de candeia.

Tipo de madeira	Porcentagem de madeira	Teor de adesivo ¹		Médias (kgf/cm ²)
		8%	12%	
Eucalipto	25%	5,49 (0,72) a	7,28 (0,72) a	6,39
	50%	6,22 (0,72) a	4,87 (0,72) a	5,55
	75%	5,66 (0,72) b	8,13 (0,72) a	6,89
	Média	5,79	6,76	6,27
Pinus	25%	6,44 (0,72) a	7,04 (0,72) a	6,74
	50%	5,14 (0,72) b	7,29 (0,72) a	6,22
	75%	6,51 (0,72) a	6,47 (0,72) a	6,49
	Média	6,03	6,94	6,48

1- médias seguidas de mesma letra minúscula na linha não diferem entre si, pelo teste t de Student, a 5% de significância.

As maiores médias significativas mostram que os painéis produzidos com 12% de adesivo apresentaram, de modo geral, maiores valores de ligação interna em relação aos produzidos com 8%. Comportamento semelhante foi observado por Iwakiri et al. (2000), ao estudarem a influência da mesma variação para os teores de adesivo utilizados neste trabalho, em três diferentes espécies de eucalipto. Este incremento em resistência pode ser atribuído à maior disponibilidade de adesivo por unidade de área das partículas.

De acordo com Vital (1974), a ligação interna aumenta, geralmente, com o aumento da densidade dos painéis. Neste caso, ainda que não tenha ocorrido diferença estatística para essa propriedade entre os tratamentos com 50% de

pinus associado, observa-se a presença do efeito no aumento da densidade média dos painéis, sob essa condição. Todos os valores médios de ligação interna observados neste trabalho foram superiores ao valor mínimo de referência (4,9 kgf/cm²), estabelecido pela norma americana CS 236- 66.

4.4.2.6 Compressão paralela à superfície do painel

Os resultados experimentais da análise de variância (Tabela 22A) para o teste de compressão paralela à superfície do painel, em que a variável força foi analisada, indicam que houve efeito significativo das porcentagens de substituição por candeia sob a força medida. A interação tripla entre os fatores teor de adesivo x tipo de madeira x porcentagem de substituição (R x M x S) foi significativa.

Os resultados apresentados na Tabela 23A indicam, por meio da análise de desdobramento, que apenas houve efeito das porcentagens de substituição sobre a força analisada no teste de compressão quando foi utilizado 12% de adesivo em painéis que foram confeccionados associando-se eucalipto à candeia e pinus à candeia, para o mesmo teor de adesivo.

Pela Figura 19 pode-se observar, para o teste de compressão, que existe relação quadrática entre a variável força medida e a porcentagem de ambas as madeiras utilizadas em associação à candeia. Quando a associação à candeia foi feita com o eucalipto, para um teor de adesivo de 12%, observou-se redução da resistência quando a porcentagem de eucalipto passou de 25% para 50% e posterior aumento desse valor com o aumento da porcentagem de eucalipto para 75%. Comportamento inverso foi observado quando o pinus foi utilizado em associação à candeia, também para um teor de 12% de adesivo.

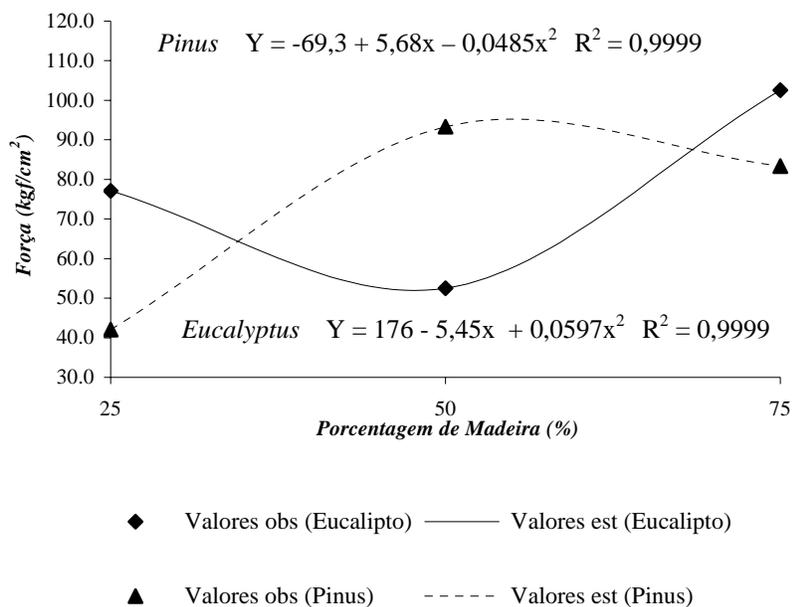


FIGURA 19 - Valores médios da variável força (kgf/cm²), estudada no teste de compressão paralela, em função das porcentagens de eucalipto e pinus associados à candeia, utilizando 12% de teor de adesivo.

Os resultados da Tabela 28 demonstram um aumento significativo na resistência à compressão, em função do aumento no teor de adesivo, quando se utiliza o eucalipto em associação à candeia, nas porcentagens de 25% e 75%. Para a associação de pinus à candeia, aumento significativo foi observado na associação de 50%.

TABELA 28 – Valores médios (erro padrão da média) da variável força no teste de compressão, em função dos teores de adesivo, tipos de madeira e porcentagem de substituição de candeia.

Tipo de madeira	Porcentagem de madeira	Teor de adesivo ¹		Médias (kgf/cm ²)
		8%	12%	
Eucalipto	25%	48,66 (9,63) b	77,00 (9,63) a	62,83
	50%	63,00 (9,63) a	52,66 (9,63) a	57,83
	75%	66,33 (9,63) b	103,00 (9,63) a	84,66
	Média eucalipto	59,33	77,55	68,44
Pinus	25%	69,66 (9,63) a	42,33 (9,63) a	56,00
	50%	64,33 (9,63) b	93,33 (9,63) a	78,83
	75%	83,66 (9,63) a	83,66 (9,63) a	83,66
	Média pinus	72,55	73,11	72,83
Médias ²		65,94 (3,93)	75,33 (3,93)	

1- médias seguidas de mesma letra minúscula na linha não diferem entre si, pelo teste t de Student, a 5% significância.

Observa-se, pelos dados da Tabela 28, que, de modo geral, aumentando-se o teor de adesivo, aumenta a resistência à compressão dos painéis, principalmente para os tratamentos nos quais 50% de pinus e 25% e 75% de eucalipto foram associados à candeia. Dessa forma, o que pode ter determinado a resistência dos painéis, quando submetidos à força, para uma determinada área, foi a maior ligação entre as partículas, promovida pelo aumento no teor de adesivo para uma mesma massa de partículas, um benefício indireto determinado pela interação. A afirmação de que o teor de adesivo tem alta correlação com a adesão das partículas encontra consenso na literatura, como apresentado por Maloney (1989) e Labosky et al. (1993).

4.4.2.7 Teste de flexão estática (MOE e MOE)

Os resultados experimentais do teste de flexão estática, em que as variáveis módulo de elasticidade (MOE) e módulo de ruptura (MOR) foram analisadas (Tabela 24A), indicam comportamento semelhante entre eles. Houve

efeito significativo das porcentagens de substituição por candeia sobre o MOE e MOR. A interação dupla entre as fontes de variação teor de adesivo e porcentagem de substituição foi significativa.

Os resultados da análise de desdobramento apresentados na Tabela 25A indicam que apenas houve efeito das porcentagens de substituição sobre o módulo de elasticidade e módulo de ruptura, quando se utilizou 12% de adesivo, independente do tipo de madeira utilizada.

Por meio das Figuras 20 e 21 pode-se observar, para o teste de flexão, que existe relação quadrática entre os módulos de elasticidade e de ruptura, com as porcentagens de madeira utilizadas em associação à candeia. Tanto para o módulo de elasticidade quanto para o módulo de ruptura, houve aumento no valor das variáveis, à medida que se aumentou a porcentagem da madeira associada à candeia, para um teor de adesivo de 12%.

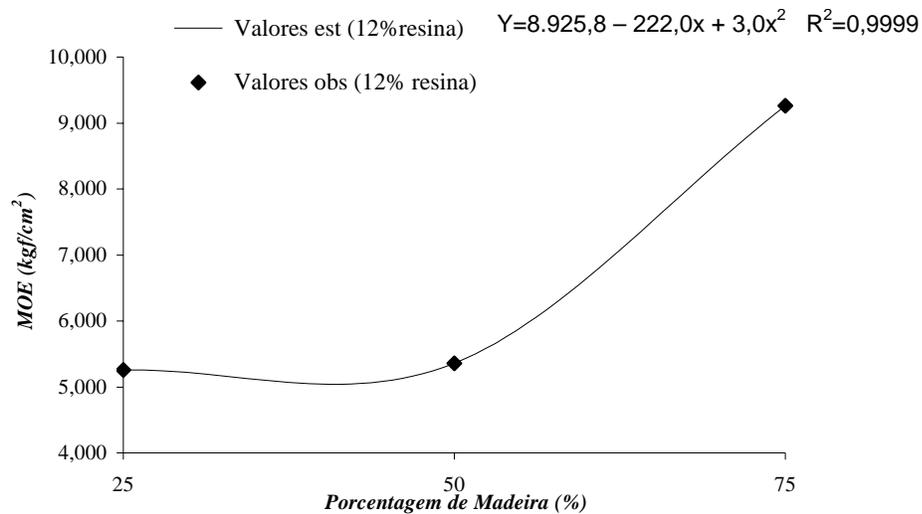


FIGURA 20 – Valores médios do módulo de elasticidade (kgf/cm²), em função das porcentagens de madeira associada à candeia, utilizando 12% de teor de adesivo.

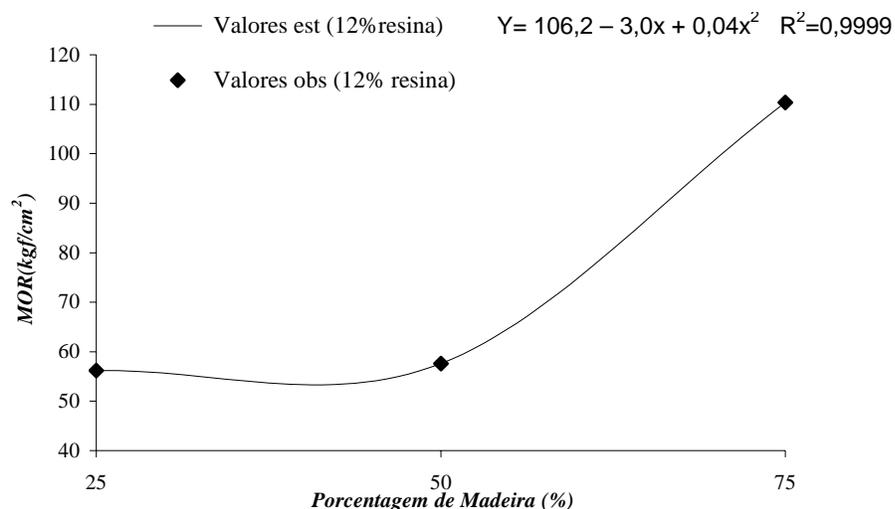


FIGURA 21 – Valores médios do módulo de ruptura (kgf/cm^2), em função das porcentagens de madeira associadas à candeia, utilizando 12% de teor de adesivo.

Pelos dados das Tabelas 29 e 30, pode-se observar que houve aumento significativo, tanto no módulo de elasticidade quanto no módulo de ruptura, quando foram utilizados 12% de adesivo e 75 % de madeira associada à candeia.

TABELA 29 – Valores médios (erro padrão da média) para MOE, em função dos teores de adesivo e porcentagem de madeira associada à candeia.

Porcentagem de madeira	Teor de adesivo ¹		Médias (kgf/cm^2)
	8%	12%	
25%	6.021,9 (676,5) a	5.258,9 (676,5) a	5.640,4 (478,4)
50%	6.459,0 (676,5) a	5.360,9 (676,5) a	5.910,0 (478,4)
75%	6.286,1 (676,5) b	9.231,9 (676,5) a	7.759,0 (478,4)
Médias	6.255,7 (390,6)	6.617,2 (390,6)	

1- médias seguidas de mesma letra minúscula na linha não diferem entre si, pelo teste t de Student, a 5% de significância.

TABELA 30 – Valores médios (erro padrão da média) para MOR, em função dos teores de adesivo e porcentagem de madeira associada à candeia.

Porcentagem de madeira	Teor de adesivo ¹		Médias (kgf/cm ²)
	8%	12%	
25%	63,25 (7,89) a	56,21 (7,89) a	59,73 (5,57)
50%	69,20 (7,89) a	57,59 (7,89) a	63,39 (5,57)
75%	75,78 (7,89) b	110,32 (7,89) a	93,05 (5,57)
Médias (kgf/cm ²)	69,41 (4,55)	74,71 (4,55)	

1- médias seguidas de mesma letra minúscula na linha não diferem entre si, pelo teste t de Student, a 5% significância.

Iwakiri et al. (2000) não encontraram diferença significativa para essa fonte de variação, ao estudarem o comportamento dos dois teores de adesivo uréia-formaldeído (8% e 12%) em painéis confeccionados com três diferentes espécies de eucalipto, misturadas e individualizadas, sobre o MOE dos painéis aglomerados. Porém, para o MOR, valores estatisticamente superiores foram observados, para todos os tratamentos, ao ser utilizado maior teor de adesivo.

Iwakiri et al. (2002), estudando o comportamento da madeira de *Grevillea robusta* na confecção de painéis aglomerados com dois teores de adesivo uréia-formaldeído (6% e 8%) e duas densidades diferentes, encontraram resultados que mostraram tendência ao aumento nos valores médios do MOE e do MOR com o incremento no teor de adesivo de 6% para 8%.

Os valores observados neste trabalho foram inferiores ao estabelecido pela norma CS 236-66 para MOE e MOR, com base em chapas de partículas com densidade entre 0,60 e 0,80g/cm³, que estabelece valor médio mínimo de 24.500kgf/cm² para MOE e de 112 kgf/cm² para MOR.

4.4.3 Painéis plástico-madeira

4.4.3.1 Densidade dos painéis

Os resultados experimentais (Tabela 26A) indicam, por meio da análise de variância, que houve efeito significativo da porcentagem de associação de PET nos painéis sobre a variável densidade, considerando as fontes de variações, a porcentagem de incorporação (I), a presença/ausência de parafina (P) e a interação (I x P).

Pelo gráfico da Figura 22 observa-se que existe relação linear crescente entre a densidade dos painéis e a porcentagem de incorporação de PET nos painéis plástico-madeira.

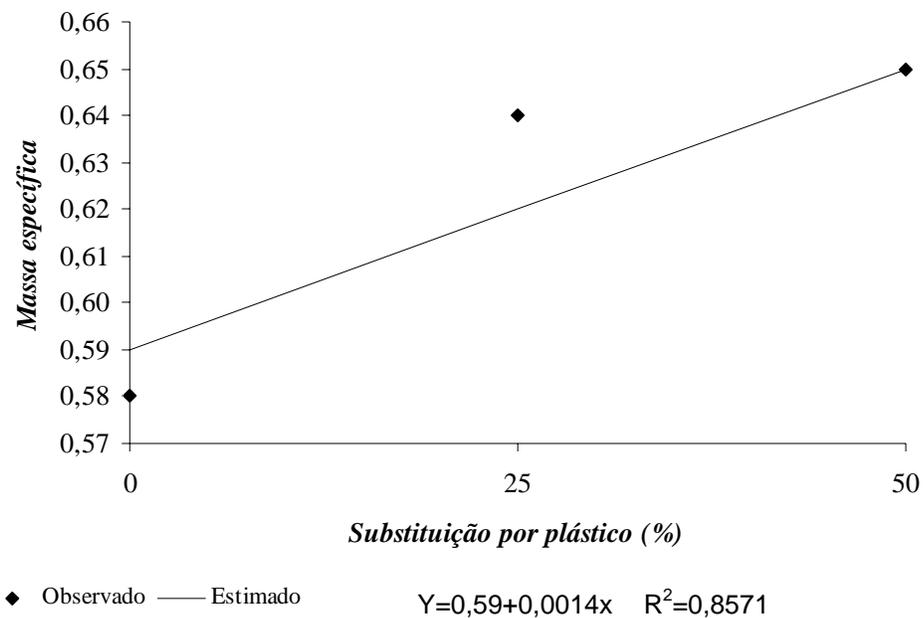


FIGURA 22 – Valores médios para densidade, em função das porcentagens de incorporação de PET às partículas de madeira nos painéis plástico-madeira.

Os valores médios apresentados na Tabela 31 demonstram que, para a fonte de variação presença/ausência de parafina, não houve efeito significativo para os valores de densidade dos painéis.

TABELA 31 – Valores médios (erro padrão da média) da densidade dos painéis em função das porcentagens de incorporação de PET e presença/ausência de parafina nos painéis plástico-madeira.

Parafina	Porcentagem de incorporação de PET			Médias g/cm ³
	0%	25%	50%	
Presença	0,59 (0,01)	0,63 (0,01)	0,64 (0,01)	0,62 (0,01)
Ausência	0,57 (0,01)	0,64 (0,01)	0,66 (0,01)	0,63 (0,01)
Médias (g/cm ³)	0,58 (0,01)	0,64 (0,01)	0,65 (0,01)	

Observa-se, por meio dos valores médios das densidades dos painéis plástico-madeira, que, para essa propriedade, em todos os tratamentos, esses valores estão abaixo do valor da densidade nominal estabelecida no plano experimental. Foi estabelecido um valor para densidade final dos painéis igual a 0,70g/cm³. Essa diferença pode ser atribuída às eventuais perdas de partículas durante a mistura dos componentes dos painéis, realizada no tambor giratório.

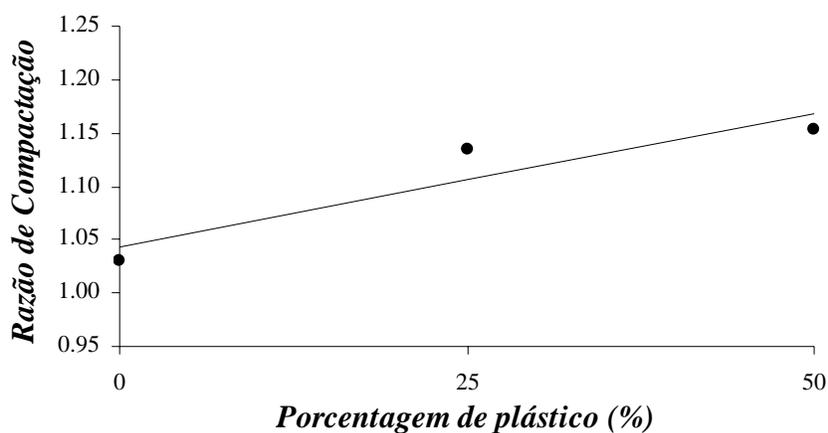
Pode-se inferir, ainda, em relação às densidades dos painéis, que estes foram homogêneos, visto não terem sido observadas diferenças significativas para essa propriedade.

4.4.3.2 Razão de compactação dos painéis plástico-madeira

Os resultados experimentais (Tabela 27A) indicam, por meio da análise de variância, que houve efeito significativo da porcentagem de incorporação de PET nos painéis sobre a variável razão de compactação, considerando as fontes de variação porcentagem de incorporação (I), presença/ausência de parafina (P) e interação (I x P).

Pela Figura 23 pode-se observar que existe relação linear crescente entre a razão de compactação e a porcentagem de incorporação de plástico na confecção dos painéis, independente da inclusão ou não de parafina.

Observa-se que a incorporação de PET à massa total das partículas de madeira provavelmente colaborou para o aumento da razão de compactação, visto que, à medida que foi aumentada a proporção dessa incorporação, maior volume foi somado para uma mesma área determinada para cada painel, resultando, assim, em maior grau de compactação das partículas na estrutura dos painéis.



● Observado

— Estimado $y=1,0444+0,0025x$ $R^2 = 0,8587$

FIGURA 23 – Valores médios de razão de compactação, em função das porcentagens de incorporação de PET às partículas de madeira nos painéis plástico-madeira.

Não houve efeito significativo da inclusão da parafina na razão de compactação, conforme se observa na Tabela 32.

TABELA 32 – Valores médios (erro padrão da média) da razão de compactação, em função das porcentagens de inclusão de plástico e presença de parafina.

Parafina	Porcentagem de incorporação de plástico			Médias
	0%	25%	50%	
Presença	1,04 (0,03)	1,13 (0,03)	1,13 (0,03)	1,10 (0,01)
Ausência	1,02 (0,03)	1,14 (0,03)	1,17 (0,03)	1,11 (0,01)
Médias	1,13 (0,02)	1,14 (0,02)	1,15 (0,02)	

4.4.3.3 Absorção de água após 2h e 24h de imersão

Os resultados apresentados na análise de variância (Tabela 28A) indicam que, para a variável absorção de água em 2 horas, houve efeito significativo das fontes de variação isoladamente, ou seja, a porcentagem de incorporação de PET e parafina (I x P) atua de maneira independente na variável. Já para a absorção de água em 24 horas, a interação foi significativa, ou seja, a absorção de água se comporta de maneira diferenciada nas porcentagens de incorporação de PET, na presença e na ausência de parafina.

Por meio da Figura 24 se observa que existe relação quadrática entre a absorção de água medida em 2 horas e a porcentagem de incorporação de plástico do tipo PET utilizado em associação à madeira. Houve redução na absorção de água em 2 horas com o aumento da porcentagem de PET associado, sendo o mínimo de absorção de água conseguido para, aproximadamente, 25% de plástico.

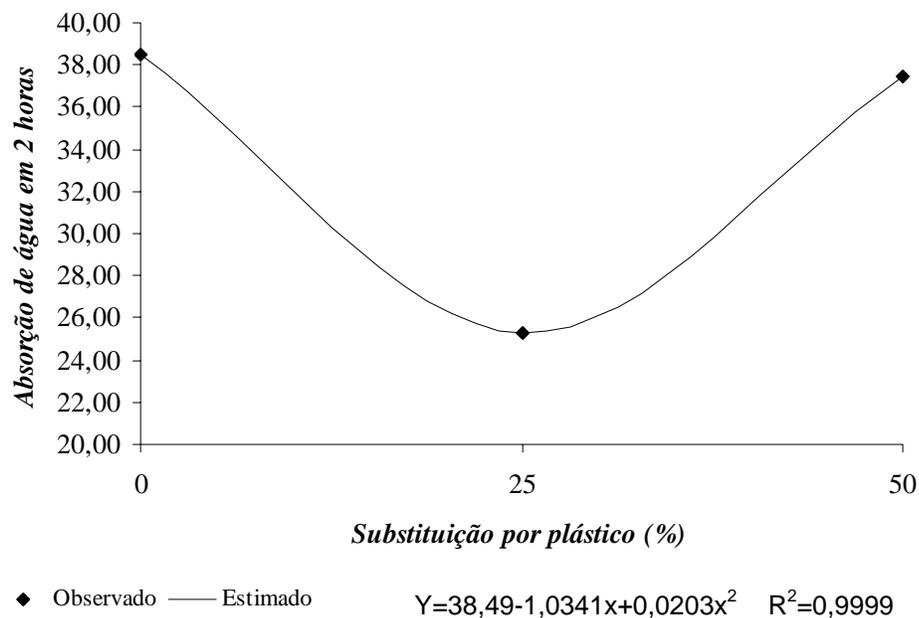


FIGURA 24 - Valores médios de absorção de água após 2 horas de imersão, em função das porcentagens de incorporação de PET em associação à madeira nos painéis plástico-madeira.

No que se refere à presença ou não de parafina na confecção de painéis, a absorção de água em 2 horas foi significativamente inferior quando os painéis foram confeccionados na presença de parafina. Esses resultados são apresentados na Tabela 33.

TABELA 33 – Valores médios (erro padrão da média) de absorção de água após 2 horas (A.A.2h) de imersão, em função das porcentagens de incorporação de plástico do tipo PET e presença/ausência de parafina.

Parafina ¹	Porcentagem de incorporação de PET			Médias (%)
	0%	25%	50%	
Presença	27,46 (4,34)	17,17 (4,34)	33,19 (4,34)	25,94 (2,51) b
Ausência	49,51 (4,34)	33,46 (4,34)	41,81 (4,34)	41,59 (2,51) a
Médias (%)	38,49 (3,07)	25,31 (3,07)	37,50 (3,07)	

1- médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si, pelo teste t de Student, a 5% de significância.

A aplicação de parafina tem a finalidade de reduzir a higroscopicidade das partículas de madeira e melhorar a estabilidade dimensional dos painéis, sendo um processo industrial consagrado. A menor absorção de água pelos painéis observada na presença de parafina pode ser explicada em função do caráter hidrofóbico conferido aos painéis pela parafina, o que levou a uma absorção de água reduzida.

Maciel (2001), estudando chapas de partículas aglomeradas em mistura com dois tipos de plástico, um deles PET, e em dois níveis de incorporação e solução de poliestireno em tolueno, encontrou, para todos os tratamentos, redução significativa na absorção de água pelos painéis. Este autor não utilizou parafina na confecção dos painéis.

Absorção de água após 24 horas de imersão

Por meio da Tabela 29A verifica-se a análise do desdobramento dos níveis de incorporação de PET associado à madeira, na presença e na ausência de parafina para a absorção de água em 24 horas. O efeito dos níveis de substituição foi significativo apenas para a confecção de painéis na ausência de parafina.

Por meio da Figura 25 pode-se observar relação linear decrescente entre a absorção de água em 24 horas e a porcentagem de incorporação de PET nos painéis plástico-madeira, na ausência de parafina.

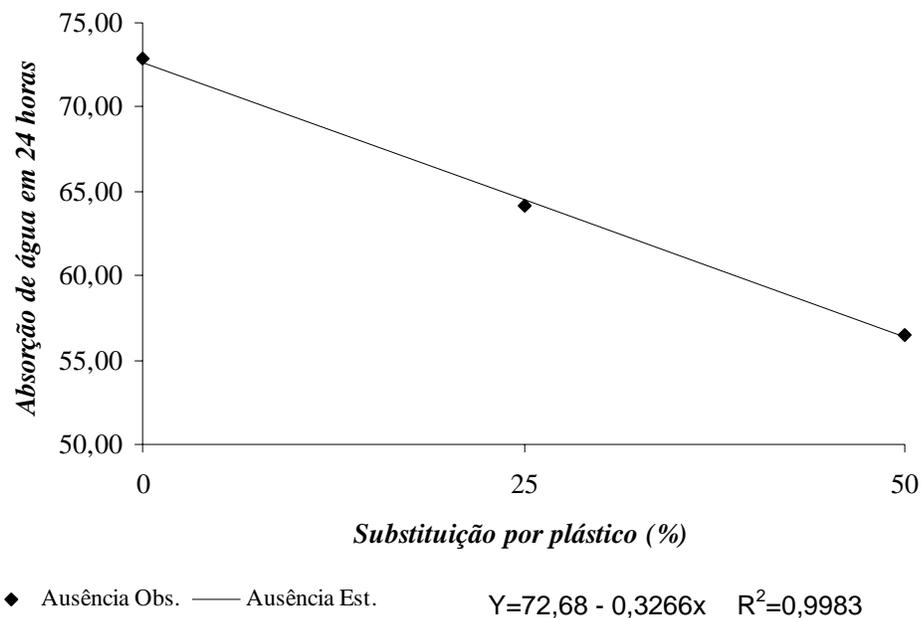


FIGURA 25 - Valores médios de absorção de água após 24 horas de imersão, em função das porcentagens de incorporação de plástico à madeira, na ausência de parafina.

Os valores de absorção de água (24h) apresentados na Tabela 34 mostram que os painéis produzidos na ausência de plástico e aqueles produzidos com 25% de incorporação de PET absorveram, de forma significativa, menos água quando confeccionados com parafina. Para 50% de incorporação de PET à madeira, não houve diferença significativa na absorção de água em 24 horas, em função da presença ou não de parafina na confecção dos painéis.

TABELA 34 – Valores médios (erro padrão da média) de absorção de água após 24 horas (A.A.24h) de imersão, em função das porcentagens de incorporação de plástico do tipo PET à madeira e presença de parafina.

Parafina ¹	Porcentagem de incorporação de PET			Médias (%)
	0%	25%	50%	
Presença	54,34 (2,34) b	54,80 (2,34) b	54,32 (2,34) a	54,49 (1,35) b
Ausência	72,87 (2,34) a	64,12 (2,34) a	56,54 (2,34) a	64,51 (1,35) a
Médias (%)	63,61 (1,65)	59,46 (1,65)	55,43 (1,65)	

1- médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si, pelo teste t de Student, a 5% de significância.

As menores médias percentuais observadas para absorção de água na presença de parafina reforçam o caráter hidrofóbico proporcionado aos painéis quando do seu uso, o que pode ter levado os componentes dos painéis confeccionados com a inclusão da mesma a uma absorção reduzida de água após 24 horas de imersão. Batista et al. (2007), ao avaliarem as propriedades físicas e mecânicas de chapas aglomeradas de três camadas, com inclusão de cascas, para um mesmo teor de adesivo uréia-formaldeído, estudaram a influência da presença e da ausência de parafina sobre essas propriedades. Para a absorção de água, tanto em 2 quanto em 24 horas, os autores encontraram maiores absorções na presença de parafina e sugeriram algum problema com o produto. Segundo Maloney (1977), a aplicação de 1% de emulsão de parafina, em relação ao peso seco das partículas, aumenta a resistência à absorção de água dos painéis.

4.4.3.4 Inchamento em espessura após 2h e 24h de imersão em água

Os resultados experimentais (Tabela 30A) indicam, por meio da análise de variância, que houve efeito significativo da presença de parafina no inchamento em espessura, em duas horas. Para a variável inchamento em espessura em 24 horas, houve efeito significativo da interação entre os fatores estudados, porcentagem de incorporação x parafina (I x P). Os resultados mostrados na Tabela 35 mostram que os painéis confeccionados na ausência de

parafina apresentaram maior inchamento em espessura após duas horas de imersão, quando comparados com aqueles confeccionados na presença de parafina para a mesma propriedade. Já para o inchamento em espessura em 24 horas (Tabela 36), este mesmo comportamento foi observado apenas para os painéis que foram confeccionados na ausência de plástico, ou seja, 0% de incorporação. Para as demais porcentagens de incorporação de plástico do tipo PET à madeira, esta propriedade foi estatisticamente igual entre si.

TABELA 35 – Valores médios (erro padrão da média) de inchamento em espessura após 2 horas (Incham.2h) de imersão em água, em função das porcentagens de incorporação de plástico tipo PET à madeira e da presença de parafina.

Parafina ¹	Porcentagem de incorporação de PET			Médias (%)
	0%	25%	50%	
Presença	9,87 (1,22)	8,54 (1,22)	11,88 (1,22)	10,09 (0,70) b
Ausência	12,81 (1,22)	12,34 (1,22)	12,97 (1,22)	12,70 (0,70) a
Médias (%)	11,34 (0,86)	10,44 (0,86)	12,43 (0,86)	

1- médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si, pelo teste t de Student, a 5% de significância.

TABELA 36 – Valores médios (erro padrão da média) de inchamento em espessura após 24 horas (Incham.24h) de imersão em água, em função das porcentagens de incorporação de plástico tipo PET à madeira e da presença de parafina.

Parafina ¹	Porcentagem de incorporação de PET			Médias (%)
	0%	25%	50%	
Presença	13,82 (1,01) b	14,64 (1,01) a	16,11 (1,01) a	14,90 (0,58)
Ausência	18,60 (1,01) a	15,88 (1,01) a	15,67 (1,01) a	16,72 (0,58)
Médias (%)	16,21 (0,71)	15,26 (0,71)	15,96 (0,71)	

1- médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si, pelo teste t de Student, a 5% de significância.

De acordo com os resultados apresentados, o inchamento em espessura foi, de forma geral, afetado pela presença de parafina, sendo essa mais uma vez

a razão para se considerar a inclusão de parafina para maior impermeabilização e, conseqüentemente, menor absorção de água pelos painéis. O emprego da parafina na confecção dos painéis plástico-madeira foi fundamental para reduzir o inchamento em espessura, tanto em 2 quanto em 24 horas, após imersão em água, sendo a última condição citada influenciada especialmente com 0% de incorporação de PET às partículas de madeira.

Os valores médios observados para inchamento em espessura em duas horas foram 10,09% e 12,70%, na presença e na ausência de parafina, respectivamente, e, em 24 horas, foram de 14,90% e 16,72%, na presença e na ausência de parafina, respectivamente. Os valores observados estão abaixo dos estabelecidos pela norma CS 236-66. A norma estabelece valor máximo para inchamento em espessura de 35% para painéis de partículas de média densidade.

4.4.3.5 Teste de compressão paralela à superfície do painel

Os resultados da análise de variância apresentados na Tabela 31A indicam que a resistência à compressão paralela foi afetada pelos tratamentos, ocorrendo efeito significativo da interação entre os fatores, porcentagem de incorporação de PET x parafina (I x P), indicando um comportamento diferenciado desta variável em cada porcentagem de incorporação de PET à madeira, na presença e na ausência de parafina.

Pelos dados da Tabela 32A, observa-se, pela análise de desdobramento, que os níveis de incorporação de plástico do tipo PET à madeira apresentaram efeito significativo na presença de parafina na confecção dos painéis.

Na Figura 26, observa-se que a relação existente entre a porcentagem de incorporação de PET à madeira e a resistência à compressão são relações quadráticas decrescentes, ou seja, com o aumento nos níveis de incorporação de PET à madeira na confecção dos painéis, houve decréscimo da variável força, na presença de parafina.

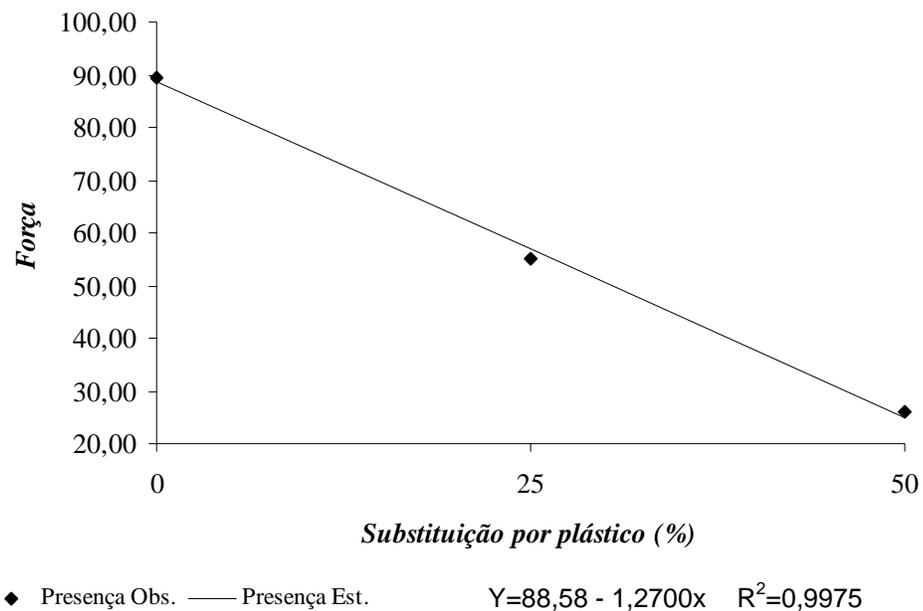


FIGURA 26 - Valores médios da variável força (kgf/cm^2), no teste de compressão, em função das porcentagens de incorporação de PET, na presença de parafina.

Os valores médios da variável força, em função das porcentagens de incorporação de plástico do tipo PET à madeira, na presença ou ausência de parafina, encontram-se na Tabela 37.

TABELA 37 – Valores médios (erro padrão da média) para a variável força, no teste de compressão, em função das porcentagens de incorporação de plástico e da presença de parafina.

Parafina ¹	Porcentagem de incorporação de PET			Médias (kgf/cm ²)
	0%	25%	50%	
Presença	89,50 (6,97) a	55,00 (6,97) a	26,00 (6,97) a	56,83 (4,02)
Ausência	60,17 (6,97) b	58,00 (6,97) a	37,58 (6,97) a	51,92 (4,02)
Médias	74,83 (4,93)	56,50 (4,93)	31,79 (4,93)	

1- médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si, pelo teste t de Student, a 5% de significância.

A maior resistência à compressão paralela foi observada para os painéis produzidos com 0% de PET, na presença de parafina, sendo esta significativa estatisticamente. Para as demais porcentagens de incorporação do plástico às partículas de madeira, os tratamentos não diferiram entre si.

Inicialmente, a parafina pode ter promovido maior interação dos componentes do painel, na ausência do PET, alterando, química ou fisicamente, as superfícies naturais. Por outro lado, a adição de parafina resulta em uma diminuição da massa das partículas (em relação ao peso seco das chapas), o que pode causar redução na resistência mecânica dos painéis.

4.4.3.6 Teste de flexão estática (MOE e MOR)

Os resultados experimentais da análise de variância (Tabela 33A) indicam um comportamento diferenciado para o módulo de elasticidade (MOE) e módulo de ruptura (MOR) no teste de flexão estática. Houve efeito significativo das porcentagens de incorporação de plástico em associação à madeira sobre o módulo de elasticidade. Para a variável módulo de ruptura não houve efeito significativo de nenhuma das fontes de variação consideradas no modelo, porcentagem de incorporação (I), parafina (P) e interação porcentagem de incorporação x parafina (I x P).

Na Figura 27 é possível observar uma relação linear decrescente entre as porcentagens de incorporação de PET nos painéis e o módulo de elasticidade.

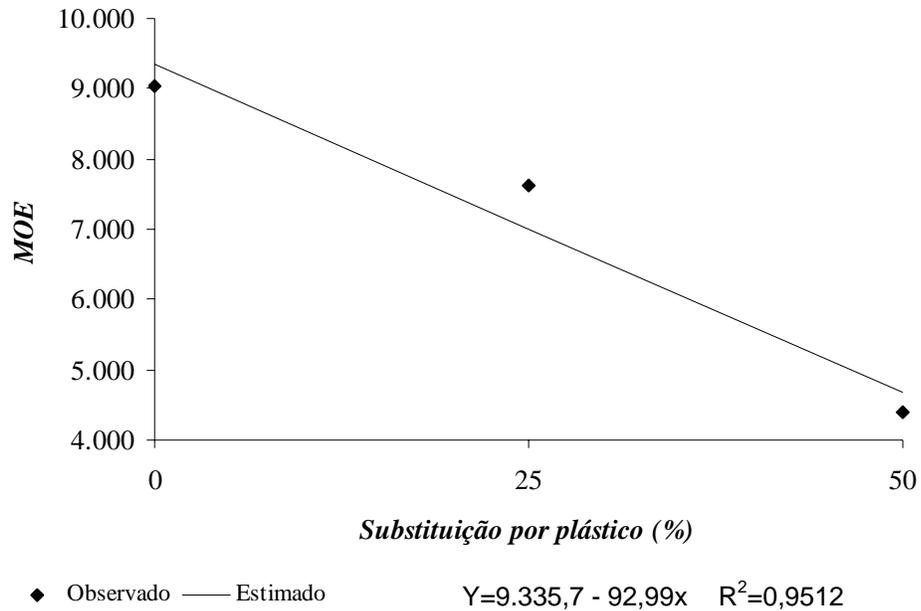


FIGURA 27 - Valores médios de MOE (kgf/cm²), em função das porcentagens de incorporação de PET na confecção dos painéis plástico-madeira.

A Tabela 38 mostra, por meio dos valores médios para o MOE, que não houve efeito significativo na variação da presença e da ausência de parafina para os diferentes tratamentos.

TABELA 38 – Valores médios (erro padrão da média) de MOE (kgf/cm²), em função das porcentagens de incorporação de plástico do tipo PET e da presença/ausência de parafina.

Parafina	Porcentagem de incorporação de PET			Médias (kgf/cm ²)
	0%	25%	50%	
Presença	9.989,1 (1.147,2)	7.905,7 (1.147,2)	4.353,4 (1.147,2)	7.416,1 (662,4)
Ausência	8.074,0 (1.147,2)	7.332,5 (1.147,2)	4.410,9 (1.147,2)	6.605,8 (662,4)
Médias	9.031,6 (811,2)	7.619,1 (811,2)	4.382,1 (811,2)	

Batista et al. (2007) encontraram diferenças significativas em todos os tratamentos com parafina, ao estudarem a ausência e a presença desta em painéis aglomerados com incorporação de cascas. Esses autores encontraram melhores resultados para MOE na presença de parafina. Maciel (2001), estudando chapas de partículas aglomeradas em mistura com plásticos do tipo PET e PS, em diferentes proporções e dois níveis de adesivo (4% e 6%), ao comparar os valores de MOE das chapas sem plástico com os valores das chapas com plástico, encontrou valores estatisticamente iguais. Observou, ainda, que a presença de PET nas misturas parece não ter influência no módulo de elasticidade.

A Tabela 39 mostra que não houve efeito significativo para o MOR, dentro das fontes de variações estudadas para essa variável.

TABELA 39 – Valores médios (erro padrão da média) de MOR, em função das porcentagens de substituição por plástico e presença de parafina.

Parafina	Porcentagem de incorporação de PET			Médias (kgf/cm ²)
	0%	25%	50%	
Presença	66,97 (11,33)	57,71 (11,33)	95,92 (11,33)	73,53 (6,54)
Ausência	82,16 (11,33)	92,01 (11,33)	84,97 (11,33)	86,38 (6,54)
Médias	74,56 (8,01)	74,86 (8,01)	87,90 (8,01)	

Batista et al. (2007), estudando composição das chapas e ausência e presença de parafina, observaram, estudando o fator composição das chapas isoladamente, que todos os tratamentos com parafina apresentaram diferenças significativas entre si. No estudo do fator parafina, isoladamente, esses autores encontraram maiores valores de módulo de ruptura na presença de parafina.

Os valores médios para MOE e MOR observados neste trabalho estão abaixo dos valores exigidos pela norma CS 236-66. A norma estabelece, para MOE e MOR, valores mínimos de 24.500 kgf/cm² e 112 kgf/cm², respectivamente.

Apesar dos valores médios para MOE e MOR não apresentarem diferenças estatísticas significativas, deve-se considerar, em relação à composição das chapas, que, neste trabalho, não foi seguido um procedimento comum que é adicionar ao sistema plástico/madeira substâncias compatibilizantes que possam atuar como elo entre as superfícies desses dois materiais, conseqüentemente, fortalecendo as linhas de adesão entre os constituintes, gerando produtos de melhor qualidade (Simonsen et al., 1997, citados por Maciel, 2001). Sugere-se, ainda, em relação aos parâmetros utilizado na confecção dos painéis, que o calor fornecido ao material durante o processo de produção dos painéis pode não ter sido suficiente para fundir, parcialmente, o material plástico agregado às partículas de madeira.

Possivelmente, essas propriedades podem ter sido prejudicadas também em função da ausência do tratamento das partículas das madeiras utilizadas na confecção dos painéis, especialmente porque, com base na análise química destas, os teores de extrativos presentes nessas madeiras são elevados. E, observando-se os resultados dessas propriedades nos painéis cimento-madeira nos quais foram utilizadas partículas com tratamento prévio em água fria, nota-se que os resultados para MOE e MOR foram satisfatórios.

4.4.3.7 Teste de ligação interna

Os resultados experimentais (Tabela 34A) indicam que houve um efeito significativo na resistência à ligação interna, em função das porcentagens de incorporação de plástico em associação à madeira na confecção dos painéis.

Pela Figura 28 pode-se observar uma relação linear decrescente entre as porcentagens de incorporação de PET na confecção dos painéis e a variável tensão.

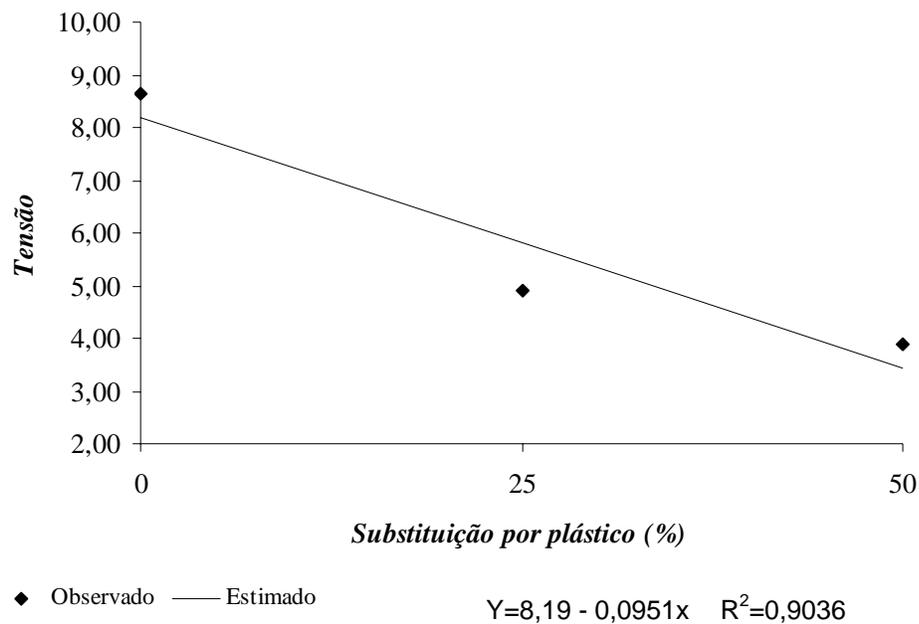


FIGURA 28 - Valores médios de tensão (kgf/cm²), no teste de ligação interna, em função das porcentagens de incorporação de PET associado à madeira na confecção dos painéis plástico-madeira.

Os valores médios de resistência á ligação interna, dentro das fontes de variações, encontram-se na Tabela 40.

TABELA 40 – Valores médios (erro padrão da média) de tensão (kgf/cm²) no teste de ligação interna, em função das porcentagens de incorporação de plástico e presença de parafina.

Parafina	Porcentagem de incorporação de PET			Médias (kgf/cm ²)
	0%	25%	50%	
Presença	8,69 (0,65)	4,96 (0,65)	3,46 (0,65)	5,70 (0,38)
Ausência	8,60 (0,65)	4,89 (0,65)	4,32 (0,65)	5,94 (0,38)
Médias	8,65 (0,46)	4,92 (0,46)	3,89 (0,46)	

Maciel (2001), estudando a inclusão de plástico do tipo PET e PS nas chapas de partículas aglomeradas, observou que os valores médios indicam que a tração perpendicular ao plano da chapa observada no teste de ligação interna foi mais elevada nos produtos elaborados com níveis mais reduzidos de plástico, maior teor de adesivo (6%) e adição de solução de poliestireno em tolueno, independente da mistura utilizada, tendo os valores determinados nesses painéis sido superiores àqueles encontrados nos painéis sem incorporação de plástico. Os parâmetros adotados por esse autor diferem daqueles utilizados neste trabalho, especialmente a ausência do uso da parafina. Batista et al. (2007) encontraram melhor resultado para ligação interna nos tratamentos com utilização apenas de madeira de pinus, sem cascas, na ausência de parafina, ao estudar o fator presença/ausência de parafina, isoladamente na confecção dos painéis.

Apesar de não apresentarem significância, os resultados médios observados neste trabalho em relação à utilização de parafina foram superiores aos valores mínimos estabelecidos pela norma CS-236-66, de 4,9kgf/cm². Em relação à presença de PET, apenas os tratamentos com 50% de incorporação do mesmo ficaram abaixo da média mínima estabelecida nessa norma.

5 CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos nesta pesquisa, as seguintes conclusões podem ser apresentadas, em relação aos painéis:

Cimento-madeira:

- a redução na porcentagem de associação do resíduo da madeira de candeia às madeiras de eucalipto e pinus, de 75% para 25%, promoveu a redução do índice de inibição;
- maior índice de inibição foi observado no teste de aptidão, quando se utilizou 100% candeia, na ausência do tratamento prévio do resíduo em água fria;
- o inchamento em espessura nos painéis, após 2 e 24 horas de imersão em água, não foi afetado pelos tratamentos adotados nesta pesquisa;
- maiores valores significativos do MOE foram observados nos painéis confeccionados na associação de 25% de eucalipto ao resíduo da madeira de candeia;
- os valores de resistência à ligação interna avaliados nos painéis não foram afetados pelos tratamentos adotados nesta pesquisa;
- o uso do resíduo da madeira de candeia mostrou-se viável tecnicamente, em todas as propriedades físico/mecânicas analisadas, para a produção de painéis cimento-madeira.

Aglomerado convencional:

- o aumento no teor de adesivo de 8% para 12% proporcionou redução na porcentagem de absorção de água, após 2h e 24h de imersão, pelos painéis quando esses foram confeccionados com 75% de eucalipto. O mesmo ocorreu para 25% e 50% de pinus associado ao resíduo da madeira de candeia;
- o aumento no teor de adesivo de 8% para 12% proporcionou maior estabilidade dimensional aos painéis que ficaram imersos em água por duas horas, quando esses foram confeccionados com 75% de eucalipto e 25 e 50% de pinus associados ao resíduo da madeira de candeia;
- após 24 horas de imersão em água, maior estabilidade dimensional foi observada nos tratamentos em que houve associação de 50% e 75% de eucalipto ao resíduo de candeia, e de 25% de pinus para a mesma associação;
- o aumento no teor de adesivo de 8% para 12% proporcionou maiores valores de resistência à compressão paralela, quando os painéis foram confeccionados com 25% e 75% de eucalipto associado ao resíduo da madeira de candeia. O mesmo foi observado para 50% de pinus para a mesma associação;
- o aumento no teor de adesivo proporcionou maior resistência à ligação interna nos painéis confeccionados com 75% de eucalipto associado ao resíduo da madeira de candeia. O mesmo fato foi observado para 50% de pinus na mesma associação;

- maiores valores foram alcançados para MOE e MOR, quando os painéis foram confeccionados com 25% do resíduo da madeira de candeia associado e 12% de teor de adesivo. Porém, esses valores encontram-se abaixo dos estabelecidos pela norma;
- o tipo de madeira associada ao resíduo de candeia não influenciou os valores do MOE e MOR dos painéis;
- o resíduo da madeira de candeia mostrou-se viável, tecnicamente, para a confecção de painéis aglomerado convencional, em todas as propriedades, exceto para valores de MOE e MOR;
- possivelmente, os valores para o MOE e MOR podem ser corrigidos por meio do tratamento prévio das partículas de madeira para a confecção dos painéis.

Painéis plástico-madeira:

- a presença de parafina proporcionou aos painéis redução na absorção de água após 2h de imersão, independente da porcentagem de incorporação de plástico do tipo PET às partículas de madeira;
- a presença de parafina proporcionou aos painéis maior estabilidade dimensional, após duas horas de imersão em água, independente das porcentagens de incorporação de PET;

- o inchamento em espessura nos painéis, após 24 horas de imersão em água, foi reduzido na presença de parafina, com 0% de incorporação de PET às partículas de madeira;
- possivelmente, a presença de parafina colaborou para maior resistência à compressão paralela nos painéis confeccionados com 0% de incorporação de PET às partículas de madeira;
- os valores observados para MOE e MOR estão abaixo daqueles estabelecidos pela norma. Os parâmetros adotados no processo de confecção dos painéis plástico-madeira, provavelmente, colaboraram para esse fato;
- os resultados aqui obtidos não devem ser comparados com outros processos de produção, como injeção e extrusão, por exemplo, nos quais ocorre maior homogeneização do material quando do derretimento do plástico dentro do equipamento;
- a ausência de tratamento prévio das partículas das madeiras utilizadas na confecção dos painéis plástico-madeira pode ter comprometido os valores para MOE e MOR;
- mesmo tendo sido confeccionados em um processo convencional utilizado para painéis reconstituídos de madeira, os resultados alcançados neste estudo mostraram que é viável a utilização do resíduo da madeira de candeia, em associação à madeira de eucalipto, na confecção dos painéis plástico-madeira, pois as propriedades atenderam às exigências mínimas das normas, exceto para valores de MOE e MOR.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBERTO, M. M.; MOUGEL, E.; ZOULALIAN, A. Compatibility of some tropical hardwoods species with Portland cement using isothermal calorimetry. **Forest Products Journal**, Madison, v. 50, n. 9, p. 83-88, 2000.

ANDRADE, A. S. **Qualidade da madeira, celulose e papel em *Pinus taeda* L.:** influência da idade e classe de produtividade. 2006. 107p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR.

ARAÚJO, L.C. *Vanillosmopsis erythropappa* (DC) Sch.Bip: sua exploração florestal. Rio de Janeiro: Escola Nacional de Agronomia, 1944. 58p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS DE CELULOSE E PAPEL. **Normas de ensaio.** São Paulo, 1974. 68 p.

BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL. **Produtos florestais.** Área de operações industriais: gerência setorial 1. Brasília, 2000.

BATISTA, D. C.; BRITO, E. O.; SETULBAL, V. G.; GOÉS, L. G. Fabricação de aglomerados de três camadas com madeira de *Pinus elliotti* Engelm. e casca de *Eucalyptus pellita* Muell. **Revista Cerne**, Lavras, v. 13, n. 2, p.178-187, 2007.

BERALDO, A. L.; ARRUDA, A. C. de; STANCATO, A. C.; SAMPAIO, C. A. P.; FERNANDES FILHO, O. P.; LEONEL, V. M. Compósitos à base de resíduos vegetais e cimento Portland. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 8., 2002, Uberlândia. **Anais...** Uberlândia: EBRAMEM, 2002.

BIBLIS, E. J. Sugar and others wood extractives: effect on the setting of southern pine-cement mixtures. **Forest Products Journal**, v. 18, n. 8, p. 28-34, 1968.

BIERMANN, C. J. **Handbook of pulping and papermaking.** San Diego: Academic, 1996. 754 p.

BISON WOOD-CEMENT BOARD. **Bison – Report**. 1978. 10p.

BRITO, E. O. **A viabilidade de utilização de espécies de pinus para a produção de chapas de composição estruturais waferboards**. 1984. 104 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias. Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies florestais brasileiras: recomendações silviculturais, potencialidade e uso da madeira**. Brasília: EMBRAPA-CNPQ, 1994. 640 p.

CLOUTIER, A. Oriented strandboard (OSB): raw material, manufacturing process, properties of wood-base fiber and particle materials. In: INTERNATIONAL SEMINAR ON SOLID WOOD PRODUCTS OF HIGH TECHNOLOGY, 1., 1998, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: SIF, 1998. p. 173-185.

COATES, G. R. Product application of wood-cement particleboards including applied finishes. In: INTERNATIONAL INORGANIC-BONDED WOOD AND FIBER COMPOSITE MATERIALS CONFERENCE, 4., 1994, Washington. **Proceedings...** Madison: Forest Products Society, 1994. v. 1, p. 189-192.

CORREA, M. P. **Dicionário de plantas úteis do Brasil**. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, 1931. v. 1, p. 431-433.

DADSWELL, H. E.; NICHOLLS, J. W. P. Assessment of wood qualities for tree breeding. I. *Pinus elliottii* var. *elliottii* from Queensland. **Division Forestry Products Technology**, v. 4, 16P, 1960.

ENGLISH, B. **Waste-wood-Derived fillers for plastics**. Madison: WI:U.S. Department of Agriculture/Forest Service/Forest Products Laboratory, 1996. 15 p. (Gen. Tech. Rep. FPL-GTR-91).

FONSECA, F.de O.; LIMA, A. M. de; MACEDO, A. N.; TEIXEIRA, M. M. Compósito cimento-madeira com resíduos provenientes da indústria madeireira da Região Amazônica. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 8., 2002, Uberlândia. **Anais do VII EBRAMEM**, Uberlândia, 2002.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. **Tableros de fibra y tableros de madera aglomerad.** Roma, 1959. 212p.

FORD-ROBERTSON, F. C. **Terminology of forest science, technology practice and products.** Washington: Society of American Foresters, 1971. 349 p.

GARCIA, P.; AVRAMIDIS, S.; LAM, F. Oriented Strand Board hot-pressing and flake orientation. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON THE DEVELOPMENT OF WOOD SCIENCE, 4., 1999, Missenden Abbey. **Proceedings...** Missenden Abbey, UK: Wood Technology and Forestry, 1999. p. 365-374.

GRANDI, L. A. C. **Placas pré-moldadas de argamassa de cimento e pó de serra.** Campinas. 1995. 128 f. Tese (Doutorado em Construções Rurais) – Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Agrícola, Campinas, SP.

HACHMI, M.; MOSLEMI, A. A. Correlation between wood-cement compatibility wood extratives. **Forest Products Journal**, v. 39, n. 6, p.55-58, 1989.

HILLIS, W. E.; BROWM, A. G. **Eucalyptus for wood production.** Sidney: CSIRO, 1988. 434 p.

HOFSTRAND, A. D.; MOLESMI, A. A.; GARCIA, J. F. Curing characteristics of particles from nine northern Rocky Mountain species mixed with portland cement. **Forest Products Journal**, Madison, v. 34, n. 2, p. 57-61, Feb. 1984.

HON, D. N. S.; BANGI, A. P. Chemical modification of juvenile wood. Part 1. Juvenility and response of southern pine OSB flakes to acetylation. **Forest Products Journal**, Madison, v. 46, n. 7-8, p. 73-78, 1996.

IRLE, M.; SIMPSON, H. Agricultural residues for cement-bonded composites. In: Inorganic-Bonded Wood and Fiber Composite-Materials. v. 3, 1992. p.54-58.

IWAKIRI, S. **A influência de variáveis de processamento sobre propriedades de chapas de partículas de diferentes espécies de Pinus.** 1989. 129 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR.

IWAKIRI, S. **Painéis de madeira**. Curitiba: FUPEF, 1998. 128p. (Série Didática, 1).

IWAKIRI, S.; CUNHA, A. B.; ALBUQUERQUE, C. E. C.; GORNIK, E.; MENDES, L. M. Resíduos de serraria na produção de painéis de madeira aglomerada de Eucalipto. **Scientia Agrária**, Curitiba, v. 1, n. 1-2, p. 23-28, 2000.

IWAKIRI, S.; MENDES, L. M.; SALDANHA, K. L.; SANTOS, J. C. I. Utilização da madeira de eucalipto na produção de chapas de partículas orientadas – OSB. **Revista Cerne**, Lavras, v. 10, n. 1, p. 46-52, jan./jun. 2002.

JAIN, V. K.; SHUKLA, K. S.; KUMAR, S.; SATISH, K. Heat of hydration studies on cellulosic material and cement systems. **Journal of the Timber Development Association of India**. V. 35, n. 2, Abstract, 1989.

KEINERT Jr., S. Chapas de partículas estruturais a partir de *Pinus* e *Eucalyptus* spp. In: SIMPÓSIO BILATERAL BRASIL-FINLÂNDIA SOBRE ATUALIDADES FLORESTAIS, 1., 1988, Curitiba. **Anais...** Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 1988. p. 315-326.

KELLY, M. W. **Critical literature review of relationships between processing parameters and physical properties of particleboard**. Wisconsin: FPL, 1997. 66 p. (U.S. Department of Agriculture).

KOLLMANN, F. F. P. **Tecnología de la madera y sus aplicaciones**. Madrid, Espanha: Gráficas Reunidas, 1950. (Hermosilla, 110).

LABOSKY Jr., P.; YOBB, R. D.; JANOWIAK, J. J.; BLANKENHORN, P. R. Effect of steam pressure refining and resin levels on the properties of UF-bonded red maple MDF. **Forest Products Journal**, v. 43, n. 11/12, p. 82-88, Nov./Dec. 1993.

LATORRACA, J. V. de F. ***Eucalyptus* spp. na produção de painéis de cimento-madeira**. 2000. 191p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR.

LATORRACA, J. V. F.; ALBUQUERQUE, C. E. C. de. Produção de painéis cimento-madeira de eucalipto. In: SEMINÁRIO SÓLIDOS DE EUCALIPTO: avanços científicos e tecnológicos, 1., 2002, Lavras. **Anais...** Lavras: UFLA, 2002.

LEE, A. W. C. Physical and mechanical properties of cement bonded southern pine excelsior board. **Forest Products Journal**, Madison, v. 34, n. 4, p. 30-34, 1984.

LEE, A. W. C.; HONG, Z. Compressive strength of cylindrical samples as an indicator of wood-cement compatibility. **Forest Products Journal**, v. 36, n. 11/12, p. 87-90, 1986.

LEE, A. W. C.; PHILLIPS, D. R.; HSE, C. Y. Effect of cement/wood ratio and wood storage conditions on hydration temperature, hydration time, and compressive strength of wood-cement mixtures. **Wood and Fiber Science**, v. 19, n. 3, p. 262-268, 1987.

LOSCHI, F. A. P. **Potencial de utilização da madeira de Eucalipto na produção de painéis cimento-madeira**. 2007. 65 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

MACIEL, A. da S. **Chapas de partículas aglomeradas de madeira de *Pinus elliottii* ou *Eucalyptus grandis*, em mistura com poliestireno e polietileno tereftalano**. 2001. 115p. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

MALONEY, T. M. **Modern particleboard & dry process fiberboard manufacturing**. San Francisco: M. Freeman , 1977. 672 p.

MALONEY, T. M. The family of wood composite materials. **Forest Products Journal**, Madison, v. 46, n. 2, p. 19-26, 1993.

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

MATOS, J. L. M. **Ciclo de prensa em chapas de partículas estruturais "Waferboards"**. 1988 163p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR.

MENDES, C. J. **Influência da idade em *Pinus taeda* sobre a qualidade da madeira para produção de celulose**. Série Técnica IPEF, Piracicaba, v.9, n.27, p.81-90, 1993.

MENDES, L. M.; ALBUQUERQUE, C. E. C. OSB: aspectos técnicos e econômicos da indústria brasileira de chapas de fibras e de partículas. **Revista da Madeira**, Curitiba, n. 53, p. 14-22, 2000.

MITLIN, L. **Basic raw material for particleboard manufacture.** Particleboard manufacture and application. Kent: Pressmedia Sevenoaks, 1968. p. 9-25.

MOSLEMI, A. A. **Particleboard:** materials. Illinois: Southern Illinois University, 1974. v. 1, 244 p.

MOSLEMI A. A.; GARCIA, J. F.; HOFSTRAND, A. D. Effect of various treatments and additives on wood-Portland cement water systems. **Wood and Fiber science**, Madison, v. 15, n. 2, p. 164-176, 1983.

MURAKAMI, K. et al. Manufacture and properties of three-layered particleboards with oriented face strands of veneers I. **Japan Wood Science**, Tokyo, v. 45, n. 5, p. 395-402, 1999.

OKINO, E. Y. A.; SOUZA, M. R.; SANTANA, M. A. E.; ALVES, M. V. S.; SOUSA, M. E.; TEIXEIRA, D. E. Cementbonded wood particleboard with a mixture of eucalypt and rubberwood. **Cement & Concrete Composites**, p.1-6, 2003. Disponível em: <[www. periodicos.capes.gov.br/sciencedirectonline](http://www.periodicos.capes.gov.br/sciencedirectonline)>. Acesso em: 20 set. 2007.

OLIVEIRA, J.T. da S. **Caracterização da madeira de eucalipto para a construção civil.** 1997. 2v. Tese (Doutorado em Engenharia de Construção Civil e Urbana) – Universidade de São Paulo. Escola Politécnica, São Paulo.

OLORUNNISOLA, A. O.; ADEFISAN, O. O. Trial production and testing of cement-bonded particleboard from rattan furniture wast. **Forest Products Journal**, Madison, v.34, n.1, p.116-124, 2002.

PEDRALLI, G.; TEIXEIRA, M. C. B.; NUNES, Y. R. Estudos sinecológicos sobre a candeia (*Vanillosmopsis erythropappa* Schult. BIP) na estação ecológica do Tripui, Ouro Preto, MG. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 21, n. 2, p. 301-306, 1997.

PIMENTA A. S. Produção de chapas de flocos com adesivos fenólicos à base de alcatrão e creosotode eucalipto. **Revista Árvore**, v. 20, n. 3, p. 343-366, 1996.

SANDERMANN, W.; PREUSSER, H. J.; SCHIENS, W. The effect of wood extractives on the setting of cement-bonded wood materials. **Holzforschung**, v. 14, n. 3, p. 70-77, 1960.

SAVASTANO JUNIOR, H.; DANTAS, F. A. S.; AGOPYAN, V. **Materiais reforçados com fibras: correlação entre a zona de transição fibra matriz e propriedades mecânicas.** São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1994.

SCOLFORO, J. R. S.; OLIVEIRA, A. D. de; DAVIDE, A. C.; MELLO, J. M. de; ACERBI JUNIOR, F. W. **Manejo sustentável da candeia *Eremanthus erythropappus* e *Eremanthus incanus*.** Lavras: UFLA/FAEPE, 2002. 350 p. (Relatório Técnico Científico).

SEMPLE, K. E.; CUNNINGHAM, R. B.; EVANS, P. D. The suitability of five Western Australian mallee eucalypt species for wood-cement composites. **Industrial Crops and Products**, n.16, 2002. Disponível em: <<http://www.periodicos.capes.gov.br/sciencedirectonline>>. Acesso em: 10 out. 2007.

SILVA, J. R.M. **Relações da usinabilidade e aderência do verniz com as propriedades fundamentais do *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden.** 2002. 179 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR.

SIMATUPANG, M. H.; SCHWARZ G. H.; BROKER F. W. Small scale plants for the manufacture of mineral-bonded wood composites. In: EIGHTH WORLD FORESTRY CONGRESS. (1978: Jakarta). **Special paper.** Indonésia, 1978.21p.

SJOSTROM, F. **Wood chemistry fundamentals and application.** New York: Academic, 1993. 223p.

SOBRAL FILHO, M. Influence of wood furnish type on properties of oriented strand panels. **Forest Products Journal**, Madison, v. 31, n. 9, p. 43-52, 1981.

SOUZA, M. R. **Durability of cement-bonded particle board made conventionally and carbon dioxide injection.** 1994. 123 p. Tese (Doctor of Philosophy) - University of Idaho, Idaho.

TRUGILHO, P. F.; LIMA, J. T.; MENDES, L. M. Influência da idade nas características físico-mecânicas e anatômicas da madeira de *Eucalyptus saligna*. **Revista Cerne**, v. 2, n. 1, p. 97-111, 1996.

TRUGILHO, P. F.; LIMA, J. T.; MORI, F. A. **Correlação canônica das características químicas e físicas de clones de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*.** **Revista Cerne** v. 9, n. 1, p. 66-80, 2003.

VIROC. **Características viroc**. Disponível em: <<http://www.viroc.pt>>. Acesso em: 25 out. 2007.

VITAL, B. R. How species and board densities effect properties of exotic hardwood particle board. In: ANNUAL MEETING OF THE FOREST PRODUCTS RESEARCH SOCIETY, 1974, Chicago. **Proceedings...** Chicago: Forest Products Research Society, 1974.

VITAL, B. R.; LEHMANN; BOONE, R. S. How species and board densities affect properties of exotic hardwood particleboards. **Forest Products Journal**, Madison, v. 24, n.12, p. 37–45, 1974.

WATAI, L.T. Painéis estruturais: tendências e desenvolvimento no Brasil. **Revista da Madeira**, v. 5, n. 28, p. 32-34, 1996.

WEATHERWAX, R. C.; TARKOW, H. Effect of wood on setting of Portland cement. **Forest Products Journal**, v. 14, n. 12, p.567-570, 1964.

WIGOSTSKY, V. Alloys and blends home in on demanding desing specs. **Plastic Engineering**, v. 11, p. 25-32, 1988.

WINISTORFER, P. M.; MCFARLAND, D. L.; RICHARD, C. S. Evaluating the performance of ten wax formulations and three application rates on properties of oriented strand board. In: INTERNATIONAL PARTICLEBOARD-COMPOSITE MATERIALS SYMPOSIUM, 36., 1992, Pulmann. **Proceedings...** Pulmann: Washington State University, 1992. p. 236-250.

WU, Q. In-plane dimensional stability of oriented strand panel: effect of processing variables. **Wood and Fiber Science**, Madison, v. 31, n. 1, p. 28–40, 1999.

YOUNGQUIST, J. A.; KARMAKER, A. C. Injection Molding of Polypropylene Reinforced with Short Jut Fibers. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 62, p.1147-1151,1996.

ZHANG, M. et al. Manufacture and properties of high-performance oriented strand board composite using thin strands. **Japan Wood Science**, Tokyo, n. 44, p. 191-197, 1998.

ZHENGtian, L.; MOSLEMI, A. A. Influence of chemical additives on the hydration characteristics of western larch wood-cement-water mixtures. **Forest Products Journal**, v. 37 n. 7, p. 37-43, 1985.

ZHOW, D. A. Estudy of oriented structural board made from hybrid poplar. Physical and mechanical properties of OSB. **Holz Als Roh Und Werkstoff**, Berlin, v. 48, n. 7/8, p. 293-296, 1990.

ZOBEL, B. J.; VAN BUIJTENEN, J. P. **Wood variation**. Berlin: Springer, 1989. 290 p.

ZUCCO, L. L. **Estudo da viabilidade de fabricação de placas de compósitos à base de cimento e casca de arroz**. 1999. 118 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas. 118p.

ANEXOS

ANEXO A	Página
TABELA 1A - Análise de variância para densidade dos painéis cimento-madeira.....	146
TABELA 2A - Análise de variância para a razão de compactação em função dos tipos de madeira e porcentagem de substituição por candeia em painéis cimento-madeira.....	146
TABELA 3A - Análise de desdobramento dos níveis de substituição dentro de cada nível do tipo de madeira utilizada nos painéis cimento-madeira, para a razão de compactação.....	146
TABELA 4A - Análise de variância da absorção de água em duas e 24 horas em painéis cimento-madeira.....	147
TABELA 5A - Análise do desdobramento dos níveis de substituição dentro de cada nível do tipo de madeira para absorção de água nos painéis cimento-madeira em duas e 24 horas	147
TABELA 6A - Análise de variância do inchamento em espessura em duas e 24 horas em painéis cimento-madeira.....	147
TABELA 7A - Análise de variância para o teste de compressão paralela à superfície em painéis cimento-madeira.....	148
TABELA 8A - Análise de variância do teste de flexão estática para módulo de elasticidade (MOE) e módulo de ruptura (MOR) em painéis cimento-madeira.....	148
TABELA 9A - Análise de desdobramento dos níveis de substituição dentro de cada tipo de madeira estudada no teste de flexão estática para MOE e MOR em painéis cimento-madeira.....	148

TABELA 10A - Análise de variância para o teste de ligação interna em painéis cimento-madeira.....	149
TABELA 11A – Análise de variância para a densidade dos painéis aglomerado convencional em função dos teores de adesivo, tipos de madeira e porcentagem de substituição por candeia.....	149
TABELA 12A – Análise de variância para razão de compactação em função dos teores de adesivo, tipos de madeira e porcentagem de substituição por candeia nos painéis aglomerado convencional.....	150
TABELA 13A - Análise de desdobramento dos níveis de substituição dentro de cada combinação de níveis de tipo de madeira e teor de adesivo para a variável razão de compactação nos painéis aglomerado convencional	150
TABELA 14A – Análise de variância para o teste em que as variáveis absorção de água em duas (A.A.2h) e 24 (A.A.24h) horas estão em função dos teores de adesivo, tipos de madeira e porcentagem de substituição por candeia nos painéis aglomerado convencional.....	151
TABELA 15A - Análise de desdobramento dos níveis de substituição dentro de cada combinação de níveis de tipo de madeira e teor de adesivo para a variável absorção de água em duas horas (2h) nos painéis aglomerado convencional.....	151
TABELA 16A - Análise de desdobramento dos níveis de substituição dentro de cada combinação de níveis de tipo de madeira e teor de adesivo para a variável absorção de água em 24 horas (24h) nos painéis aglomerado convencional.....	152
TABELA 17A – Análise de variância para o teste em que as variáveis inchamento em espessura em duas (Incham.2h) e 24 (Incham.24h) horas estavam em função dos teores de adesivo, tipos de madeira e porcentagem de substituição por candeia nos painéis aglomerado convencional.....	152

TABELA 18A - Análise de desdobramento dos níveis de substituição dentro de cada combinação de níveis de tipo de madeira e teor de adesivo para a variável inchamento em espessura em duas horas (2h) nos painéis aglomerado convencional.....	153
TABELA 19A - Análise de desdobramento dos níveis de substituição dentro de cada combinação de níveis de tipo de madeira e teor de adesivo para a variável inchamento em espessura em 24 horas (24h) nos painéis aglomerado convencional.....	153
TABELA 20A - Análise de variância para o teste de ligação interna em painéis aglomerado convencional.....	153
TABELA 21A - Análise de desdobramento dos níveis de substituição para a variável tensão estudada no teste de ligação interna nos painéis aglomerado convencional.....	154
TABELA 22A - Análise de variância para o teste de compressão paralela à superfície nos painéis aglomerado convencional.	154
TABELA 23A - Análise de desdobramento dos níveis de substituição para a variável força estudada no teste de compressão paralela nos painéis aglomerado convencional.....	155
TABELA 24A - Análise de variância para o teste de flexão estática em que as variáveis MOE e MOR foram estudadas nos painéis aglomerado convencional.....	155
TABELA 25A - Análise de desdobramento dos níveis de substituição dentro de cada nível de teor de adesivo estudado para MOE e MOR nos painéis aglomerado convencional.....	156
TABELA 26A – Análise de variância em que a variável densidade dos painéis estava em função das porcentagens de incorporação de PET e presença de parafina nos painéis plástico-madeira.....	156

TABELA 27A – Análise de variância para razão de compactação em função das porcentagens de inclusão de plástico do tipo PET e presença de parafina em painéis plástico-madeira.....	156
TABELA 28A – Análise de variância para teste de absorção em que as variáveis absorção de água em duas (A.A.2h) e em 24 (A.A.24h) horas, estavam em função das porcentagens de incorporação de PET e presença de parafina em painéis plástico-madeira.....	157
TABELA 29A - Análise de desdobramento dos níveis de incorporação de PET para a variável absorção de água em 24h na presença e ausência de parafina nos painéis plástico-madeira.....	157
TABELA 30A – Análise de variância em que as variáveis inchamento em espessura em duas (Incham.2h) e 24 (Incham.24h) horas, estavam em função das porcentagens de incorporação de plástico do tipo PET à madeira e da presença de parafina em painéis plástico-madeira.....	157
TABELA 31A – Análise de variância para teste de compressão em que a variável força, estava em função das porcentagens de incorporação de plástico à madeira e da presença de parafina em painéis plástico-madeira.....	158
ABELA 32A - Análise de desdobramento dos níveis de incorporação de plástico do tipo PET à madeira, na presença e ausência de parafina em painéis plástico-madeira.....	158
TABELA 33A – Análise de variância para teste de flexão em que as variáveis: módulo de elasticidade (MOE) e módulo de ruptura (MOR) estavam em função das porcentagens de incorporação de plástico tipo PET e da presença de parafina nos painéis plástico-madeira.....	158
TABELA 34A – Análise de variância para teste de ligação interna em que a variável tensão, estava em função das porcentagens de incorporação de plástico e da presença de parafina nos painéis plástico-madeira.....	159

TABELA 1A – Análise de variância em que a densidade dos painéis está em função dos tipos de madeira e porcentagens de substituição por candeia, nos painéis cimento-madeira.

Fonte de variação	Gl	Quadrado médio (p-valor)	
		Massa específica	
Tipo de madeira (M)	1	0,0050 (p=0,4095)	
Porcentagem substituição (S)	2	0,0056 (p=0,4634)	
M x S	2	0,0250 (p=0,0500)	
Erro	12	0,0068	

TABELA 2A – Análise de variância para a razão de compactação, em função dos tipos de madeira e porcentagem de substituição por candeia, em painéis cimento-madeira.

Fonte de variação	Gl	Quadrado médio (p-valor)	
		Razão de compactação	
Tipo de madeira (M)	1	0,0003 (p=0,9040)	
Porcentagem substituição (S)	2	0,0992 (p=0,0407)	
M x S	2	0,1074 (p=0,0332)	
Erro	12	0,0234	

TABELA 3A - Análise de desdobramento dos níveis de substituição dentro de cada nível do tipo de madeira utilizada nos painéis cimento-madeira, para a razão de compactação.

Fonte de variação	gl	Quadrado médio (p-valor)	
		Razão de compactação	
Substituição dentro eucalipto	2	0,0126	(p=0,5920)
Substituição dentro pinus	2	0,1940	(p=0,0052)
Erro	12	0,0234	

TABELA 4A – Análise de variância em que as variáveis absorção de água após 2 (A.A.2H) e 24 (A.A.24H) horas estavam em função dos tipos de madeira e porcentagem de substituição por candeia, nos painéis cimento-madeira.

Fonte de variação	Gl	Quadrado médio (p-valor)	
		A.A.2H	A.A.24H
Tipo de madeira (M)	1	20,5440 (p<0,0001)	11,8584 (p<0,0001)
Porcentagem substituição (S)	2	7,7270 (p= 0,0003)	4,4802 (p=0,0003)
M x S	2	12,9704 (p<0,0001)	8,2566 (p<0,0001)
Erro	12	0,1618	0,2507

TABELA 5A - Análise de desdobramento dos níveis de substituição dentro de cada porcentagem para cada tipo de madeira, no teste de absorção de água em 2 horas e 24 horas, nos painéis cimento-madeira.

Fonte de variação	gl	Quadrado médio (p-valor)	
		A.A.2H	A.A.24H
Substituição dentro eucalipto	2	0,3406 (0,4766)	0,4866 (0,1817)
Substituição dentro pinus	2	20,3568 (p<0,0001)	12,2502 (p<0,0001)
Erro	12	0,4380	0,2507

TABELA 6A – Análise de variância, em que as variáveis inchamento em espessura em 2 (Incham.2H) e 24 (Incham.24H) horas estavam em função dos tipos de madeira e porcentagens de substituição por candeia em painéis cimento-madeira.

Fonte de variação	Gl	Quadrado médio (p-valor)	
		Incham.2H	Incham.24H
Tipo de madeira (M)	1	0,0256 (p=0,6974)	0,2090 (p=0,3625)
Porcentagem substituição (S)	2	0,5647 (p=0,0639)	0,1513 (p=0,5401)
M x S	2	0,0236 (p=0,8658)	0,0172 (p=0,9293)
Erro	12	0,1618	0,2333

TABELA 7A – Análise de variância para teste de compressão paralela à superfície dos painéis, em que a variável força estava em função dos tipos de madeira e das três porcentagens de substituição por candeia, nos painéis cimento-madeira.

Fonte de variação	Gl	Quadrado médio (p-valor)
		Força
Tipo de madeira (M)	1	6.460,05 (p=0,0008)
Porcentagem substituição (S)	2	550,89 (p=0,2285)
M x S	2	981,55 (p=0,0889)
Erro	12	329,16

TABELA 8A – Análise de variância para teste de flexão estática, em que as variáveis módulo de elasticidade (MOE) e módulo de ruptura (MOR) estavam em função dos tipos de madeira e porcentagens de substituição por candeia, nos painéis cimento-madeira.

Fonte de variação	Gl	Quadrado médio (p-valor)	
		MOE	MOR
Tipo de madeira (M)	1	306.643.119,3 (p=0,0192)	68,25(p=0,4763)
Porcentagem substituição	2	11.090.029,4 (p=0,7723)	650,84(p=0,0242)
M x S	2	454.759.021,3(p=0,0021)	3.036,12(p=0,0001)
Erro	12	42.005.909,6	126,22

TABELA 9A - Análise de desdobramento dos níveis de substituição dentro de cada nível do tipo de madeira estudada no teste de flexão estática, para MOE e MOR, em painéis cimento-madeira.

Fonte de variação	Gl	Quadrado médio (p-valor)	
		MOE	MOR
Substituição dentro eucalipto	2	184.905.318,2(p=0,0353)	743,62(p=0,0157)
Substituição dentro pinus	2	280.943.732,5(p=0,0106)	2.943,34(p=0,0001)
Erro	12	42.005.909,6	373,40

TABELA 10A – Análise de variância para o teste de ligação interna em que a variável tensão estava em função dos tipos de madeira e porcentagens de substituição por candeia, em painéis cimento-madeira.

Fonte de variação	Gl	Quadrado médio (p-valor)
		Tensão
Tipo de madeira (M)	1	0,0013 (p=0,9559)
Porcentagem substituição (S)	2	0,7141 (p=0,2271)
M x S	2	0,8775 (p=0,1694)
Erro	12	0,4247

TABELA 11A – Análise de variância para a variável densidade dos painéis aglomerado convencional, em função dos teores de adesivo, tipos de madeira e porcentagem de substituição por candeia.

Fonte de variação	Gl	Quadrado médio (p-valor)
		Densidade
Teor de adesivo (R)	1	0,000003 (p= 0,9680)
Tipo de madeira (M)	1	0,000803 (p= 0,4979)
Porcentagem substituição (S)	2	0,000753 (p= 0,6465)
R x M	1	0,000803 (p= 0,4979)
R x S	2	0,000753 (p= 0,6465)
M x S	2	0,003253 (p= 0,1685)
R x M x S	2	0,003253 (p= 0,1685)
Erro	24	0,001694

TABELA 12A – Análise de variância para razão de compactação, em função dos teores de adesivo, tipos de madeira e porcentagem de substituição por candeia nos painéis aglomerado convencional.

Fonte de variação	Gl	Quadrado médio (p-valor)
		RC
Teor de adesivo (R)	1	0,0113 (p=0,1596)
Tipo de madeira (M)	1	0,0205 (p=0,0629)
Porcentagem substituição (S)	2	0,0534 (p=0,0007)
R x M	1	0,0235 (p=0,0477)
R x S	2	0,0042 (p=0,4677)
M x S	2	0,0112 (p=0,1476)
R x M x S	2	0,0398 (p=0,0032)
Erro	24	0,0054

TABELA 13A - Análise de desdobramento dos níveis de substituição dentro de cada combinação de níveis de tipo de madeira e teor de adesivo para a variável razão de compactação nos painéis aglomerado convencional.

Fonte de variação	Gl	Quadrado médio (p-valor)
Substituição dentro eucalipto (8%)	2	0,0215 (p=0,0308)
Substituição dentro eucalipto (12%)	2	0,0001 (p=0,9826)
Substituição dentro pinus (8%)	2	0,0184 (p=0,0480)
Substituição dentro pinus (12%)	2	0,0687 (p=0,0002)
Erro	24	0,0054

TABELA 14A – Análise de variância para o teste em que as variáveis absorção de água em 2s (A.A.2H) e 24 (A.A.24H) horas estão em função dos teores de adesivo, tipos de madeira e porcentagem de substituição por candeia nos painéis aglomerado convencional.

Fonte de variação	Gl	Quadrado médio (p-valor)	
		A.A.2H	A.A.24H
Teor de adesivo (R)	1	1648,9013(p=0,0006)	751,3081(p=0,0095)
Tipo de madeira (M)	1	450,8544 (p=0,0487)	177,7777 (p=0,1832)
Porcentagem substituição	2	547,4155 (p=0,0130)	193,2154 (p=0,1517)
R x M	1	1,9228 (p= 0,8932)	43,9127 (p=0,5023)
R x S	2	65,9101 (p= 0,5409)	36,3560 (p=0,6851)
M x S	2	25,4688 (p= 0,7857)	7,0245 (p=0,9287)
R x M x S	2	389,8959 (p= 0,0388)	383,4646 (p=0,0305)
Erro	24	104,5214	94,6299

TABELA 15A - Análise de desdobramento dos níveis de substituição dentro de cada combinação de níveis de tipo de madeira e teor de adesivo para a variável absorção de água em 2 horas (2h) nos painéis aglomerado convencional.

Fonte de variação	Gl	Quadrado médio (p-valor)
Substituição dentro Eucalipto (8%)	2	71,3620 (p=0,5109)
Substituição dentro Eucalipto (12%)	2	352,0232 (p=0,0498)
Substituição dentro Pinus (8%)	2	588,9984 (p=0,0094)
Substituição dentro Pinus (12%)	2	16,3066 (p=0,8567)
Erro	24	104,5214

TABELA 16A - Análise de desdobramento dos níveis de substituição dentro de cada combinação de níveis de tipo de madeira e teor de adesivo para a variável absorção de água em 24 horas, nos painéis aglomerado convencional.

Fonte de variação	Gl	Quadrado médio (p-valor)
Substituição dentro eucalipto (8%)	2	37,5808 (p=0,6743)
Substituição dentro eucalipto (12%)	2	311,5650 (p=0,0858)
Substituição dentro pinus (8%)	2	254,7007 (p=0,0528)
Substituição dentro pinus (12%)	2	16,2140 (p=0,8437)
Erro	24	94,6299

TABELA 17A – Análise de variância para o teste em que as variáveis inchamento em espessura em 2 (Incham.2h) e 24 (Incham.24h) horas estavam em função dos teores de adesivo, tipos de madeira e porcentagem de substituição por candeia, nos painéis aglomerado convencional.

Fonte de variação	Gl	Quadrado médio (p-valor)	
		Incham.2H	Incham.24H
Teor de adesivo (R)	1	99,4341 (p<0,0001)	148,1900(p<0,0001)
Tipo de madeira (M)	1	3,4163 (p= 0,2760)	1,9413 (p=0,3228)
Porcentagem substituição (S)	2	1,1138 (p= 0,6713)	110,4792(p<0,0001)
R x M	1	1,6171 (p= 0,4506)	0,9088 (p=0,4964)
R x S	2	1,2054 (p= 0,6500)	5,6035 (p=0,0720)
M x S	2	7,4173 (p= 0,0877)	6,6457 (p=0,0468)
R x M x S	2	35,4552 (p= 0,0002)	32,1832 (p<0,0001)
Erro	24	2,7488	1,9049

TABELA 18A - Análise de desdobramento dos níveis de substituição dentro de cada combinação de níveis de tipo de madeira e teor de adesivo para a variável inchamento em espessura em 2 horas, nos painéis aglomerado convencional.

Fonte de variação	gl	Quadrado médio (p-valor)
Substituição dentro eucalipto (8%)	2	27,0896 (p=0,0007)
Substituição dentro eucalipto (12%)	2	4,8248 (p=0,1906)
Substituição dentro pinus (8%)	2	9,5202 (p=0,0462)
Substituição dentro pinus (12%)	2	3,7571 (p=0,2698)
Erro	24	2,7488

TABELA 19A - Análise de desdobramento dos níveis de substituição dentro de cada combinação de níveis de tipo de madeira e teor de adesivo para a variável inchamento em espessura em 24 horas, nos painéis aglomerado convencional.

Fonte de variação	gl	Quadrado médio (p-valor)
Substituição dentro eucalipto (8%)	2	93,9438 (p<0,0001)
Substituição dentro eucalipto (12%)	2	14,9515 (p=0,0023)
Substituição dentro pinus (8%)	2	2,3995 (p=0,2975)
Substituição dentro pinus (12%)	2	43,6168 (p<0,0001)
Erro	24	1,9049

TABELA 20A – Análise de variância para o teste de ligação interna em que a variável tensão estava em função dos teores de adesivo, tipos de madeira e porcentagens de substituição por candeia, em painéis aglomerado convencional.

Fonte de variação	Gl	Quadrado médio (p-valor)
		Tensão
Teor de adesivo (R)	1	7,9346 (p=0,0336)
Tipo de madeira (M)	1	0,3934 (p=0,6203)
Porcentagem substituição (S)	2	2,2708 (p=0,2536)
R x M	1	0,0091 (p=0,9397)
R x S	2	0,6492 (p=0,6646)
M x S	2	0,9110 (p=0,5658)
R x M x S	2	7,4644 (p=0,0179)
Erro	24	1,5621

TABELA 21A - Análise de desdobramento dos níveis de substituição dentro de cada combinação de níveis do tipo de madeira e teor de adesivo para a variável tensão estudada no teste de ligação interna, em painéis aglomerado convencional.

Fonte de variação	gl	Quadrado médio (p-valor)
Substituição dentro eucalipto (8%)	2	0,4375 (p=0,7570)
Substituição dentro eucalipto (12%)	2	8,5548 (p=0,0105)
Substituição dentro pinus (8%)	2	1,7723 (p=0,3338)
Substituição dentro pinus (12%)	2	0,5308 (p=0,7135)
Erro	24	1,5621

TABELA 22A - Análise de variância para teste de compressão em que a variável força estava em função dos teores de adesivo, tipos de madeira e porcentagens de substituição por candeia, nos painéis aglomerado convencional.

Fonte de variação	Gl	Quadrado médio (p-valor)
		Força
Teor de adesivo (R)	1	793,36 (p=0,1041)
Tipo de madeira (M)	1	173,36 (p=0,4374)
Porcentagem substituição (S)	2	1.885,52 (p=0,0046)
R x M	1	702,25 (p=0,1251)
R x S	2	238,52 (p=0,4366)
M x S	2	646,36 (p=0,1194)
R x M x S	2	1.895,25 (p=0,0045)
Erro	24	278,00

TABELA 23A - Análise de desdobramento dos níveis de substituição dentro de cada combinação de níveis do tipo de madeira e teor de adesivo, para a variável força no teste de compressão, nos painéis aglomerado convencional.

Fonte de variação	Gl	Quadrado médio (p-valor)
Substituição dentro eucalipto (8%)	2	264,33 (0,3961)
Substituição dentro eucalipto (12%)	2	1900,77 (0,0043)
Substituição dentro pinus (8%)	2	299,11 (0,3525)
Substituição dentro pinus (12%)	2	2201,44 (0,0022)
Erro	24	278,001

TABELA 24A – Análise de variância para o teste de flexão estática, em que as variáveis MOE e MOR estão em função dos teores de adesivo, tipos de madeira e porcentagem de substituição por candeia, nos painéis aglomerado convencional.

Fonte de variação	Gl	Quadrado médio (p-valor)	
		MOE	MOR
Teor de adesivo (R)	1	1.176.516,2(p=0,5190)	252,59(p=0,4189)
Tipo de madeira (M)	1	289.447,5(p= 0,7483)	47,10(p=0,7256)
Porcentagem substituição	2	15.960.053,4(p=0,0087)	4.006,95(p=0,0005)
R x M	1	90.926,3(p= 0,8571)	60,11(p=0,6918)
R x S	2	15.110.091,4(p=0,0108)	1.940,16(p=0,0133)
M x S	2	2.613.999,5(p= 0,4002)	203,91(p=0,5862)
R x M x S	2	5.839.220,1(p= 0,1412)	672,88(p=0,1866)
Erro	24	2.746.515,7	373,40

TABELA 25A - Análise de desdobramento dos níveis de substituição dentro de cada nível de teor de adesivo estudado para MOE e MOR, nos painéis aglomerado convencional.

Fonte de variação	gl	Quadrado médio (p-valor)	
		MOE	MOR
Substituição dentro 8% adesivo	2	290.850,3 (p=0,9008)	235,82(p=0,5367)
Substituição dentro 12% adesivo	2	30.779.294,5 (p=0,0003)	5711,29(p<0,0001)
Erro	24	2.746.515,7	373,40

TABELA 26A – Análise de variância, em que a variável densidade dos painéis estava em função das porcentagens de incorporação de PET e da presença de parafina nos painéis plástico-madeira.

Fonte de variação	Gl	Quadrado médio (p-valor)
		Massa específica
Porcentagem incorporação (I)	2	0,0081 (p=0,0009)
Parafina (P)	1	0,0002 (p=0,5778)
I x P	2	0,0005 (p=0,4534)
Erro	12	0,0006

TABELA 27A – Análise de variância para razão de compactação, em função das porcentagens de inclusão de plástico do tipo PET e da presença de parafina em painéis plástico-madeira.

Fonte de variação	Gl	Quadrado médio (p-valor)
		RC
Porcentagem incorporação (I)	2	0,02657 (p=0,0007)
Parafina (P)	1	0,00013 (p=0,7906)
I x P	2	0,00167 (p=0,4369)
Erro	12	0,00188

TABELA 28A – Análise de variância para teste de absorção, em que as variáveis absorção de água em 2 (A.A.2h) e em 24 (A.A.24h) horas estavam em função das porcentagens de incorporação de PET e presença de parafina em painéis plástico-madeira.

Fonte de variação	Gl	Quadrado médio (p-valor)	
		A.A.2H	A.A.24H
Porcentagem de incorporação	2	323,0250 (p=0,0180)	100,2944 (p=0,0147)
Parafina (P)	1	1102,9338 (p=0,0008)	452,3029 (p=0,0002)
I x P	2	67,9937 (p=0,3339)	100,2700 (p=0,0147)
Erro	12	56,4974	16,3769

TABELA 29A - Análise de desdobramento dos níveis de incorporação de PET para a variável absorção de água em 24h, na presença e na ausência de parafina nos painéis plástico-madeira.

Fonte de variação	Gl	Absorção de água em 24 horas
		Quadrado médio (p-valor)
Incorporação na presença de parafina	2	0,2166 (p=0,9873)
Incorporação na ausência de parafina	2	200,3478 (p=0,0012)
Erro	12	16,3769

TABELA 30A – Análise de variância, em que as variáveis inchamento em espessura em 2 (Incham.2h) e 24 (Incham.24h) horas estavam em função das porcentagens de incorporação de plástico do tipo PET à madeira e da presença de parafina.

Fonte de variação	Gl	Quadrado médio (p-valor)	
		Incham.2H	Incham.24H
Porcentagem incorporação (I)	2	5,9287 (p=0,3003)	1,4600 (p=0,6324)
Parafina (P)	1	30,6022 (p=0,0223)	14,7968 (p=0,0484)
I x P	2	2,8646 (p=0,5426)	11,1434 (p=0,0584)
Erro	12	4,4511	3,0666

TABELA 31A – Análise de variância para teste de compressão, em que a variável força estava em função das porcentagens de incorporação de plástico à madeira e da presença de parafina.

Fonte de variação	Gl	Quadrado médio (p-valor)	
		Força	
Porcentagem incorporação (I)	2	2799,1979 (p=0,0002)	
Parafina (P)	1	108,7812 (p=0,4046)	
I x P	2	698,3229 (p=0,0296)	
Erro	12	145,7881	

TABELA 32A - Análise de desdobramento dos níveis de incorporação de plástico do tipo PET à madeira, na presença e na ausência de parafina.

Fonte de variação	Gl	Força	
		Quadrado médio (p-valor)	
Incorporação na presença de parafina	2	3031,7500 (p=0,0001)	
Incorporação na ausência de parafina	2	465,7708 (p=0,0746)	
Erro	12	145,7881	

TABELA 33A – Análise de variância para teste de flexão, em que as variáveis módulo de elasticidade (MOE) e módulo de ruptura (MOR) estavam em função das porcentagens de incorporação de plástico tipo PET e da presença de parafina.

Fonte de variação	Gl	Quadrado médio (p-valor)	
		MOE	MOR
Porcentagem incorporação	2	34.090.348,4(p=0,0048)	495,2046(p=0,3117)
Parafina (P)	1	2.954.548,2 (p= 0,4040)	742,5373 (p=0,1901)
S x P	2	1.522.448,6 (p= 0,6882)	774,0974 (p=0,1765)
Erro	12	3.948.574,4	384,8501

TABELA 34A – Análise de variância para teste de ligação interna, em que a variável tensão estava em função das porcentagens de incorporação de plástico e da presença de parafina.

Fonte de variação	Gl	Quadrado médio (p-valor)
		Tensão
Porcentagem incorporação (I)	2	37,5573 (p=0,0001)
Parafina (P)	1	0,2423 (p=0,6699)
S x P	2	0,4347 (p=0,7167)
Erro	12	1,2691