

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL**

**DESEMPENHO DE DUAS ESPÉCIES FLORESTAIS EM
COMBINAÇÃO COM CASCA DE ARROZ NA
FABRICAÇÃO DE PAINÉIS CIMENTO-MADEIRA**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Daniela Silva Lilge

**Santa Maria, RS, Brasil
2009**

**DESEMPENHO DE DUAS ESPÉCIES FLORESTAIS EM
COMBINAÇÃO COM CASCA DE ARROZ NA FABRICAÇÃO DE
PAINÉIS CIMENTO-MADEIRA**

por

Daniela Silva Lilge

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Área de Concentração em Tecnologia de Produtos Florestais, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Florestal.**

Orientador: Prof. Clovis Roberto Haselein

Santa Maria, RS, Brasil

2009

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Rurais
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal**

A comissão examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado

**DESEMPENHO DE DUAS ESPÉCIES FLORESTAIS EM COMBINAÇÃO
COM CASCA DE ARROZ NA FABRICAÇÃO DE PAINÉIS CIMENTO-
MADEIRA**

elaborada por
Daniela Silva Lilge

como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Engenharia Florestal

COMISSÃO EXAMINADORA:

Clovis Roberto Haselein, Dr.
(Presidente/Orientador)

Darci Alberto Gatto, Dr. (UFPEL)

Leonardo da Silva Oliveira, Dr. (UFPEL)

Santa Maria, 28 de agosto de 2009.

A minha mãe, *Amelia Silva Lilge*,
e a meu pai, *Leopoldo Lilge Filho* (in memoriam),
meus grandes exemplos de integridade, amor e luta,
dedico este trabalho.

Agradecimentos

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal da Universidade Federal de Santa Maria pela oportunidade.

Ao meu orientador, Professor Clovis Roberto Haselein, pelos conhecimentos transmitidos, pela oportunidade de desenvolvimento das habilidades docentes, pelo apoio, pela amizade e pela paciência.

Ao Professor Élio José Santini pelo apoio e constante disponibilidade.

À Todesmade e ao Engenho Guidolin, pela disponibilização de material essencial para o desenvolvimento desta pesquisa.

Ao CNPQ pela concessão da bolsa de estudos.

Ao funcionário Tarso Michelotti por todo auxílio, apoio e criatividade na solução de problemas.

Às funcionárias Cerlene Machado e Fabiana Ratzlaff pelo apoio técnico.

Ao funcionário Nelson Castro, pelo auxílio no desenvolvimento dos trabalhos.

Aos meus colegas, em especial à Karina Modes e Ediane Buligon, pela cumplicidade, apoio e amizade, à Dalva Terezinha Pauleski, pelo apoio e amizade e a Wagner Gugel Machado pelo auxílio e amizade.

Ao acadêmico Rafael Azambuja pela indispensável ajuda prestada no desenvolvimento deste trabalho.

A Rafael Gularte pela colaboração durante a fase de testes dos painéis e pela amizade.

À Fabiana Ratzlaff novamente, pela amizade sincera, pela presença constante e pelo apoio incondicional.

Ao meu amigo/irmão Dian Francisco de Oliveira por todo amor, amizade, auxílio, disponibilidade e companheirismo.

A Guilherme de Oliveira pelo carinho, apoio, constância e equilíbrio a mim proporcionados durante a elaboração desta dissertação.

Ao meu pai, Leopoldo Lilge Filho (in memoriam), por todo amor, por representar a estrutura de minha vida e por continuar ao meu lado, mesmo distante.

À minha mãe, Amelia Silva Lilge, pelo amor, pela grande amizade, pelo apoio, pela tolerância e paciência infindas, e pela renúncia que me permitiram concluir este trabalho.

A todos meus amigos e familiares que trouxeram amor, luz e paz para minha vida, fatores imprescindíveis para meu crescimento pessoal.

Agradeço.

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal
Universidade Federal de Santa Maria

DESEMPENHO DE DUAS ESPÉCIES FLORESTAIS EM COMBINAÇÃO COM CASCA DE ARROZ NA FABRICAÇÃO DE PAINÉIS CIMENTO- MADEIRA

AUTORA: DANIELA SILVA LILGE

ORIENTADOR: PROF CLOVIS ROBERTO HASELEIN

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 28 de agosto de 2009.

O presente trabalho teve por objetivo avaliar o desempenho de painéis compostos de cimento e diferentes proporções de duas espécies de madeira combinadas com casca de arroz. Para tanto foram aplicados tratamentos onde os níveis de partículas de madeira utilizados foram de 0, 25, 50, 75 e 100%, sendo que a proporção de cascas de arroz foi de 100, 75, 50, 25 e 0%, respectivamente. As espécies madeireiras utilizadas no estudo foram *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden e *Pinus elliottii* Engelm. Para determinar a qualidade das chapas foram avaliadas as propriedades físicas (massa específica; teor de umidade; absorção de água e inchamento em espessura após 2 e 24 horas de imersão) e a resistência mecânica (flexão estática; ligação interna; e resistência ao arrancamento de parafusos). Os painéis produzidos com partículas de pinus apresentaram piores características físicas. De forma que seu desempenho nos testes de absorção e inchamento em espessura para imersão de 24 horas foi inferior se comparado aos painéis fabricados à base de partículas de eucalipto. A adição de cascas de arroz, contudo, melhorou as propriedades físicas dos painéis fabricados tanto com partículas de pinus, quanto com partículas de eucalipto. Quanto maior a quantidade de cascas de arroz adicionada à chapa, menores foram as taxas de absorção de água e inchamento em espessura. As propriedades mecânicas dos painéis foram afetadas positivamente com a proporção de partículas madeireiras. Sendo que o pinus apresentou melhores resultados para módulo de elasticidade e ligação interna; o eucalipto obteve melhor performance para o módulo de ruptura. No que se refere ao comportamento dos painéis em relação à propriedade de resistência ao arrancamento de parafusos, as partículas de pinus geraram chapas mais resistentes, com exceção do tratamento de 100% de partículas de pinus, que apresentou valores inferiores ao eucalipto. A adição de cascas de arroz representou perda de resistência mecânica para todos os tratamentos em todas as propriedades avaliadas.

Palavras-chave: painéis de cimento-madeira; casca de arroz; partículas de madeira; compósitos.

ABSTRACT

Master's Thesis

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal
Universidade Federal de Santa Maria**PERFORMANCE OF TWO SPECIES IN COMBINATION WITH RICE
HUSK IN THE MANUFACTURE OF CEMENT-WOOD PANELS**

AUTHOR: DANIELA SILVA LILGE

ADVISER: PROF CLOVIS ROBERTO HASELEIN

Defense date and place: Santa Maria, August 28th 2009.

The present paper had as objective the evaluation of performance of panels composed by cement and different proportions of two combined wooden species with rice husk. There, were applied treatments where the levels of wooden residues were 0, 25, 50, 75 and 100%, while the proportion of rice husk was 100, 75, 50, 25 and 0%, respectively. The wood species in the study were *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden and *Pinus elliottii* Engelm. Physical properties (specific mass, humidity drift, water absorption and swelling thickness at 2 and 24 hours) and mechanical resistance (static flexion; internal connection; and screw with drawell). The panels produced with pine particles presented worse physical characteristics; water absorption and thickness swelling was larger comparing to the panels manufactured with eucalyptus residues. The addition of rice husk, however, improved the physical properties of the manufactured panels with particles of both species. Increasing the amount of rice husks, showed less absorption of water and thickness swelling. The mechanical properties of the panels were affected positively with the addition of larger amounts of wood particles; pine presented better results for internal bond and modulus of elasticity. While presented better results in the property of modulus of rupture. Related to the behavior of the panels in respect to the property of resistance to screw with drawell, the particles of pine generated more resistant boards, with exception of the treatment of 100% of particles of pine that showed inferior values than eucalypt. The addition of rice husks represented loss of mechanical resistance for all the treatments in all the evaluated properties.

Keywords: cement-wood panels; rice husk; wood particles; composite

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Teores dos componentes do Cimento Portland de alta resistência inicial.....	20
TABELA 2 - Tratamentos utilizados no experimento.....	33
TABELA 3 - Planilha utilizada no cálculo dos componentes dos painéis.....	34
TABELA 4 - Quantidade de biomassa para os tratamentos.....	34
TABELA 5 - Valores médios de massa específica e teor de umidade em função dos tratamentos.....	44
TABELA 6 - Valores médios de absorção d'água encontrados para os diferentes tratamentos.....	46
TABELA 7 - Valores médios de inchamento em espessura encontrados para os diferentes tratamentos.....	50
TABELA 8 - Valores médios de módulo de elasticidade (MOE) e módulo de ruptura (MOR) encontrados para os diferentes tratamentos.....	54
TABELA 9 - Valores médios de resistência ao arrancamento de parafusos (AP) encontrados para os diferentes tratamentos.....	58
TABELA 10 - Valores médios de resistência à tração perpendicular (LI) encontrados para os diferentes tratamentos.....	60
TABELA 11 - Valores de Absorção verificados nos ensaios físicos.....	71
TABELA 12 - Valores de Inchamento em espessura verificados nos ensaios físicos.....	73
TABELA 13 - Valores de MOE e MOR verificados nos ensaios mecânicos.....	76
TABELA 14 - Valores de resistência ao Arrancamento de parafusos verificados nos ensaios mecânicos.....	79
TABELA 15 - Valores de Ligação interna verificados nos ensaios mecânicos.....	82
TABELA 16 - Análise de variância da regressão para Absorção – 2h – eucalipto.....	87
TABELA 17 - Análise de variância da regressão para Absorção – 2h – pinus.....	87
TABELA 18 - Análise de variância da regressão para Absorção – 24h – eucalipto.....	87
TABELA 19 - Análise de variância da regressão para Absorção – 24h – pinus.....	87
TABELA 20 - Análise de variância da regressão para Inchamento em espessura – 2h – eucalipto.....	87
TABELA 21 - Análise de variância da regressão para Inchamento em espessura – 2h – pinus.....	88
TABELA 22 - Análise de variância da regressão para Inchamento em espessura – 24h – eucalipto.....	88
TABELA 23 - Análise de variância da regressão para Inchamento em espessura – 24h – pinus.....	88

TABELA 24 - Análise de variância da regressão para MOE – eucalipto.....	88
TABELA 25 - Análise de variância da regressão para MOE – pinus.....	88
TABELA 26 - Análise de variância da regressão para MOR – eucalipto.....	88
TABELA 27 - Análise de variância da regressão para MOR – pinus.....	89
TABELA 28 - Análise de variância da regressão para Arrancamento de parafusos – eucalipto.....	89
TABELA 29 - Análise de variância da regressão para Arrancamento de parafusos – pinus.....	89
TABELA 30 - Análise de variância da regressão para Ligação interna – eucalipto.....	89
TABELA 31 - Análise de variância da regressão para Ligação interna – pinus.....	89

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Benefícios dos constituintes na fabricação dos compósitos cimento-madeira.....	18
FIGURA 2 - Partículas de <i>Eucalyptus grandis</i> processado.....	29
FIGURA 3 - Partículas de <i>Pinus elliotti</i> processado.....	30
FIGURA 4 - Casca de arroz após preparo.....	31
FIGURA 5 - Prensa hidráulica de laboratório.....	36
FIGURA 6 - Modelo de corte dos painéis para confecção dos corpos de prova.....	38
FIGURA 7 - Máquina universal de ensaios.....	39
FIGURA 8 - Teste de arrancamento de parafusos.....	41
FIGURA 9 - Teste de tração perpendicular à superfície do painel.....	42
FIGURA 10 - Valores de absorção d'água em 2 horas (Ab – 2 hs) observados e ajustados em função da porcentagem de partículas de eucalipto e pinus.....	47
FIGURA 11 - Comparação entre os valores de absorção d'água em 2 horas (Ab – 2 hs) observados e ajustados em função da porcentagem de partículas de eucalipto e pinus.....	47
FIGURA 12 - Valores de absorção d'água em 24 horas (Ab – 24 hs) observados e ajustados em função da porcentagem de partículas de eucalipto e pinus.....	48
FIGURA 13 - Comparação entre os valores de absorção d'água em 24 horas (Ab – 24 hs) observados e ajustados em função da porcentagem de partículas de eucalipto e pinus.....	48
FIGURA 14 - Valores de inchamento em espessura em 2 horas (IE 2hs) observados e ajustados em função da porcentagem de partículas de eucalipto e pinus.....	50
FIGURA 15 - Comparação entre os valores de inchamento em espessura em 2 horas (IE 2hs) observados e ajustados em função da porcentagem de partículas de eucalipto e pinus.....	51
FIGURA 16 - Valores de inchamento em espessura em 24 horas (IE 24 hs) observados e ajustados em função da porcentagem de partículas de eucalipto e pinus.....	52
FIGURA 17 - Comparação entre os valores de inchamento em espessura em 24 horas (IE 24 hs) observados e ajustados em função da porcentagem de partículas de eucalipto e pinus.....	52
FIGURA 18 - Valores de MOE observados e ajustados em função da porcentagem de partículas de eucalipto e pinus.....	55

FIGURA 19 - Comparação entre os valores de MOE observados e ajustados em função da porcentagem de partículas de eucalipto e pinus.....	56
FIGURA 20 - Valores de MOR observados e ajustados em função da porcentagem de partículas de eucalipto e pinus.....	56
FIGURA 21 - Comparação entre os valores de MOR observados e ajustados em função da porcentagem de partículas de eucalipto e pinus.....	57
FIGURA 22 - Valores de resistência ao arrancamento de parafusos (AP) observados e ajustados em função da porcentagem de partículas de eucalipto e pinus.....	59
FIGURA 23 - Comparação entre os valores resistência ao arrancamento de parafusos (AP) observados e ajustados em função da porcentagem de partículas de eucalipto e pinus.....	59
FIGURA 24 - Valores de resistência à tração perpendicular (LI) observados e ajustados em função da porcentagem de partículas de eucalipto e pinus.....	61
FIGURA 25 - Comparação entre os valores resistência à tração perpendicular (LI) observados e ajustados em função da porcentagem de partículas de eucalipto e pinus.....	62

LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1 - Tabelas com os valores reais obtidos nos ensaios físicos.....	70
ANEXO 2 - Tabelas com os valores reais obtidos nos ensaios mecânicos.....	75
ANEXO 3 - Análises de variância das regressões.....	86

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	16
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	18
2.1 Painéis cimento-resíduos vegetais e seus componentes.....	18
2.1.1 Cimento Portland.....	20
2.1.2 Madeira.....	22
2.1.3 Incompatibilidade química entre madeira e cimento.....	23
2.1.4 Incompatibilidade química entre <i>Pinus</i> e cimento.....	24
2.1.5 Incompatibilidade química entre <i>Eucalyptus</i> e cimento.....	24
2.1.6 Casca de arroz.....	25
2.1.7 Incompatibilidade química entre casca de arroz e cimento.....	25
2.1.8 Métodos de preparo da biomassa vegetal.....	26
2.1.9 Aditivos.....	27
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	29
3.1 Matéria-prima e seu preparo.....	29
3.1.1 Partículas de <i>Eucalyptus grandis</i> W. Hill ex Maiden.....	29
3.1.2 Partículas de <i>Pinus elliottii</i> Engelm.....	30
3.1.3 Casca de arroz.....	31
3.1.4 Cimento.....	32
3.1.5 Aditivo.....	33
3.1.6 Água.....	33
3.2 Delineamento experimental.....	33
3.3 Processo de produção.....	34

3.3.1 Planilha de cálculo dos componentes dos painéis.....	34
3.3.2 Manufatura dos painéis.....	36
3.3.3 Prensagem.....	37
3.3.4 Climatização.....	37
3.3.5 Obtenção dos corpos-de-prova.....	38
3.4 Testes Mecânicos.....	39
3.4.1 Flexão estática (MOE e MOR).....	40
3.4.2 Arrancamento de parafusos.....	42
3.4.3 Tração perpendicular à superfície do painel.....	43
3.5 Testes físicos.....	43
3.5.1 Inchamento em espessura e absorção de água.....	43
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	45
4.1 Propriedades físicas dos painéis de cimento-madeira-casca de arroz.....	45
4.1.1 Massa específica.....	45
4.1.2 Absorção de água.....	46
4.1.3 Inchamento em espessura.....	49
4.2 Propriedades mecânicas dos painéis de cimento-madeira-casca de arroz.....	54
4.2.1 Resistência à flexão estática (MOE e MOR).....	54
4.2.2 Arrancamento de parafusos.....	58
4.2.3 Tração perpendicular à superfície do painel (ligação interna).....	60
5 CONCLUSÕES.....	64
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	65
ANEXOS.....	69

1 INTRODUÇÃO

A madeira, por ser um recurso natural renovável, de versátil utilização e baixo consumo energético em sua produção, torna-se um material cada vez mais requisitado em uma época em que a preocupação com o ambiente é cada vez maior.

A maior utilização da madeira como elemento construtivo colabora com a redução das emissões de carbono, visto que esse material imobiliza carbono em sua massa até que sofra queima ou biodeterioração. Além disso, florestas plantadas capturam e imobilizam o carbono, realizando um balanceamento com as emissões de CO₂. Uma vez que a concentração dessa molécula tem aumentado e vem contribuindo com o aquecimento global, essa característica da madeira assume grande importância.

Além disso, a utilização desses resíduos agro-industriais na produção de compósitos de cimento (BERALDO, 1994) poderia resultar em benefício ambiental pela redução do uso de recursos minerais, como a areia, cuja exploração agride intensamente o ambiente.

Embora os primeiros produtos compostos de madeira e cimento tenham surgido em 1914, na Alemanha, a utilização desse composto mineral associado à madeira na fabricação de painéis em larga escala ocorreu somente em 1976, nesse mesmo país. Atualmente os painéis de cimento-madeira são amplamente utilizados, além de no seu país de origem, na Suíça e no Japão (LATORRACA, 1996).

As propriedades apresentadas por esse tipo de painel, tais como maior resistência ao ataque de insetos e ao apodrecimento, baixa combustibilidade, fácil trabalhabilidade, menor exigência em relação à matéria-prima (madeira), entre outras, são fortes razões para que esse compósito tenha uma boa aceitação no mercado brasileiro, onde sua produção é ainda incipiente.

Esse material também pode ser encarado como fonte para substituição dos painéis de fibrocimento derivados do asbesto (amianto), que vêm sendo banidos gradativamente em vários países do mundo. A toxicidade das chapas de cimento-amianto já foi provada e demonstrada e, mesmo no Brasil, sua utilização está sendo restringida e até proibida.

O mercado nacional consome mais de dois milhões de toneladas/ano de fibrocimentos, segundo Savastano et al. (2002). A ausência do asbesto nas chapas de fibrocimento poderia ser sanada pelo uso de outro material fibroso. Pesquisas para adequar a madeira às exigências desse produto têm gerado resultados satisfatórios (PIMENTEL, 2000).

Projetos de prédios públicos (escolas, postos de saúde, etc), de casas populares e construções rurais podem ser implementados com o uso de painéis cimento-madeira. Esses compósitos auxiliam na industrialização da construção civil, visto que se prestam à construção de paredes, pisos e coberturas de forma modulada, em processos simples de construção.

A inserção de resíduos de madeira na composição de painéis de cimento-casca de arroz agrega as características de resistência da madeira ao compósito. As partículas de madeira, de forma geral, possuem maior resistência se comparadas à casca de arroz, possuindo maior flexibilidade e resistência à ruptura.

O presente trabalho teve por objetivo avaliar o desempenho de painéis compostos de cimento e diferentes proporções de duas espécies de madeira combinadas com casca de arroz. E como objetivos específicos teve:

- Determinar as propriedades físicas e mecânicas de painéis compostos de cimento e diferentes proporções de duas espécies de madeira e casca de arroz.
- Determinar o efeito das diferentes espécies de madeira, das diferentes proporções de madeira e casca de arroz, assim como a interação desses fatores sobre as propriedades mecânicas (módulo de ruptura e de elasticidade e adesão interna) e físicas (inchamento em espessura e absorção de água) dos painéis.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Painéis cimento-resíduos vegetais e seus componentes

Youngquist (1999) define como compósitos de madeira e produtos inorgânicos os produtos ou chapas compostas por 10 a 70% em peso de fibras de madeira e 30 a 90% de produto inorgânico. As propriedades adequadas desse tipo de compósito somente são alcançadas quando as partículas de madeira são completamente envolvidas com o material aglomerante, resultando em um produto final com maior homogeneidade.

Segundo o mesmo autor, as principais categorias de aglomerante inorgânico são: o gesso, o cimento de magnésio e o cimento Portland. As duas primeiras categorias são suscetíveis à umidade o que restringe suas aplicações a ambientes interiores. Contudo, os compósitos que têm como aglomerante o cimento Portland apresentam maior durabilidade se comparados à madeira e sua utilização abrange tanto usos interiores quanto exteriores nas construções (MATOSKI et al., 2003).

De acordo com Zucco (1999), a utilização de resíduos vegetais na obtenção de produtos para a construção é uma das ferramentas mais úteis para o controle e minimização dos problemas ambientais. A utilização de resíduos agro-industriais (como a casca de arroz e resíduos de serrarias) traz somente benefícios, pois evita a queima indiscriminada do material ou sua deposição em locais e em condições inadequadas.

Freire (1991) relatou que a presença de fibras em matrizes cimentantes introduz modificações ao sistema, tais como: acréscimo de resistência à tração (principalmente fibras de alto módulo de elasticidade), acréscimo na resistência ao impacto (caso de fibras de baixo módulo de elasticidade), controle da fissuração e mudança do comportamento na ruptura (devido à ductilidade conferida ao compósito).

Os painéis compósitos de cimento-madeira reúnem propriedades desejáveis dos dois materiais, gerando um produto de qualidade superior (LIPINSKI, 1994). A Figura 1 caracteriza a referida mescla de propriedades.

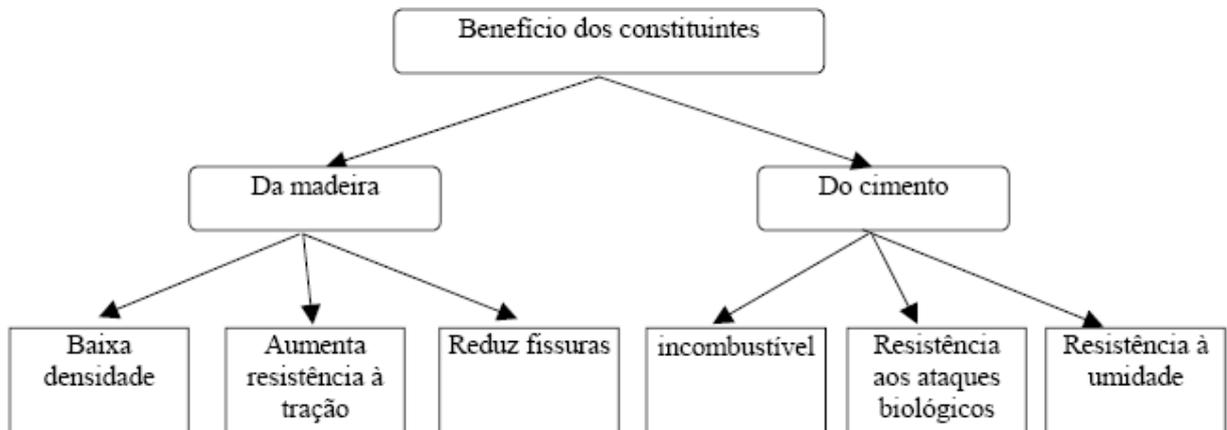


Figura 1 - Benefícios dos constituintes na fabricação dos compósitos cimento-madeira.
(Fonte: LIPINSKI, 1994).

Coutts e Ni (1995) avaliaram a resistência à flexão e à resistência à propagação de fissuras em compósitos de cimento e madeira de *Pinus radiata*, bem como a relação da resistência mecânica com o aumento do volume de fibras. Foram utilizadas fibras com comprimentos entre 0,3 mm e 3,13 mm. Os resultados indicaram um aumento na resistência à flexão com a ampliação no comprimento da fibra. Contudo, ocorreu uma diminuição da resistência com o aumento no volume de fibras. Também foi constatado acréscimo na resistência à propagação de fissuras com o aumento no comprimento das fibras, ou seja, foi necessária maior energia para arrancar as fibras da matriz, garantindo a elas melhor capacidade de absorver impactos.

Há, porém, algumas limitações no processo de fabricação desses painéis. A principal limitação está no fato de algumas espécies apresentarem incompatibilidade, devido à presença de algumas substâncias químicas (carboidratos e taninos) na madeira. Essas substâncias retardam o endurecimento do cimento, o que prejudica as propriedades finais dos painéis (SIMATUPANG et al, 1978; MOSLEMI; AHN, 1980).

2.1.1 Cimento Portland

Cimento, na acepção geral da palavra, pode ser considerado como todo material com propriedades adesivas e coesivas capaz de unir fragmentos de minerais entre si de modo a formar um todo compacto (BLEZARD, 2001).

Segundo a ABCP (2008), o cimento pode ser definido como um pó fino, com propriedades aglomerantes, aglutinantes ou ligantes, que endurece sob a ação da água. Na forma de concreto, torna-se uma pedra artificial, que pode ganhar formas e volumes, de acordo com as necessidades de cada obra. Graças a essas características, o concreto é o segundo material mais consumido pela humanidade, superado apenas pela água.

O cimento Portland é composto de clínquer e de adições. O clínquer é o principal componente e está presente em todos os tipos de cimento Portland. As adições podem variar de um tipo de cimento para outro e são principalmente elas que definem os diferentes tipos de cimento (ABCP, 2002).

De acordo com a ABCP (2002), o clínquer tem como matérias-primas o calcário e a argila. A rocha calcária é primeiramente britada, depois moída e em seguida misturada, em proporções adequadas, com argila moída. A mistura formada atravessa então um forno giratório de grande diâmetro e comprimento, cuja temperatura interna chega a alcançar 1.450°C. O novo material resultante da transformação gerada pelo calor é denominado clínquer e se apresenta sob a forma de pelotas. Na saída do forno, o clínquer, ainda incandescente, é bruscamente resfriado para posteriormente ser finamente moído, transformando-se em pó.

O clínquer em pó tem a peculiaridade de desenvolver uma reação química em presença de água, na qual ele, primeiramente, torna-se pastoso e, em seguida, endurece, adquirindo elevada resistência e durabilidade. Essa característica adquirida pelo clínquer, que faz dele um ligante hidráulico muito resistente, é sua propriedade mais importante (ABCP, 2002).

As adições, segundo ABCP (2002), são outras matérias-primas que, misturadas ao clínquer na fase de moagem, permitem a fabricação dos diversos tipos de cimento

Portland hoje disponíveis no mercado. Essas outras matérias-primas são o gesso, as escórias de alto-forno, os materiais pozolânicos e os materiais carbonáticos.

De acordo com a NBR 5733 (ABNT, 1991), o Cimento Portland V-ARI é um aglomerante hidráulico que atende às exigências de alta resistência inicial, obtido pela moagem de clínquer Portland, constituído em sua maior parte de silicatos de cálcio hidráulicos, ao qual se adiciona, durante a operação, a quantidade necessária de uma ou mais formas de sulfato de cálcio.

A designação ARI representa o mínimo de resistência à compressão aos 7 dias de idade, ou seja, 34,0 MPa. Esse nível de resistência atingido pelo CP V-ARI nesse intervalo de tempo, é bem superior ao do cimento comum, que só atinge essa resistência aos 28 dias de idade.

Há a possibilidade de adição ou não de materiais carbonáticos, desde que observados os limites (Tabela 1). A composição desse tipo de cimento deve estar fixada nos limites demonstrados na Tabela 1.

Tabela 1 - Teores dos componentes do Cimento Portland de alta resistência inicial

Sigla	Componentes (% em massa)	
CP V-ARI	Clínquer + sulfatos de cálcio	Material carbonático
	100 – 95	0 - 5

Fonte: NBR 5733 (ABNT, 1991), adaptada.

A designação CP V-ARI RS identifica esse mesmo tipo de Cimento Portland com resistência superior à ação de sulfatos.

Latorraca (2000), variando o tipo de cimento, espécies de madeira do gênero *Eucalyptus* e a granulometria de partículas do compósito cimento-madeira, concluiu que, dentro das características da temperatura máxima de hidratação, tempo para atingir máxima temperatura e resistência à compressão de corpos-de-prova cilíndricos, o cimento Portland ARI foi o mais adequado para o uso em chapas de cimento-madeira.

2.1.2 Madeira

A madeira é material de natureza complexa, multicomponente, higroscópico, anisotrópico, heterogêneo, descontínuo, fibroso, poroso, biodegradável e renovável. A estrutura fibrosa da madeira é a origem de suas características anisotrópicas, pois a madeira possui, para esforços aplicados na direção das fibras, elevada resistência à tração e comportamento pobre para esforços aplicados transversalmente (MATOSKI, 2005).

De acordo com Alberto et al (2000), 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 à quantidade de extrativos que podem estar presentes na madeira.

Segundo Simatupang et al (1978), a madeira, como agregado em compostos de cimento, deve atender a algumas propriedades específicas para que seu uso se efetue com sucesso. As propriedades importantes são: densidade, conteúdo de umidade, usinabilidade e conteúdo de sílica.

Iwakiri et al. (2000) salienta que a densidade da madeira para utilização nesses compósitos deve ser de média a baixa, para assegurar a razão de compactação da chapa dentro de níveis adequados para a densificação e consolidação do material. Simatupang et al (1978) afirmam que a massa específica da madeira deve estar aproximadamente entre 0,3 e 0,8 g/cm³, porque, se a madeira for exageradamente leve, as partículas não apresentarão a resistência adequada.

De forma geral, pode-se dizer que as espécies que vêm sendo utilizadas para fabricação de compensados e aglomerados apresentam propriedades físicas adequadas para serem utilizadas na fabricação de painéis cimento-madeira (SIMATUPANG et al, 1978).

As dimensões das partículas utilizadas exercem influência marcante sobre as propriedades das chapas, sobretudo quando se referem à flexão. A dimensão ótima das partículas deve estar entre 2 a 20 mm de comprimento e 0,2 a 2,5 mm de largura por 0,3 a 0,9 mm de espessura (IWAKIRI et al., 2000).

De acordo com Matoski (2005), o consumo de cimento também é afetado pelo tamanho das partículas, de forma que quanto maior a superfície específica das partículas maior a quantidade de pasta de cimento para envolvê-las e, conseqüentemente, maior a quantidade de água para essa pasta.

2.1.3 Incompatibilidade química entre madeira e cimento

Os principais constituintes da madeira são: celulose, hemicelulose e lignina. Além deles a madeira contém numerosas substâncias naturais, tais como taninos e resinas. A espécie, a origem e a idade podem influenciar a composição química da madeira (PIMIENTA et al, 1994).

Segundo o mesmo autor, a celulose, dada sua característica cristalina, provavelmente não reaja 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.

De acordo com Pimienta et al (1994), a lignina não apresenta efeito inibitório, mas o tanino hidrolizável pode afetar a pega do cimento. Os açúcares simples, como glicose, manose e galactose, têm grau de inibição da reação de hidratação diferentes. Esses carboidratos podem diminuir a hidratação e o tempo de pega por diversos mecanismos.

Simatupang et al (1978) comentam que muitos estudos têm demonstrado que a capacidade de cura do cimento, quando em mistura com a madeira, é determinada pela composição química desta. Os extrativos são os principais responsáveis pela inibição da cura do cimento. Seus princípios ativos são os compostos fenólicos e os carboidratos livres.

O mesmo autor ressalta que, dessa forma, as madeiras recém abatidas contêm maior quantidade de amido se comparadas às madeiras armazenadas durante algum tempo após o abate, o que as torna menos adequadas à fabricação de chapas de partículas. O armazenamento da madeira proporciona o decréscimo do conteúdo de amido, sacarose, glicose e frutose.

2.1.4 Incompatibilidade química entre *Pinus* e cimento

Com o objetivo de identificar os fatores que causam o retardamento ou impedimento da “pega” do cimento nos painéis de cimento-madeira, Biblis e Lo (1968) estudaram o tempo de pega em misturas entre madeira de *Pinus* do sul dos EUA e cimento Portland. A ação do fungo manchador azul (*Ceratocystis pilifera*) sobre a madeira durante um período de 4 meses provocou a diminuição no tempo de pega da mistura com o cimento. Dessa forma, os autores concluíram que a concentração dos açúcares na madeira apresenta um efeito definitivo sobre a pega do cimento, aumentando a inibição à medida que o teor de açúcar aumenta.

Estudo realizado por Lee (1984) utilizou o método de estocagem para toras de *Pinus* durante 6 a 8 semanas, provocando a redução do teor de açúcares, bem como a do teor de umidade.

Contudo, Manzanares et al (1991), utilizando a temperatura de hidratação como parâmetro para avaliar a compatibilidade entre cimento e *Pinus tropicalis*, concluíram que essa espécie é adequada para a fabricação de compósitos de cimento-madeira sem a necessidade obrigatória de tratamentos suavizadores da incompatibilidade.

2.1.5 Incompatibilidade química entre *Eucalyptus* e cimento

Analisando o efeito inibidor (incompatibilidade) de cinco espécies florestais em painéis de cimento-madeira, Latorraca et al. (1999) obtiveram baixo índice de inibição de pega para a madeira de *Eucalyptus citriodora*. Os resultados encontrados para a referida espécie foram inferiores inclusive aos obtidos para *Pinus taeda*.

De acordo com Latorraca (1996), os tratamentos de partículas de *Eucalyptus dunnii* com água quente e com hidróxido de sódio mostram-se inadequados, visto que, em seu estudo, os painéis com partículas tratadas apresentaram desempenho inferior aos painéis manufaturados com partículas sem tratamento.

Em trabalho envolvendo a termometria de compostos de resíduos de *Eucalyptus robusta*, *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus citriodora* misturados ao cimento, Latorraca (2000) descreve que quanto mais finos os resíduos utilizados na fabricação dos painéis,

maior a incompatibilidade das referidas espécies em relação ao cimento. No mesmo estudo, o autor indica as madeiras de *Eucalyptus robusta* e *Eucalyptus urophylla* como sendo as de menor índice de incompatibilidade com o cimento.

2.1.6 Casca de arroz

Diversos autores citados por Silveira et al (1996) definiram a casca de arroz como sendo uma capa oca, dura e altamente silicosa, composta por 50% de celulose, 30% de lignina e 20% de sílica, em base anidra.

A atividade agroindustrial de beneficiamento de arroz destaca-se pela elevada produção do resíduo casca de arroz. De acordo com dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2009), o Brasil produzirá aproximadamente 12,6 milhões de toneladas de arroz em casca no ano de 2009, o que equivale a cerca de 2,52 milhões de toneladas de casca de arroz, tendo em vista que as cascas desse grão representam em torno de 20% de seu peso. De acordo com IRGA (2009), a safra 2008/2009 de arroz em casca gerará, só no estado do Rio Grande do Sul, uma produção de 7,97 milhões de toneladas, o que representa cerca de 63,25% da produção total do país.

2.1.7 Incompatibilidade química entre casca de arroz e cimento

Os constituintes das fibras vegetais (em particular os açúcares), de forma geral, em contato com a água de amassamento, solubilizam-se e inibem a pega do cimento, o que afeta negativamente as reações de hidratação do cimento, que podem ser avaliadas através do tempo e temperatura máxima de hidratação. Beraldo (1997) afirma que a escolha da natureza da biomassa vegetal, a época de corte, o tipo de estocagem e a distribuição em tamanho (comprimento e diâmetro) das partículas vegetais são os fatores que afetam a compatibilidade química entre a biomassa vegetal e o cimento.

Pesquisas realizadas por Zucco (1999) confirmaram o efeito da granulometria de partículas vegetais nas características de hidratação do cimento. A mistura de casca de arroz moída nas frações granulométricas definidas de 10 mm, 5 mm e 3 mm, com pasta

de cimento (CP V-ARI) e 3% de cloreto de sódio, revelou que, quanto mais finas fossem as partículas utilizadas na mistura, maior seria o aumento no tempo necessário para ocorrer o pico de temperatura e, conseqüentemente, a diminuição substancial da temperatura máxima de hidratação.

2.1.8 Métodos de preparo da biomassa vegetal

A lavagem das partículas proporciona a eliminação de certa quantidade de extrativos presentes na madeira. A eficiência desse método depende do pH da solução, da temperatura e do tempo de extração, dentre outros fatores (CARVALHO, 2000).

O tratamento da madeira com o processo de fervura é um dos mais simples. Seu uso visa reduzir de forma significativa o tempo de cura dos painéis de cimento-madeira.

Tratamentos biológicos também são utilizados para extração de açúcares da madeira. Auer et al (1987), ao estudar a estrutura anatômica e a composição química de cavacos de madeira de eucalipto inoculados com fungo *Thermoascus aurantiacus*, concluíram que a inoculação reduziu em 16% os teores de extrativos solúveis em água quente, em 40% os açúcares totais e em 15% as substâncias fenólicas.

Segundo os mesmos autores, a principal desvantagem do uso de artifícios biológicos para preparar partículas encontra-se na dificuldade de controle posterior, gerando contaminação pelos fungos deterioradores da madeira.

Outro artifício utilizado no tratamento das partículas de madeira é a adição de produtos químicos, também conhecidos como aditivos químicos ou aceleradores de pega. Esse tipo de tratamento é aplicado com ou sem o tratamento com água quente (MUSOKOTWANE, 1982). Moslemi et al (1983) consideram que alguns aditivos podem ser utilizados para acelerar a cura do cimento, como, por exemplo, o cloreto de cálcio. Outros como cloreto férrico (FeCl_3), sulfato férrico ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$), cloreto de magnésio (MgCl_2) e hidróxido de cálcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), têm sido usados para minimizar o efeito inibidor da madeira sobre a cura do cimento.

Como os fatores que influenciam a incompatibilidade entre casca de arroz e cimento são similares àqueles que influenciam a incompatibilidade entre madeira e

cimento, basicamente, todos os tratamentos citados anteriormente podem ser utilizados para esse tipo de matéria-prima.

Beraldo e Zucco (1998), em seus estudos acerca da viabilidade do uso de casca de arroz em compósito à base de cimento Portland, verificaram a potencialidade apresentada pelo resíduo vegetal, já que a incompatibilidade entre a casca de arroz e o cimento pode ser contornada com o uso de técnicas simples, como a lavagem da biomassa vegetal em solução aquosa ou a adição de aceleradores de pega do cimento.

Serrano e Castro (1985) sugerem um tipo específico de lavagem para a casca de arroz. Essa técnica consiste em banho de imersão do material por um período de 24 horas em solução de cal. A quantidade de cal empregada deve ser de 5% p/p (partes/peso) da massa da casca. O material deve ser posteriormente lavado em água corrente antes de sua utilização. Zucco (1999) alerta para necessidade de agitação periódica da solução de imersão, para que a cal não se deposite no fundo do recipiente e possa reagir com toda casca de arroz submetida ao procedimento.

2.1.9 Aditivos

Os aditivos, que podem ser sólidos ou líquidos, proporcionam melhoras físicas e econômicas através da modificação das propriedades normais do concreto e/ou dos compósitos (MATOSKI, 2005).

De acordo com o mesmo autor, alguns dos aditivos geralmente utilizados são:

- ✓ Cloreto de cálcio (CaCl_2) – É o mais comum dos aditivos. Mostra-se eficiente para acelerar a hidratação dos silicatos de cálcio, isso possivelmente devido a uma pequena variação da alcalinidade da água dos poros ou como um catalisador nas reações de hidratação. O cloreto de cálcio melhora a resistência à erosão e à abrasão em todas as idades, porém, a presença de íon cloreto nas proximidades da armadura provoca uma corrosão intensa. Devido a isso, muitos códigos e normas proíbem o cloreto de cálcio em concretos em que há o uso do aço.

- ✓ Cloreto de Magnésio ($MgCl_2$) – Tem efeito semelhante ao do $CaCl_2$, mas em menor intensidade. Os íons de cloro possuem mobilidade suficiente para penetrar nas partículas de silicato, acelerando a dissolução do cálcio.
- ✓ Sulfato de alumínio – Atua como acelerador de pega e, para algumas espécies de madeira, é melhor que os aditivos à base de cloreto.

Estudando a influência de aditivos em sistemas madeira-água-cimento, Moslemi et al (1983) testaram soluções de $CaCl_2$ e NaOH em combinação com cimento, água e duas espécies (pinus e larch). A adição dessas duas substâncias químicas gerou uma significativa redução no tempo de reação, com elevação da temperatura de hidratação do cimento.

Rashwan et al (1992) adicionou à massa de cimento, areia e serragem os seguintes aceleradores químicos: $CaCl_2$, $MgCl_2$, $FeCl_2$ e Na_2S . O autor constatou que, dentre esses aditivos pesquisados, o $CaCl_2$ foi o que resultou em melhores efeitos positivos no processo de hidratação do cimento, além de apresentar o menor custo.

Esse comportamento é compatível com os resultados obtidos por Latorraca (2000) em seus estudos com painéis de cimento-madeira. Esse autor encontrou indícios de que cloreto de cálcio, à uma proporção de 4%, seria o aditivo que melhor desempenha a função de acelerador de pega e endurecimento para painéis que utilizam resíduos de diversas espécies de eucalipto combinados ao cimento.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Matéria-prima e seu preparo

Para realização deste trabalho, foram utilizadas partículas de madeira de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden e *Pinus elliottii* Engelm, cascas de arroz, cimento Portland ARI-RS, aditivo e água.

3.1.1 Partículas de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden

As partículas de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden foram obtidas por desdobro de árvores de povoamentos florestais homogêneos de aproximadamente 15 anos, localizados no Campus da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), na cidade de Santa Maria, RS.

Foram selecionadas três árvores, com DAP superior a 40 cm, fuste reto e boas condições fitossanitárias. Após o abate, foram retiradas as duas primeiras toras com comprimento de 2,70 m cada. Dessas toras, foram retiradas tábuas de 5 cm de espessura, que foram resserradas com cortes perpendiculares à grã, obtendo-se, assim, blocos com 5 cm de espessura (sentido tangencial), 7 cm de comprimento (sentido longitudinal) e largura variável (sentido radial) de acordo com o diâmetro e a posição de obtenção das tábuas na tora.

Esses blocos de madeira foram imersos em água por dez dias, com o objetivo de saturar a madeira, facilitando assim o corte e a obtenção de lascas inteiras. A obtenção das lascas foi realizada em flaker (moinho de facas), com corte ajustado para 0,55 mm de espessura. As dimensões finais das lascas foram de aproximadamente 50 x 70 x 0,55 mm. As lascas foram então submetidas à secagem ao ar por 15 dias, sendo posteriormente reduzidas a partículas em moinho de martelos, equipado com peneira com orifícios de 8,0 mm de diâmetro. Por fim, o material foi submetido à peneiragem em peneira de malha de 0,6 mm de aresta, para descarte dos finos. As partículas utilizadas foram as que não passaram pela malha da peneira (Figura 2).



Figura 2 - Partículas de *Eucalyptus grandis* processado.

3.1.2 Partículas de *Pinus elliottii* Engelm.

As partículas de *Pinus elliottii* Engelm foram fornecidos pela empresa Todesmade, situada no município de Cachoeira do Sul, RS. As partículas foram obtidos por ocasião do beneficiamento da madeira na marcenaria da empresa, dessa forma, estava constituído de maravalhas com dimensões entre 6 x 8 x 0,3 e 23 x 15 x 0,8 mm. Seu teor de umidade encontrava-se em torno de 24%, o que exigiu que as partículas fossem secas em ambiente coberto até atingir cerca de 12% de teor de umidade. Em seguida, para maior homogeneização do material, as partículas foram submetidas à moagem em moinho de martelos, equipado com peneira de orifícios de 8 mm de diâmetro. Subseqüentemente, realizou-se a seleção do material em peneira de 0,6 mm de aresta, com objetivo de eliminar os resíduos com dimensões menores do que a malha. Dessa forma, o material a ser utilizado na confecção dos painéis foi o que não passou pela peneira (Figura 3), sendo este, portanto, acondicionado em sacos plásticos fechados e identificados.



Figura 3 - Partículas de *Pinus elliotti* processado.

3.1.3 Casca de arroz

No Laboratório de Produtos Florestais, as cascas oriundas do Engenho Guidolin – Santa Maria, sofreram moagem em moinho de martelos, com peneira de 8 mm. Em seguida, foram peneiradas em peneira com malha de 0,6 mm de aresta para eliminação dos finos.

Como fase final da preparação do material casca de arroz, este foi lavado em solução de cal $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$, como proposto por Serrano e Castro (1985) e Beraldo e Zucco (1998), com a finalidade de proporcionar melhoria da compatibilidade química entre a casca de arroz e o cimento. Assim, de acordo com o processo original, a quantidade de cal empregada foi de 5% da massa da casca, e a razão entre a solução de cal e a casca de arroz foi de 10:1. A fração utilizável de casca de arroz permaneceu em imersão total na solução de cal por um período de 24 h, sofrendo agitação periódica para que a reação da cal com a casca de arroz ocorresse de forma correta. Em seguida, a solução foi descartada, as cascas foram lavadas para a remoção da cal e dos extrativos e colocadas ao ar livre para secagem, durante pelo menos 3 dias.

Por fim, as cascas tiveram seu teor de umidade determinado. A armazenagem desse material (Figura 4) se deu em sacos plásticos devidamente identificados e fechados.



Figura 4 - Casca de arroz após preparo.

3.1.4 Cimento

O Cimento tipo Portland (CP-V-ARI RS), encontrado no comércio varejista, foi utilizado como material aglutinante. Segundo a Norma Brasileira NBR 5733 (1991), a sigla significa “Cimento Portland de Alta Resistência Inicial (34 MPa aos 7 dias de idade) Resistente a Sulfatos”.

Com objetivo de evitar a absorção de água pelo cimento e o conseqüente início da reação de hidratação, assim que os sacos de 50 kg foram recebidos no Laboratório de Produtos Florestais, todo conteúdo foi transferido para sacos plásticos com capacidade de 5 kg cada. Até sua utilização, os sacos foram armazenados sobre estrados de madeira seca dispostos sobre bancada de granito.

3.1.5 Aditivo

O aditivo utilizado foi o cloreto de cálcio dihidratado ($\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) em pó, adquirido em sacos plásticos de 500 gramas e armazenado da mesma forma que o cimento. A utilização desse aditivo visou eliminar os efeitos inibitórios dos componentes químicos da madeira e acelerar o processo de cura do cimento.

3.1.6 Água

A água utilizada foi fornecida diretamente pela rede pública de distribuição, por questão de economia, pois a água destilada ou tratada com fins específicos encarece a confecção desses painéis compósitos. O pH obtido no ponto de utilização foi de 7,0.

3.2 Delineamento experimental

Objetivando avaliar os efeitos da espécie utilizada, sua proporção e sua associação com casca de arroz em diferentes quantidades, bem como as interações entre essas variáveis, foi realizada a combinação desses fatores em diferentes níveis. Cada uma das combinações foi aplicada em painéis experimentais de cimento-madeira-casca de arroz, resultando em um arranjo fatorial dos tratamentos. O delineamento utilizado foi inteiramente casualizado e os painéis produzidos possuíam 50 cm de aresta e 9,5 mm de espessura.

As espécies florestais submetidas à avaliação foram: *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maid. (eucalipto) e *Pinus elliottii* Engelm (pinus). O desempenho dessas espécies foi avaliado individualmente e em combinação com diferentes proporções de casca de arroz. Como resultado, obtiveram-se 9 tratamentos (Tabela 1), com 3 repetições cada, totalizando 27 chapas de cimento-madeira-casca de arroz.

TABELA 2 - Tratamentos utilizados no experimento.

Tratamentos	Fatores		
	eucalipto (%)	pinus (%)	casca de arroz (%)
1	100	0	0
2	75	0	25
3	50	0	50
4	25	0	75
5	0	100	0
6	0	75	25
7	0	50	50
8	0	25	75
9	0	0	100

3.3 Processo de produção

3.3.1 Planilha de cálculo dos componentes dos painéis

A planilha de cálculos utilizada para determinar a quantidade de matéria-prima necessária para manufatura dos painéis está apresentada na Tabela 3 e a quantidade de biomassa vegetal utilizada em cada tratamento é apresentada na Tabela 4. Foram inseridas na tabela as taxas de cada um dos componentes, bem como outras variáveis de produção.

Tabela 3 - Planilha utilizada no cálculo dos componentes dos painéis

Dados relativos aos painéis	
Largura (cm)	50
Comprimento (cm)	50
Espessura (cm)	0,95
Densidade (g/cm ³)	1,25
Taxa biomassa vegetal:cimento	0,364
Taxa água hidratação:cimento	0,25
Taxa: água cimento	0,45
Taxa aditivo:cimento	0,03
Teor de umidade partículas de biomassa (%)	12,3
Componentes do painel curado	
Volume painel (cm ³)	2375,00
Peso painel curado (g)	3562,50
Cimento (g)	2166,97
Biomassa vegetal (g)	788,78
Aditivo (g)	65,01
Água agregada (g)	541,74
	3562,50
Componentes do painel para mistura	
Perdas (%)	20,00
Cimento (g)	2600,36
Biomassa vegetal (g)	1062,96
Aditivo (g)	78,01
Água (g)	1142,67
Quantidade material (g) betoneira	4884,01
Quantidade material prensa	4070,00

Tabela 4 – Quantidade de biomassa para os tratamentos

Quantidade de biomassa para mistura		
Tratamentos	Madeira (g)	Casca de arroz (g)
1	1062,96	0,00
2	797,22	265,74
3	531,48	531,48
4	265,74	797,22
5	0,00	1062,96
6	1062,96	0,00
7	797,22	265,74
8	531,48	531,48
9	265,74	797,22

3.3.2 Manufatura dos painéis

Utilizando-se de sistema de ar comprimido (aspersor), o aditivo químico diluído na água foi aspergido sobre as partículas previamente colocadas em betoneira em movimento. No caso de formulações, com diferentes proporções de madeira e casca de arroz, antes da hidratação com solução aditivada, efetuou-se a mistura das partículas utilizando-se para isso da betoneira. A hidratação do material vegetal durou cerca de dois minutos, sendo que após o primeiro minuto efetuou-se uma pausa para que pudessem ser retirados da parede da betoneira, bem como de suas pás, os componentes que ali ficaram aderidos e não se misturaram adequadamente. Em seguida, a betoneira foi religada até completar o tempo determinado para hidratação do material vegetal. No passo seguinte, foi adicionado o cimento e manteve-se a betoneira em funcionamento durante cerca de dois minutos. Nessa etapa, da mesma forma que na etapa anterior, após decorrido um minuto, foi necessário realizar uma pausa para retirada dos componentes aderidos ao equipamento e, em seguida, realizou-se o término da mistura.

Logo, a mistura foi retirada da betoneira, pesada em balança analítica e colocada na caixa formadora do colchão, que, por sua vez, estava disposta sobre uma chapa de aço coberta com plástico para que a mistura não aderisse à chapa. A caixa formadora possui aresta interna de 50 cm e constitui-se de uma caixa de madeira sem fundo com uma tampa que pode ser nela inserida. Após colocar a massa na caixa, a tampa foi fixada e pressionada sobre o colchão durante cerca de um minuto.

Em seguida, retirou-se a caixa formadora e colocou-se um espaçador de aço de 9,5 mm de espessura de cada lado do colchão, com o objetivo de delimitar a espessura final do painel. Cobriu-se o conjunto com plástico e com outra chapa de aço e levou-se o mesmo à prensa.

3.3.3 Prensagem

A prensagem foi efetuada com aplicação de 15 kgf/cm^2 , a frio, durante 24 horas, em prensa hidráulica da marca OMECO (Figura 5). Foram prensados 3 colchões simultaneamente.



Figura 5 - Prensa hidráulica de laboratório.

3.3.4 Climatização

Após a prensagem, os painéis foram levados à câmara climatizada, sendo, dessa forma, submetidos à temperatura constante de 20°C e umidade relativa de 65%. A permanência destes na câmara foi de 28 dias, completando, assim, o processo de maturação das chapas.

3.3.5 Obtenção dos corpos-de-prova

Após o período de maturação, os painéis foram cortados para confecção dos corpos-de-prova para os testes de flexão estática, ligação interna, inchamento e absorção d'água. O corte foi feito em serra circular e as dimensões dos corpos-de-prova foram determinadas de acordo com a norma ASTM D-1037 (1999).

Foram descartados 5 cm de cada uma das laterais dos painéis, sendo que o modelo de corte utilizado para confecção dos corpos-de-prova pode ser observado na Figura 6.

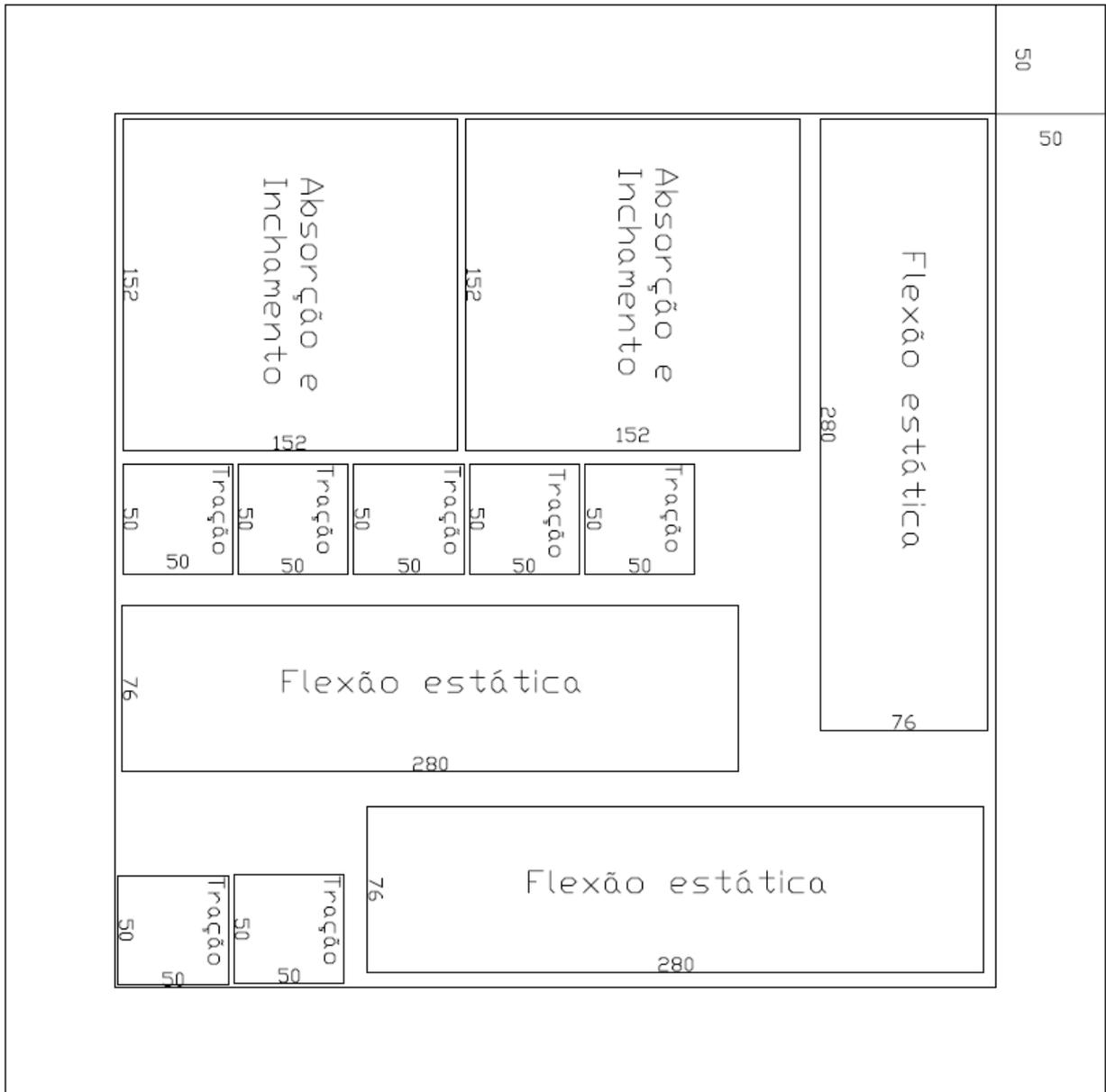


Figura 6 - Modelo de corte dos painéis para confecção dos corpos-de-prova

3.4 Testes Mecânicos

Todos os testes mecânicos foram realizados em máquina universal de ensaios, da marca Amsler, com capacidade de 20 toneladas, pertencente ao Laboratório de Produtos Florestais da UFSM (Figura 7). Os pares de dados de carga e deslocamento

foram alimentados automaticamente por uma placa de aquisição de dados, inserida em um computador IBM PC.



Figura 7 - Máquina universal de ensaios

3.4.1 Flexão estática (MOE e MOR)

Para determinação do módulo de elasticidade e do módulo de ruptura foi realizado teste de flexão estática, em máquina universal de ensaios, segundo a norma ASTM D-1037 (1999). Assim, foram necessários corpos-de-prova com comprimento igual a 24 vezes a sua espessura nominal, com adição de 50 mm, o que, no presente trabalho, representa 278 mm de comprimento e 76 mm de largura nominal.

Foi medida a largura real na metade do comprimento e a espessura na intersecção das diagonais. O corpo-de-prova, apoiado em suportes cuja distância entre eles era de 24 vezes a espessura nominal, neste caso 228 mm, sofreu a aplicação de

carga em sua porção central. A velocidade de aplicação de carga foi regulada de acordo com a equação sugerida pela norma, obtendo-se um valor de 0,47 mm/min. Os valores coletados foram enviados diretamente a um computador IBM PC.

O Módulo de Elasticidade (MOE) foi calculado usando-se a região linear da curva de leituras de carga X deformação, através da equação 1.

$$\text{MOE} = \frac{l_1^3 * (F_2 - F_1)}{4 * b * t^3 * (a_2 - a_1)} \quad (1)$$

Onde:

MOE = módulo de elasticidade (kgf/cm²);

a₁ e a₂: incremento da deflexão à metade do comprimento (cm);

l₁: distância entre os suportes (cm);

b: largura do corpo-de-prova (cm);

t: espessura do corpo-de-prova (cm);

F₁-F₂: incremento de carga (f2 ± 40% da carga máxima) (kgf).

Para o cálculo do Módulo de Ruptura (MOR) utilizou-se o mesmo teste de flexão usado para o cálculo do MOE, porém, foi considerada a carga máxima através da equação 2.

$$\text{MOR} = \frac{3 * F_{\text{máx}} * l_1}{2 * b * t^2} \quad (2)$$

Onde:

MOR = módulo de ruptura (kgf/cm²);

l₁: distância entre os suportes (cm);

b: largura do corpo-de-prova (cm);

t: espessura do corpo-de-prova (cm);

F_{máx} = carga máxima na ruptura (kgf).

3.4.2 Arrancamento de parafusos

Para realizar esse teste, foram aproveitadas as extremidades dos corpos-de-prova do teste de flexão estática, sendo que, após o rompimento, as duas extremidades, foram coladas face a face, com objetivo de aumentar sua espessura. A cola utilizada para tanto foi a polivinilacetato.

Depois de coladas as faces, os corpos-de-prova passaram por processo de cura do adesivo à temperatura ambiente, durante 24 horas. Em seguida, os parafusos com 3,5 mm de diâmetro foram inseridos em ângulo reto à superfície do painel, no centro do corpo-de-prova, utilizando-se para isso de uma parafusadeira dotada de broca de 3,2 mm de diâmetro. O comprimento dos parafusos era de 2,54 cm e sua inserção nos painéis deu-se até $2/3$ de seu comprimento

A velocidade do teste realizado na máquina universal de ensaios foi de 1,5 mm/min, registrando a carga máxima aplicada para o arrancamento do parafuso, expressa em kgf (Figura 8).



Figura 8 - Teste de arrancamento de parafusos

3.4.3 Tração perpendicular à superfície do painel

O ensaio de tração perpendicular, que visa determinar a adesão interna do painel, foi realizado segundo a norma ASTM D-1037 (1999), que determina a utilização de corpos-de-prova quadrados com aresta de 50 ± 1 mm. As faces dos corpos-de-prova foram coladas em blocos de aço que serviram de suporte, os quais foram tracionados em direções opostas, de forma a proporcionar o rompimento do corpo-de-prova (Figura 9).



Figura 9 - Teste de tração perpendicular à superfície do painel

A velocidade do teste foi ajustada de acordo com a norma, com base na espessura dos corpos-de-prova, em 0,76 mm/min. A adesão interna (AI) foi calculada por meio da relação entre carga máxima e área de esforço, expressos em kgf/cm^2 .

3.5 Testes físicos

3.5.1 Inchamento em espessura e absorção de água

Para esses testes, foi utilizada a norma ASTM D-1037 (1999), que determina a utilização de corpos-de-prova de 152 ± 1 mm de aresta, que foram submetidos à

imersão em água por períodos de 2 e de 24 horas. Os corpos-de-prova foram cobertos por 25 mm de água, com pH 7, à aproximadamente 20°C.

No teste de inchamento em espessura, a espessura dos corpos-de-prova foi medida na intersecção de suas diagonais, antes e após a imersão em água, após 2 horas e após 24 horas de imersão. Para medição da espessura, foi utilizado relógio comparador e, para aferição de comprimento e largura, foi utilizado paquímetro digital. O inchamento em espessura, dado em percentagem, foi calculado a partir da equação 3.

$$G_t = \frac{t_2 - t_1}{t_1} * 100 \quad (3)$$

Onde:

G_t = inchamento (%);

t_2 = espessura inicial (mm);

t_1 = espessura final (mm).

Já para o teste de absorção de água, foi determinada a massa dos corpos-de-prova, antes e após sua imersão em água, após 2 horas e após 24 horas de imersão. A massa foi obtida com a utilização de balança analítica eletrônica de precisão centesimal. A equação 4 foi utilizada para determinar a absorção.

$$A_m = \frac{m_2 - m_1}{m_1} * 100 \quad (4)$$

Onde:

A_m = absorção (%);

m_2 = massa final (g);

m_1 = massa inicial (g).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Propriedades físicas dos painéis de cimento-madeira-casca de arroz

4.1.1 Massa específica

A massa específica dos painéis variou entre 1,13 g/cm³ e 1,26 g/cm³, sendo que o valor esperado era de 1,25 g/cm³. A variação da massa específica entre e dentro de chapas aglomeradas deve-se às condições de manufatura em laboratório, e é a falta de homogeneidade na distribuição manual da mistura para formação da chapa a principal responsável por essa variação (HILLIG, 2000; DACOSTA, 2004).

Os valores médios de massa específica para os diferentes tratamentos são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 - Valores médios de massa específica e teor de umidade em função dos tratamentos.

Tratamento	eucalipto (%)	pinus (%)	casca de arroz (%)	Massa específica (g/cm ³)	TU (%) ¹
1	100	0	0	1,14	12,82
2	75	0	25	1,18	12,51
3	50	0	50	1,17	12,07
4	25	0	75	1,21	12,37
5	0	100	0	1,14	12,13
6	0	75	25	1,13	12,27
7	0	50	50	1,16	12,10
8	0	25	75	1,16	12,03
9	0	0	100	1,26	12,42

1. TU em equilíbrio (câmara climatizada a 20°C e 65% UR)

4.1.2 Absorção de água

A característica dos materiais compósitos de apresentar baixa capacidade de absorção deve-se, sobretudo, ao material aglomerante, que recobre as fibras e limita seu contato com a umidade (ZUCCO, 1999).

Os valores médios de absorção d'água, alcançados nos períodos de 2 e 24 horas de imersão, são demonstrados na Tabela 6. Observa-se que eles variaram de 11,08 a 20,45%. Os painéis fabricados exclusivamente com casca de arroz tiveram menor taxa de absorção d'água, se comparados aos painéis que continham madeira em sua composição. A adição de partículas de madeira fez com que o grau de absorção aumentasse gradativamente em níveis diferentes para cada uma das espécies estudadas. Os painéis fabricados com pinus demonstraram ligeira desvantagem na absorção em período de 24 horas, sendo que suas médias de absorção foram maiores do que as das chapas de eucalipto.

Carvalho (2000) identificou, em seu estudo envolvendo compósitos de cimento e *Eucalyptus grandis*, variações de 20 a 40% de absorção d'água em período de 24 horas de imersão. Pimentel (2000), avaliando compósitos à base de cimento e partículas de Pinus, obteve um valor médio de absorção de 20,26%. Latorraca (2000), trabalhando com diversas espécies de eucalipto em chapas de cimento-madeira, obteve índices de absorção variando de 12,9 a 20,27%. Isso indica que a adição de casca de arroz nos compósitos à base de madeira e cimento Portland diminuiu a absorção d'água por parte dos painéis.

Tabela 6 - Valores médios de absorção d'água encontrados para os diferentes tratamentos.

Tratamento	eucalipto (%)	pinus (%)	casca de arroz (%)	Absorção – 2 hs (%)	Absorção – 24 hs (%)
1	100	0	0	16,71	19,75
2	75	0	25	14,72	18,13
3	50	0	50	13,37	16,90
4	25	0	75	12,08	15,52
5	0	100	0	15,21	20,45
6	0	75	25	13,92	19,03
7	0	50	50	12,97	17,33
8	0	25	75	12,28	15,84
9	0	0	100	11,08	14,08

Analisando a absorção d'água em 2 horas de imersão em função da porcentagem de madeira e, conseqüentemente, da porcentagem de casca de arroz, as melhores equações ajustadas, tanto para os tratamentos com resíduos de eucalipto quanto para aqueles com resíduos de pinus, apresentaram valor de P menor que 0,01, relacionando a significância estatística entre as variáveis para um nível de confiança maior que 99%

As Figuras 10 e 11 mostram os gráficos com os valores observados e os modelos de regressão para absorção d'água dos tratamentos após 2 horas de imersão, bem como a comparação gráfica das duas equações ajustadas

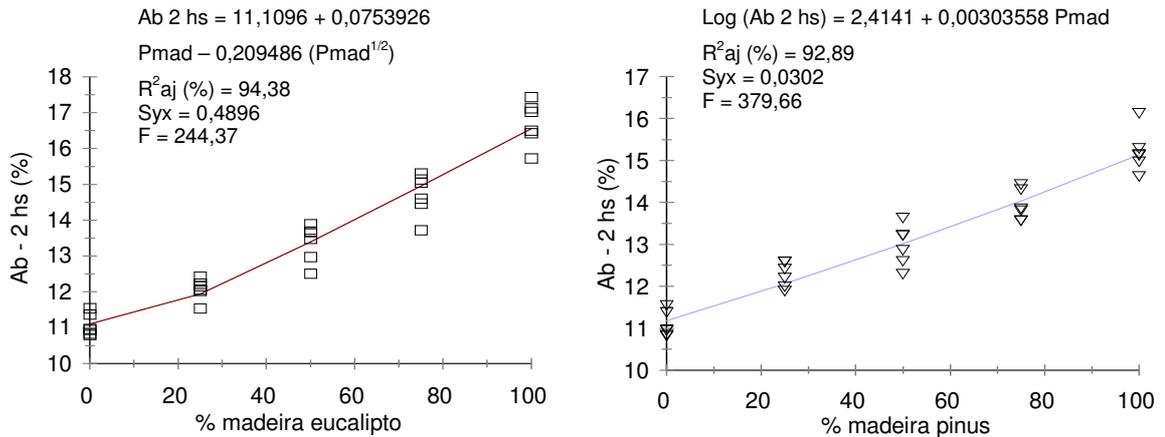


Figura 10 - Valores de absorção d'água em 2 horas (Ab – 2 hs) observados e ajustados em função da porcentagem de partículas de eucalipto e pinus.

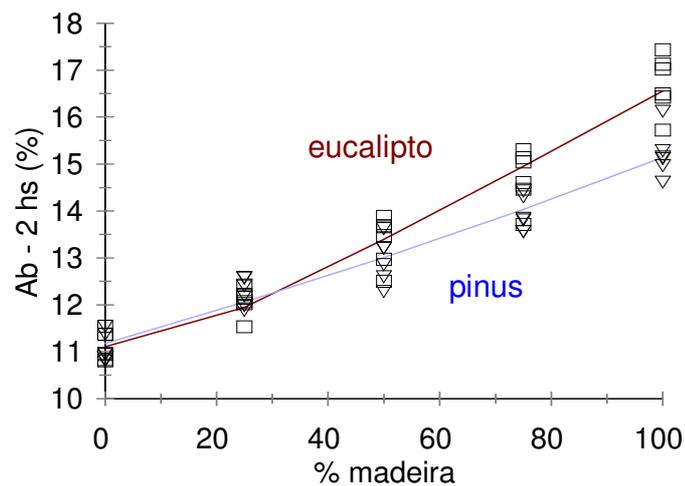


Figura 11 - Comparação entre os valores de absorção d'água em 2 horas (Ab – 2 hs) observados e ajustados em função da porcentagem de partículas de eucalipto e pinus.

A avaliação dos dados obtidos nos testes de 24 horas de imersão tornou possível ajustar equações que obtiveram valor de P menor que 0,01. A Figura 12 traz os dados observados e as equações ajustadas para os tratamentos. Já a Figura 13 demonstra a comparação entre as duas equações.

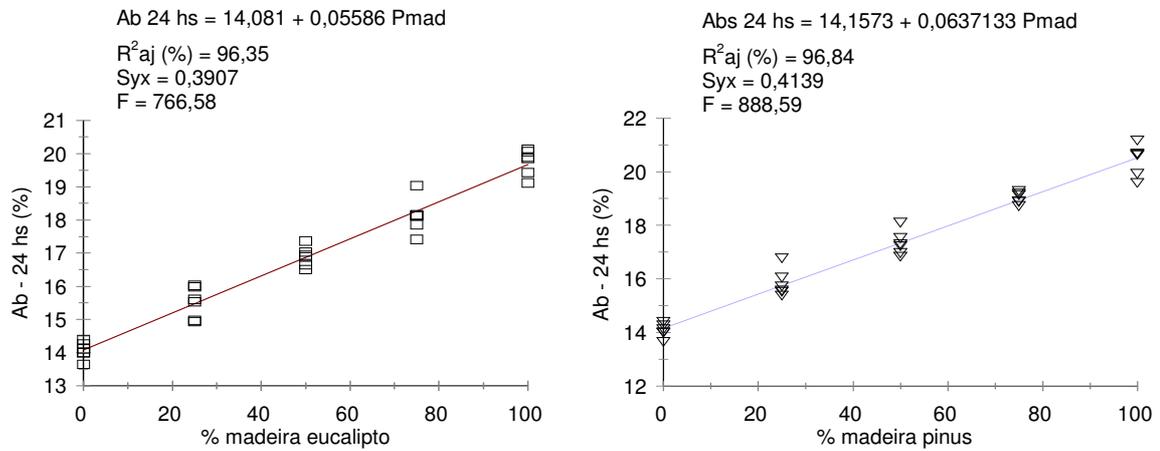


Figura 12 - Valores de absorção d'água em 24 horas (Ab – 24 hs) observados e ajustados em função da porcentagem de partículas de eucalipto e pinus.

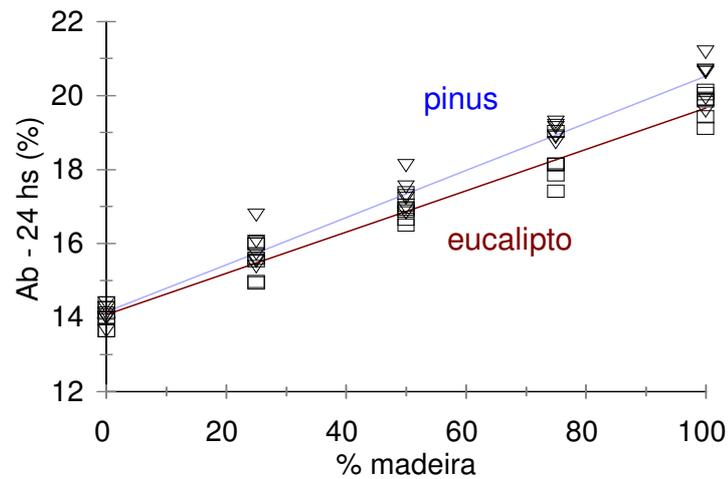


Figura 13 - Comparação entre os valores de absorção d'água em 24 horas (Ab – 24 hs) observados e ajustados em função da porcentagem de partículas de eucalipto e pinus.

4.1.3 Inchamento em espessura

Os valores médios de inchamento em espessura (IE) variaram de 0,15 a 12,74% e encontram-se na Tabela 7. Esses resultados demonstram que, conforme a

quantidade de partículas de madeira diminui na composição dos painéis, menores são os valores de inchamento, para as duas espécies florestais em questão. Isso indica um acréscimo no comportamento de resistência à ação da água, à medida que é adicionada mais casca de arroz na manufatura das chapas.

De acordo com Zucco (1999), os compósitos são os painéis que apresentam menor variação dimensional, o que pode ser atribuído à combinação dos fatores estrutura do material fibroso e aglomerante utilizado.

Os painéis fabricados com partículas de pinus apresentaram médias superiores àqueles fabricados apenas com cascas de arroz ou então com eucalipto, demonstrando assim uma maior taxa de inchamento em espessura, se comparados aos painéis feitos à base das outras matérias-primas avaliadas.

Observa-se que, com o passar do tempo, os valores de IE tendem a apresentar menores diferenças se forem comparadas as duas espécies florestais em questão. Assim, inicialmente (IE – 2 hs), ocorreu um IE notadamente maior nos painéis com partículas de pinus em sua composição. Na avaliação de IE em imersão de 24 horas, os valores dessa variável para pinus continuaram maiores, contudo, suas diferenças em relação aos tratamentos contendo eucalipto são mais discretas do que no início.

Latorraca (1996), estudando o comportamento de *Eucalyptus dunnii* em painéis de cimento-madeira, identificou valores de inchamento em espessura próximos aos encontrados neste trabalho, com médias variando de 2,58 até 10,38% para essa espécie.

Matoski (2005), avaliando o comportamento da granulometria de partículas de pinus em compósitos cimento-madeira, obteve resultados de IE, após 24 horas de imersão, variando de 0,46 a 2,22%. Os valores observados no presente estudo encontram-se acima dos apresentados pelo mencionado autor. Isso se deve às diferenças das relações madeira:cimento adotadas nos trabalhos, uma vez que Matoski (2005) utilizou uma relação de 0,25, enquanto este estudo considerou uma relação de 0,364.

Tabela 7 - Valores médios de inchamento em espessura encontrados para os diferentes tratamentos.

Tratamento	eucalipto (%)	pinus (%)	casca de arroz (%)	Inchamento - 2 hs (%)	Inchamento - 24 hs (%)
1	100	0	0	0,49	12,74
2	75	0	25	0,41	11,24
3	50	0	50	0,33	7,58
4	25	0	75	0,25	3,75
5	0	100	0	1,43	15,77
6	0	75	25	1,06	12,77
7	0	50	50	0,79	8,12
8	0	25	75	0,46	4,80
9	0	0	100	0,15	1,30

Os dados observados e as equações ajustadas para as duas espécies de resíduos de madeira estudadas em relação ao inchamento em espessura em imersão de 2 horas encontram-se na Figura 14. A Figura 15 compara os dois modelos obtidos.

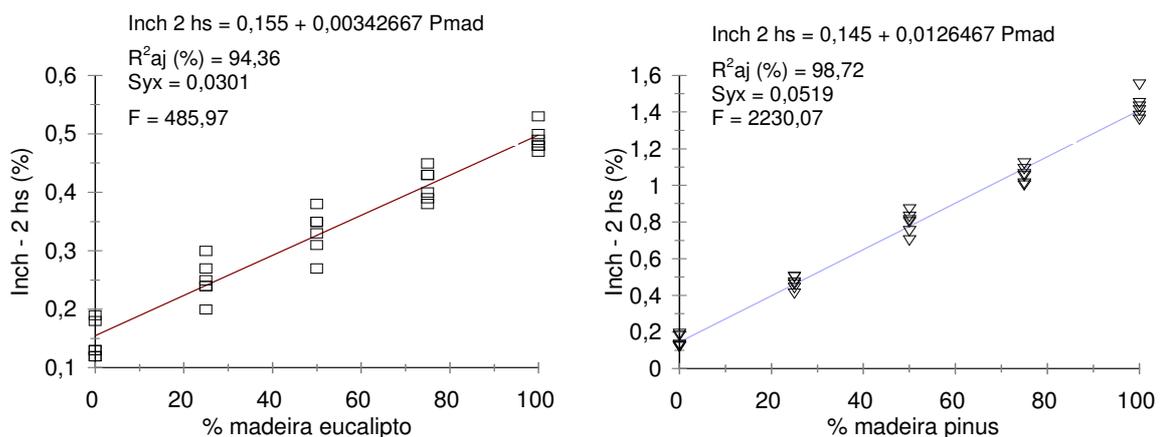


Figura 14 - Valores de inchamento em espessura em 2 horas (IE 2hs) observados e ajustados em função da porcentagem de partículas de eucalipto e pinus.

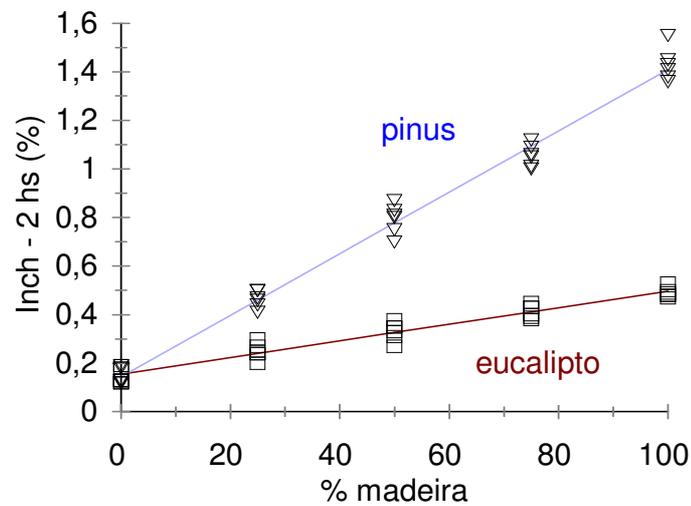


Figura 15 - Comparação entre os valores de inchamento em espessura em 2 horas (IE 2hs) observados e ajustados em função da porcentagem de partículas de eucalipto e pinus.

A Figura 16 apresenta os modelos ajustados, com nível de confiança maior de 99% para a significância entre as variáveis relacionadas ($P < 0,01$) para os tratamentos avaliados em período de imersão de 24 horas, assim como os dados observados durante o estudo. A comparação entre os referidos modelos encontra-se na Figura 17.

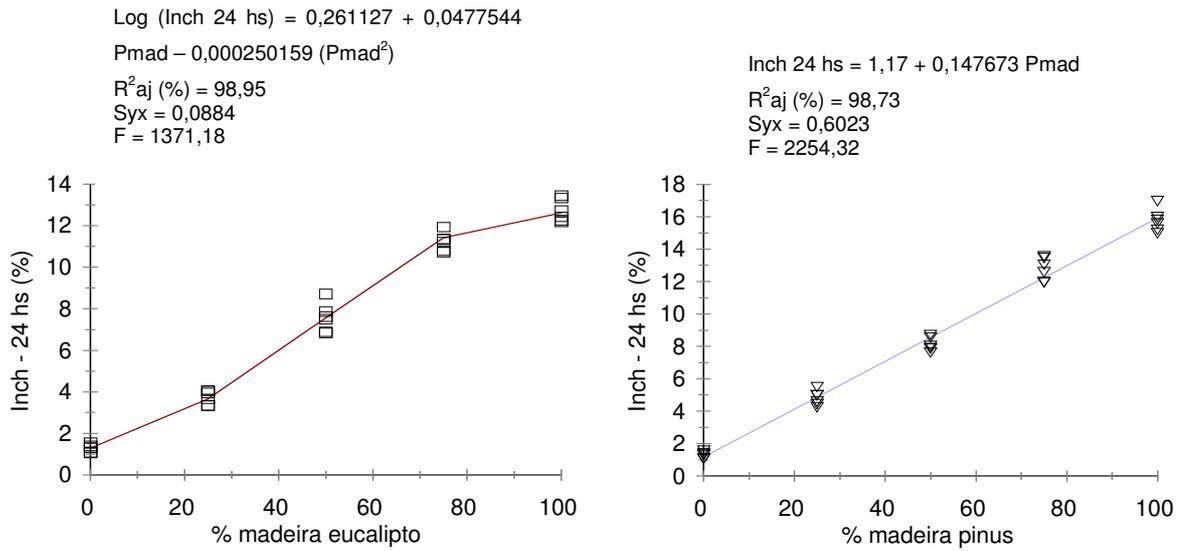


Figura 16 - Valores de inchamento em espessura em 24 horas (IE 24 hs) observados e ajustados em função da porcentagem de partículas de eucalipto e pinus.

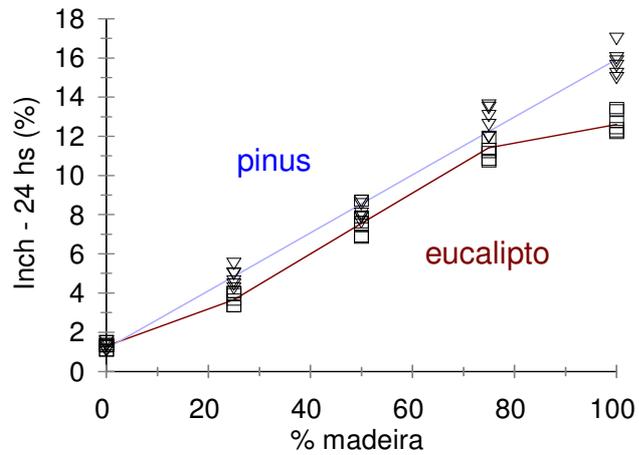


Figura 17 - Comparação entre os valores de inchamento em espessura em 24 horas (IE 24 hs) observados e ajustados em função da porcentagem de partículas de eucalipto e pinus.

4.2 Propriedades mecânicas dos painéis de cimento-madeira-casca de arroz

4.2.1 Resistência à flexão estática (MOE e MOR)

Os valores médios de módulo de elasticidade (MOE) e módulo de ruptura (MOR) obtidos neste estudo encontram-se na Tabela 8. O MOE apresentou valores que variaram, em função da proporção de resíduos de madeira, de 14138,99 a 44159,68 kgf/cm². O MOR, por sua vez, teve seus valores médios entre 61,72 e 121,53 kgf/cm². Verifica-se que os maiores valores de MOE foram obtidos para tratamentos à base de pinus, sendo que a adição progressiva de cascas de arroz fez com que o módulo sofresse diminuição de seus valores. O MOE nos painéis à base de eucalipto também sofreu diminuição conforme foi adicionada casca de arroz à composição.

O MOR foi maior nos painéis compostos por resíduos de eucalipto, sendo que a adição de cascas de arroz também gerou efeito negativo na resistência das chapas. Comportamento similar pôde ser observado nos compósitos manufaturadas com resíduos de pinus.

O pior desempenho, tanto para MOE, quanto para MOR foi observado nos painéis compostos apenas de cimento e casca de arroz, indicando que a mistura desse material com resíduos madeireiros tende a aumentar a resistência das chapas produzidas.

Tabela 8 - Valores médios de módulo de elasticidade (MOE) e módulo de ruptura (MOR) encontrados para os diferentes tratamentos.

Tratamento	eucalipto (%)	pinus (%)	casca de arroz (%)	MOE (kgf/cm ²)	MOR (kgf/cm ²)
1	100	0	0	24692	121,53
2	75	0	25	24258	96,99
3	50	0	50	19999	78,61
4	25	0	75	16980	71,03
5	0	100	0	44160	99,85
6	0	75	25	30618	86,56
7	0	50	50	21984	71,92
8	0	25	75	17823	61,72
9	0	0	100	14139	65,57

Latorraca (1996), trabalhando com compósitos de cimento-madeira de *Eucalyptus dunnii* e utilizando CaCl₂ como aditivo, verificou valores de MOE entre 24083 e 29178 kgf/cm². Pode-se observar que os valores obtidos neste trabalho, utilizando o mesmo tratamento químico (aditivo) e resíduos do mesmo gênero florestal, aproximam-se daqueles obtidos pelo autor supracitado.

Matoski (2005), trabalhando com resíduos de pinus de diferentes granulometrias, observou, em painéis fabricados com cloreto de cálcio como aditivo, valores de MOE entre 24684,3 e 32708,5 kgf/cm². Nessa situação, os valores encontrados pelo referido autor também aproximam-se aos observados neste estudo.

Carvalho (2000), avaliando o desempenho de *Eucalyptus grandis* na fabricação de painéis-cimento madeira, encontrou valores de MOR variando entre 27,5 e 66,5 kgf/cm². Os valores de MOR observados neste estudo foram maiores se comparados aos obtidos por Carvalho (2000). A utilização de processo de lavagem das partículas pelo autor, com a finalidade de diminuir a incompatibilidade entre madeira e cimento, ao invés da utilização de CaCl₂ como aditivo na mistura, com o mesmo objetivo, é a provável causa do melhor desempenho dos painéis aqui avaliados. Estudos como o de

Latorraca (1996) indicam que a utilização de aditivos, como o CaCl_2 e o MgCl_2 , proporciona desempenho melhor do MOR, em comparação a tratamentos de lavagem das partículas de madeira em painéis que utilizam resíduos de eucalipto.

Para o mesmo aditivo utilizado neste trabalho, Matoski (2005) encontrou valores de MOR, para painéis manufacturados com resíduos de pinus, variando entre 51,67 e 60,35 kgf/cm^2 . Os valores aqui encontrados situam-se acima daqueles observados pelo autor. Isso pode ser justificado pela menor proporção de madeira utilizada por Matoski (2005) em seu estudo, pois, como se pode observar, quanto maior a porcentagem de madeira aplicada na composição dos painéis, maior o MOE dos mesmos.

Analisando o MOE em função da porcentagem de madeira, as melhores equações ajustadas para os tratamentos encontram-se na Figura 18. Na Figura 19, estão demonstrados os dois modelos estabelecidos para esta propriedade.

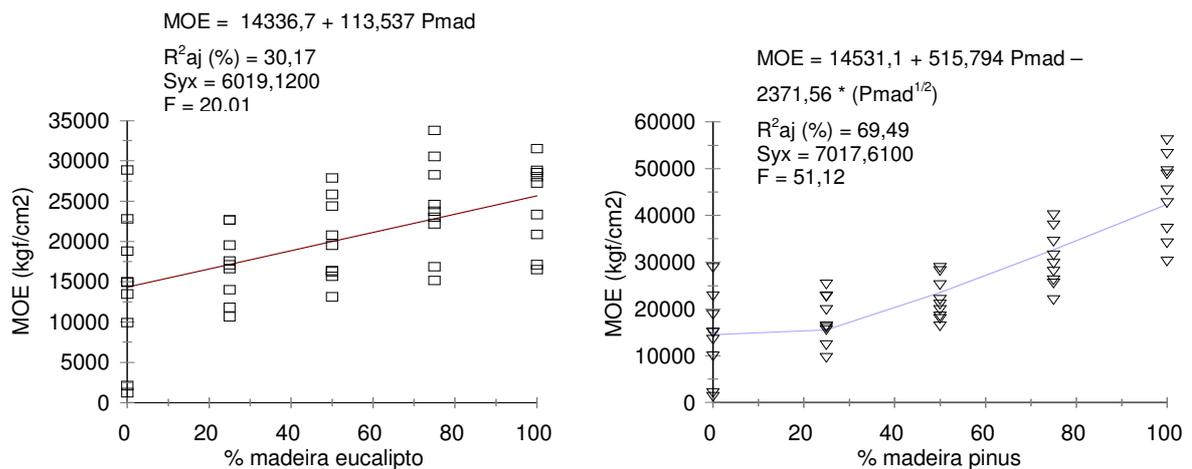


Figura 18 - Valores de MOE observados e ajustados em função da porcentagem de partículas de eucalipto e pinus.

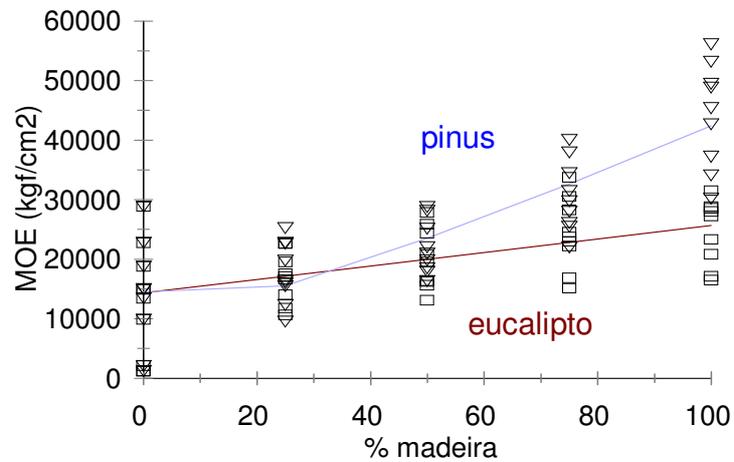


Figura 19 - Comparação entre os valores de MOE observados e ajustados em função da porcentagem de partículas de eucalipto e pinus.

Na Figura 20, encontram-se os modelos ajustados e os dados observados durante os testes de flexão estática. A Figura 21 demonstra as equações das duas espécies madeireiras avaliadas.

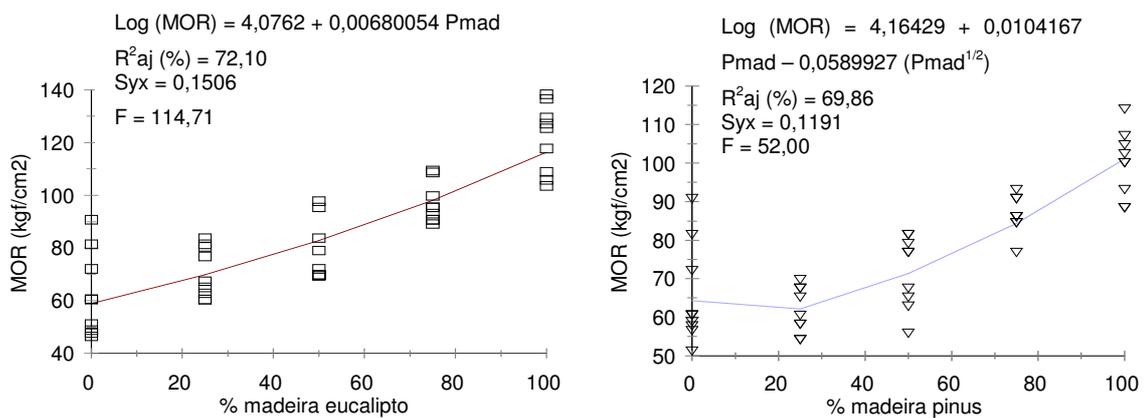


Figura 20 - Valores de MOR observados e ajustados em função da porcentagem de partículas de eucalipto e pinus.

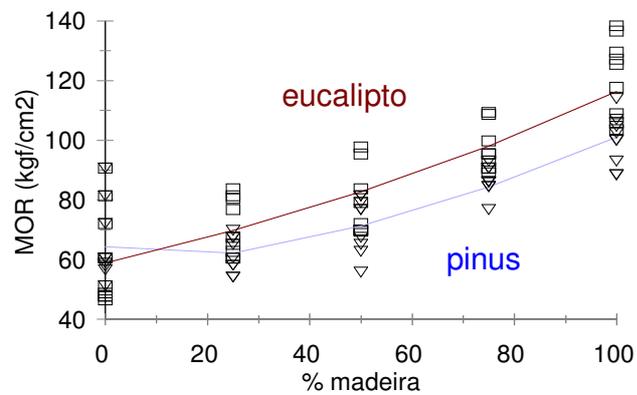


Figura 21 - Comparação entre os valores de MOR observados e ajustados em função da porcentagem de partículas de eucalipto e pinus.

4.2.2 Arrancamento de parafusos

O teste de arrancamento de parafusos não vem sendo utilizado rotineiramente nas pesquisas que envolvem painéis de cimento-madeira. Contudo, havendo a possibilidade de utilizações que exijam o conhecimento desse tipo de resistência do painel, considerou-se adequada sua avaliação.

Os valores médios observados no teste de resistência ao arrancamento de parafusos (AP) estão apresentados na Tabela 9. Nota-se que os valores de AP obtidos nas testagens variaram de 73,78 a 131,22 kgf. Tanto para painéis de eucalipto, quanto para painéis de pinus, o acréscimo de cascas de arroz fragilizou o compósito, fazendo com que os valores de AP diminuíssem conforme ocorria o aumento da porcentagem de cascas de arroz.

Tabela 9 - Valores médios de resistência ao arrancamento de parafusos (AP) encontrados para os diferentes tratamentos.

Tratamento	eucalipto (%)	pinus (%)	casca de arroz (%)	AP (kgf)
1	100	0	0	131,22
2	75	0	25	107,22
3	50	0	50	87,33
4	25	0	75	73,78
5	0	100	0	120,44
6	0	75	25	112,78
7	0	50	50	99,00
8	0	25	75	80,89
9	0	0	100	79,22

Analisando os valores de AP em função da porcentagem de madeira e, conseqüentemente, da porcentagem de casca de arroz, as melhores equações ajustadas, tanto para os tratamentos com resíduos de eucalipto, quanto para aqueles com resíduos de pinus, obtiveram valor de P menor que 0,01, relacionando a significância estatística entre as variáveis para um nível de confiança maior que 99%.

As Figuras 22 e 25 apresentam os gráficos com os valores observados e os modelos de regressão para AP, assim como a comparação entre as duas equações obtidas. Nota-se que, para os tratamentos envolvendo eucalipto e suas combinações com casca de arroz, a utilização de 25% de resíduos de eucalipto e 75% de cascas de arroz gerou um desempenho inferior ao tratamento com 100% de cascas de arroz. Esse comportamento vai de encontro ao que pode ser observado nos tratamentos seguintes (50, 75 e 100% de resíduos de eucalipto), nos quais o acréscimo de resíduos dessa madeira ocasiona uma melhora na resistência ao arrancamento de parafusos. Esse fato é atribuído a uma possível potencialização da incompatibilidade dos dois materiais vegetais quando os mesmos se encontram em combinação em um painel. Um estudo mais aprofundado dessa interação poderá esclarecer esse comportamento.

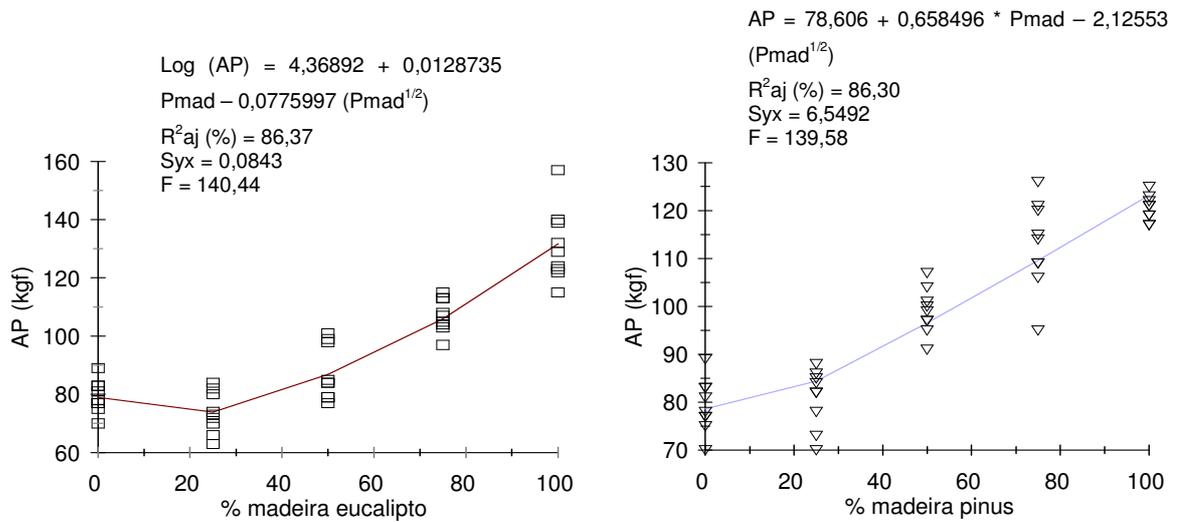


Figura 22 - Valores de resistência ao arrancamento de parafusos (AP) observados e ajustados em função da porcentagem de partículas de eucalipto e pinus.

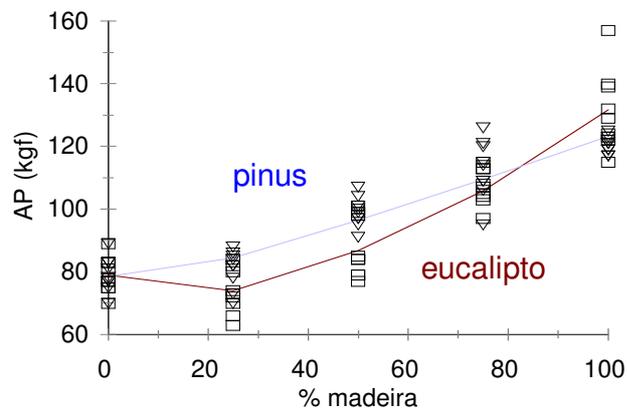


Figura 23 - Comparação entre os valores de resistência ao arrancamento de parafusos (AP) observados e ajustados em função da porcentagem de partículas de eucalipto e pinus.

4.2.3 Tração perpendicular à superfície do painel (ligação interna)

As médias de resistência à tração perpendicular (LI) dos tratamentos estão apresentadas na Tabela 10. Os valores observados para essa variável estiveram entre 3,70 e 12,15 kgf/cm². É notável o melhor desempenho das chapas manufaturadas com

partículas de pinus se comparado ao daquelas fabricadas com resíduos de eucalipto. Pode-se afirmar que a adição de cascas de arroz prejudicou o desempenho dos painéis no aspecto resistência à tração perpendicular, de forma que quanto mais desse componente foi agregado aos compósitos, menores foram os valores de LI.

Latorraca (1996), analisando o desempenho de chapas de cimento-madeira com resíduos de *Eucalyptus dunnii*, encontrou valores de LI em torno de 0,37 a 1,22 kgf/cm². Esses valores encontram-se bem abaixo dos observados no presente estudo. A utilização de cimento comum, ao invés de cimento Portland V ARI RS, que suporta melhor as incompatibilidades das matérias-primas vegetais com o cimento, é a provável causa da diferença entre os valores aqui observados e aqueles gerados no trabalho do referido autor.

Trabalhando com resíduos de pinus, Matoski (2005) observou valores de LI entre 1,10 e 7,66 kgf/cm². Considerando que esse autor utilizou uma relação de madeira:cimento (0,25) menor do que a usada neste estudo (0,364) e tendo em vista que quanto maior a quantidade de madeira nos painéis maior sua resistência à tração perpendicular, justificam-se os valores maiores de LI aqui encontrados.

Tabela 10 - Valores médios de resistência à tração perpendicular (LI) encontrados para os diferentes tratamentos.

Tratamento	eucalipto (%)	pinus (%)	casca de arroz (%)	LI (kgf/cm ²)
1	100	0	0	9,38
2	75	0	25	6,79
3	50	0	50	5,31
4	25	0	75	3,70
5	0	100	0	12,15
6	0	75	25	8,70
7	0	50	50	6,88
8	0	25	75	4,93
9	0	0	100	4,04

A significância estatística entre os valores de AP e as porcentagens de madeira nos modelos ajustados a partir dos dados observados geraram um nível de confiança maior de 99% ($P < 0,01$), tanto para os tratamentos que envolveram partículas de pinus quanto para aqueles que continham em sua composição partículas de eucalipto.

Na Figura 24, é possível observar os modelos e os dados obtidos nos ensaios de LI para as duas espécies florestais.

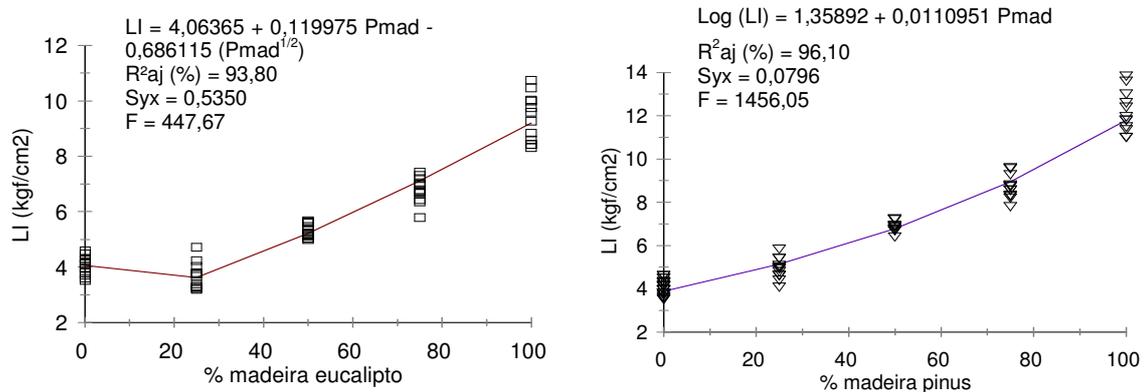


Figura 24 - Valores de resistência à tração perpendicular (LI) observados e ajustados em função da porcentagem de partículas de eucalipto e pinus.

Da mesma forma que nos ensaios de resistência ao arrancamento de parafusos, aqui se observa um comportamento particular dos painéis com resíduos de eucalipto combinados com cascas de arroz. O nível de 25% de resíduos de eucalipto reproduz valores de LI inferiores ao nível de 0% dessas partículas. Como anteriormente discutido, esse fato pode ser atribuído a uma potencialização da incompatibilidade dos dois materiais vegetais com o cimento quando resíduos de eucalipto e cascas de arroz encontram-se em combinação em um mesmo painel. Na Figura 25, encontram-se as duas equações ajustadas.

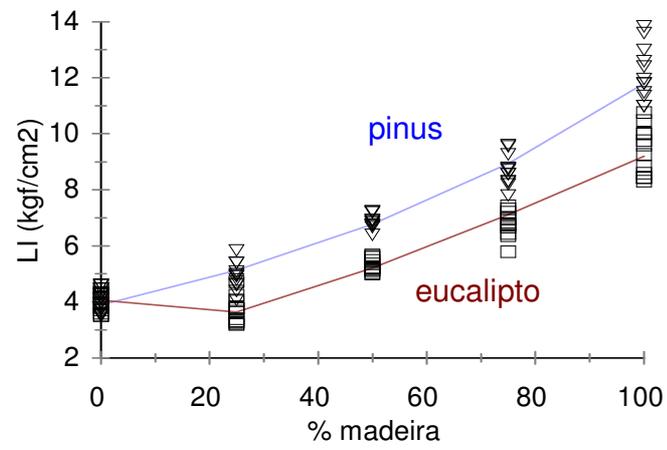


Figura 25 - Comparação entre os valores de resistência à tração perpendicular (LI) observados e ajustados em função da porcentagem de partículas de eucalipto e pinus.

5 CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos neste estudo, as seguintes conclusões são apresentadas:

Os painéis produzidos com partículas de pinus apresentaram piores características físicas, de forma que seu desempenho nos testes de absorção e inchamento em espessura para imersão de 24 horas foi inferior se comparado aos painéis fabricados à base de partículas de eucalipto.

A adição de cascas de arroz, contudo, melhorou as propriedades físicas dos painéis fabricados tanto com partículas de pinus quanto com partículas de eucalipto. Quanto maior a quantidade de cascas de arroz adicionada à chapa, menores foram as taxas de absorção de água e inchamento em espessura.

As propriedades mecânicas dos painéis foram afetadas positivamente com o acréscimo de maiores quantidades de partículas madeireiras, tendo sido o pinus o material que apresentou melhores resultados para módulo de elasticidade e ligação interna. O eucalipto obteve maiores valores de módulo de ruptura. No que se refere ao comportamento dos painéis em relação à resistência ao arrancamento de parafusos, as partículas de pinus geraram chapas mais resistentes, com exceção do tratamento de 100% de partículas de pinus, que apresentou valores inferiores ao do eucalipto.

A adição de cascas de arroz representou perda de resistência mecânica para todos os tratamentos em todas as propriedades avaliadas.

Estudos mais aprofundados no nível inicial de interação entre partículas de eucalipto e casca de arroz poderão esclarecer o comportamento de queda de desempenho apresentado nos testes de resistência ao arrancamento de parafusos e ligação interna.

Novas pesquisas que identifiquem as propriedades de painéis cimento-madeira feito com a mistura das duas espécies aqui estudadas e com a adição de cascas de arroz poderiam agregar conhecimento acerca do comportamento e viabilidade de compósitos produzidos a partir desses três tipos de biomassa vegetal em conjunto.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland. **Guia básico de utilização do cimento Portland**. 7. ed. São Paulo, 2002. 28 p.

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland. **Básico sobre cimento**. Disponível em <<http://www.abcp.com.br>>. Acesso em: 15 fev. 2008.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 5733**: cimento Portland de alta resistência inicial. 1991. 5 p.

ALBERTO, M. M. et. al. Compatibility of some tropical hardwoods species with Portland cement using isothermal calorimetry. **Forest Products Journal**, Madison, v. 50, n. 9, p. 83-88, Dec. 2000.

ASTM – American Society for Testing and Materials. **D 1037 – 99**: Standard test methods for evaluating properties of wood-base fiber and particle panel materials. Philadelphia, Pa, 1999.

AUER, C. G. et al. Estrutura anatômica e composição química de cavacos de madeira de eucalipto inoculados com o fungo *Thermoascus aurantiacus*. **IPEF**, Piracicaba, n. 37, p. 45-50, dez. 1987.

BERALDO, A. L. Compósitos Biomassa Vegetal-Cimento. In.: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 23., 1994, Campinas. **Anais...** Campinas: SBEA, 1994. p. 23. v. 1.

BERALDO, A.L. Compósitos Biomassa Vegetal-Cimento. In.: SIMPÓSIO “MATERIAIS NÃO CONVENCIONAIS PARA CONSTRUÇÕES RURAIS”, 1997, Campina Grande. **Anais...** Campina Grande: UFPB, 1997, p. 01-48.

BERALDO, A. L.; ZUCCO, L. L. Compósitos à base de cimento Portland: estudos efetuados para viabilizar o uso da casca de arroz. In: BALBUENA, R. H.; BENEZ, S. H.; JORAJURIA, D. **Ingeniería rural y mecanización agraria en el ámbito latino americano**. 1 ed. La Plata: UNLP, 1998, p. 479-88.

BIBLIS, E. J.; LO, C. Sugar and others wood extractives: Effect on the setting of Southern-pine cement mixtures, **Forest Products Journal**, Madison, v. 18, n.8, p. 28-34, Nov. 1968.

BLEZARD, R. G., **The history of calcareous cement** - Lea's Chemistry of Cement and rete. 4th ed. UK: Butterworth Heinemann, 2001, p.1-22.

CARVALHO, J.V. **Aproveitamento de resíduos particulados da madeira de Eucalyptus grandis na fabricação de compósitos à base de cimento Portland**. 2000. 82 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

COUTTS, R. S. P.; NI, P. The relationship between wood pulp fibre properties and fibre cement composite performance. In: APPITA ANNUAL GENERAL CONFERENCE PROCEEDINGS, 49., 1995. **Proceedings...** Austrália: Technical Association of the Australian and New Zealand Pulp and Paper Industry, 1995. 1 CD-ROM.

DACOSTA, L. P. E. **Utilização de resíduos do processamento mecânico da madeira para fabricação de chapas aglomeradas**. 2004. 188 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

FREIRE, W. J. Materiais Alternativos de Construção. In: _____. **Construções rurais: materiais**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1991. p.105-61.

HILLIG, E. **Qualidade de chapas aglomeradas estruturais, fabricadas com madeiras de Pinus, Eucalipto e Acácia-negra, puras ou misturadas, coladas com tanino-formaldeído**. 2000. 96 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria .

IBGE - Instituto Brasileiro De Geografia E Estatística. **Levantamento sistemático da produção agrícola**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/lspa_200906comentarios.pdf>. Acesso em : 10 de jul. de 2009.

IRGA – Instituto Riograndense do Arroz. **Acompanhamento da colheita de arroz no Rio Grande do Sul**. Disponível em: <http://www.irga.rs.gov.br/index.php?action=dados_safra_lista&categoria=1>. Acesso em: 18 jul. 2009.

IWAKIRI, S. et al. Resíduos de serraria na produção de painéis de madeira aglomerada de Eucalipto. **Scientia Agrária**, Curitiba, v. 1, n. 1/2, p. 23-28, jan./dez. 2000.

LATORRACA, J. V. F. **Estudo da viabilidade do uso da espécie *Eucalyptus dunnii* (Maid) na manufatura de painéis de madeira-cimento**. 1996. 94 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

LATORRACA, J. V. F. ***Eucalyptus* spp. na produção de painéis de cimento-madeira**. 2000. 182 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

LATORRACA, J. V. F. et al. Efeito inibidor de cinco espécies florestais sobre a cura do compósito cimento-madeira. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 6, n 1, p. 76-82, 1999.

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, June. 1984.

LIPINSKI, E. Potencial technologies for effectivily bonding wood with inorganic binders. In.: INTERNATIONAL INORGANIC-BONDED WOOD AND FIBER COMPOSITE MATERIALS CONFERENCE. 1994, Washington. **Proceedings...** Washington: Spokane, 1994, p.53-58.

MANZANARES, K. et al. Comunicación coeficiente de aptitude de tres especies forestales para formar aglomerados de madera – cemento. **Revista Forestal Baracoa**, La Habana, v. 2, n. 1, p. 59-73, jan./fev. 1991.

MATOSKI, A. **Utilização de pó de Madeira com granulometria controlada na produção de painéis de cimento-madeira**. 2005. 187 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

MATOSKI, A. et al. Análise de tensões em corpos de provas cilíndricos de compósito cimento-madeira utilizando materiais reciclados. In.: SEMINÁRIO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL, 6., 2003, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Ibracon, p. 34-40, 2003.

MATOSKI, A. **Efeitos deletérios dos cloretos em reservatórios de concreto.** 1998. 124 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

MOSLEMI, A. A.; AHN, W. Y. Examination of Wood-Portland Cement Bonds. **Wood Science**, Japan, v. 13, n. 2, p. 77-82, Apr. 1980.

MOSLEMI, A. A, et al. Effect of various treatments and additives on wood-portland cement-water systems. **Wood and Fiber Science**, Madison, v. 15, n. 2, p. 164-176, May/July. 1983.

MUSOKOTWANE, I. E. O. **Particle moisture content effects on the physical and mechanical properties of magnesite cement-bonded particleboard.** 1982. 113 f. Thesis (Master of Science) - The University of British Columbia, Vancouver.

PIMENTEL, L. L. **Telhas onduladas à base de cimento Portland e resíduos de *Pinus caribaea*.** 2000. 67 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

PIMIENTA, P. et al. Étude de faisabilité des procédés de construction à base de béton de bois. In: CSTB. **Cahiers du CSTB**. Paris: CSTB, 1994, p. 12-36.

RASHWAN, M. S. et al. Development of a lightweight, lowcost concrete block using wood residue. **Forest Products Journal**. Madison, v. 42, n. 5, p. 57-64, Sept. 1992.

SAVASTANO, H, et al. Sisal mechanical pulps as reinforcement for cement-based materials. In.: INTERNATIONAL CONFERENCE ON NON CONVENCIONAL MATERIALS AND TECHNOLOGIES, 2002, Vietnan. **Proceedings...** Vietnan: NOCMAT, 2002, p. 211-218.

SERRANO, J. S.; CASTRO, J. V. Materiales de construcción con propiedades aislantes a base de cascara de arroz. **Informes de la Construcción**, Madri, v.37, n. 7, p. 53-64, 1985.

SILVEIRA, A. et al. A cinza da casca de arroz como adição mineral. In: WORKSHOP RECICLAGEM E REUTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS COMO MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO CIVIL, 1996, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ANTAC, 1996. p. 39-45.

SIMATUPANG, M. H. et al. Small scale plants for the manufacture of mineral-bonded wood composites. In.: WORLD FORESTRY CONGRESS, 8., Jakarta. **Proceedings...** Jakarta: Special Paper, 1978, 21 p.

YOUNGQUIST, J. A. **Wooded based composites and panel products.** Wood Handbook – Wood as an engineering material. Madison - USA, p. 10.1 – 10.31, 1999.

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

ANEXOS

Anexo 1 - Tabelas com os valores reais obtidos nos ensaios físicos.

Tabela 11 - Valores de Absorção verificados nos ensaios físicos.

Trat.	Espécie	% mad	% casca	ME (g/cm ³)	Ab 2h (%)	Ab 24 h (%)
1	1	100	0	1,29	16,5	20,06
1	1	100	0	1,29	16,43	19,86
1	1	100	0	1,25	17,13	20,14
1	1	100	0	1,29	15,73	19,9
1	1	100	0	1,21	17,44	19,43
1	1	100	0	1,25	17,03	19,12
2	1	75	25	1,28	15,31	17,42
2	1	75	25	1,21	15,05	19,04
2	1	75	25	1,26	15,14	18,14
2	1	75	25	1,21	14,61	18,16
2	1	75	25	1,21	13,72	17,86
2	1	75	25	1,24	14,47	18,14
3	1	50	50	1,25	13,67	16,89
3	1	50	50	1,27	13,69	17,04
3	1	50	50	1,29	13,89	17,37
3	1	50	50	1,26	13,48	16,66
3	1	50	50	1,21	12,98	16,51
3	1	50	50	1,29	12,51	16,94
4	1	25	75	1,29	12,17	14,94
4	1	25	75	1,26	12,03	14,98
4	1	25	75	1,22	12,07	16,03
4	1	25	75	1,2	11,54	15,99
4	1	25	75	1,22	12,43	15,61
4	1	25	75	1,28	12,23	15,54
5	2	100	0	1,21	15,29	21,18
5	2	100	0	1,24	15,15	19,93
5	2	100	0	1,2	16,13	20,69
5	2	100	0	1,29	14,62	20,66
5	2	100	0	1,22	15,12	20,63
5	2	100	0	1,29	14,97	19,59
6	2	75	25	1,29	13,56	18,88
6	2	75	25	1,24	13,85	19,14
6	2	75	25	1,29	14,43	18,73
6	2	75	25	1,21	14,31	18,91
6	2	75	25	1,29	13,81	19,29

Contin...

6	2	75	25	1,28	13,57	19,2
7	2	50	50	1,29	13,21	16,97
7	2	50	50	1,2	13,63	18,11
7	2	50	50	1,22	12,29	17,23
7	2	50	50	1,26	13,22	17,53
7	2	50	50	1,27	12,6	16,83
7	2	50	50	1,23	12,86	17,3
8	2	25	75	1,2	12,2	16,06
8	2	25	75	1,22	11,99	15,73
8	2	25	75	1,28	12,58	15,52
8	2	25	75	1,28	11,89	16,78
8	2	25	75	1,21	12,59	15,57
8	2	25	75	1,3	12,41	15,38
9	2	0	100	1,26	10,97	14,4
9	2	0	100	1,29	10,81	14,27
9	2	0	100	1,27	11,55	14,01
9	2	0	100	1,21	10,84	14
9	2	0	100	1,2	10,95	14,12
9	2	0	100	1,27	11,38	13,65

Onde: Esp = espécie, sendo que Esp 1 = eucalipto e Esp 2 = pinus; % mad = porcentagem de madeira; % casca = porcentagem de casca; ME = massa específica; Abs 2h = absorção d'água - 2 horas de imersão; Abs 24h = absorção d'água - 24 horas de imersão.

Tabela 12 - Valores de Inchamento em espessura verificados nos ensaios físicos.

Trat.	Espécie	% mad	% casca	ME (g/cm ³)	IE 2h (%)	IE 24 h (%)
1	1	100	0	1,29	0,53	13,34
1	1	100	0	1,29	0,49	12,19
1	1	100	0	1,32	0,47	12,43
1	1	100	0	1,34	0,48	12,73
1	1	100	0	1,31	0,5	12,27
1	1	100	0	1,35	0,48	13,45
2	1	75	25	1,28	0,43	11,36
2	1	75	25	1,31	0,45	10,74
2	1	75	25	1,26	0,43	11,37
2	1	75	25	1,31	0,38	11,94
2	1	75	25	1,31	0,39	10,81
2	1	75	25	1,34	0,4	11,21
3	1	50	50	1,35	0,38	7,63
3	1	50	50	1,37	0,35	8,72
3	1	50	50	1,29	0,31	7,88
3	1	50	50	1,26	0,35	6,85
3	1	50	50	1,3	0,33	7,51
3	1	50	50	1,39	0,27	6,9
4	1	25	75	1,29	0,25	3,68
4	1	25	75	1,36	0,2	4,06
4	1	25	75	1,32	0,3	3,96
4	1	25	75	1,3	0,27	3,34
4	1	25	75	1,42	0,24	4,07
4	1	25	75	1,38	0,24	3,36
5	2	100	0	1,21	1,36	15,61
5	2	100	0	1,24	1,38	15,21
5	2	100	0	1,3	1,41	14,99
5	2	100	0	1,29	1,43	15,84
5	2	100	0	1,22	1,45	16
5	2	100	0	1,29	1,55	16,98
6	2	75	25	1,29	1	13,47
6	2	75	25	1,24	1,01	13,05
6	2	75	25	1,29	1,12	13,58
6	2	75	25	1,21	1,05	11,96
6	2	75	25	1,29	1,06	12,59

Contin...

6	2	75	25	1,18	1,09	11,99
7	2	50	50	1,29	0,7	7,91
7	2	50	50	1,3	0,87	7,63
7	2	50	50	1,22	0,75	8,71
7	2	50	50	1,26	0,81	8,56
7	2	50	50	1,27	0,83	8,05
7	2	50	50	1,23	0,8	7,88
8	2	25	75	1,2	0,46	4,45
8	2	25	75	1,22	0,41	5,5
8	2	25	75	1,28	0,5	5,01
8	2	25	75	1,28	0,47	4,99
8	2	25	75	1,21	0,5	4,61
8	2	25	75	1,3	0,44	4,25
9	2	0	100	1,26	0,18	1,07
9	2	0	100	1,29	0,12	1,1
9	2	0	100	1,27	0,13	1,31
9	2	0	100	1,21	0,19	1,41
9	2	0	100	1,5	0,12	1,57
9	2	0	100	1,27	0,13	1,33

Onde: Esp = espécie, sendo que Esp 1 = eucalipto e Esp 2 = pinus; % mad = porcentagem de madeira; % casca = porcentagem de casca; ME = massa específica; IE 2h = inchamento em espessura - 2 horas de imersão; IE 24h = inchamento em espessura - 24 horas de imersão.

Anexo 2 - Tabelas com os valores reais obtidos nos ensaios mecânicos.

Tabela 13 - Valores de MOE e MOR verificados nos ensaios mecânicos.

Trat.	Espécie	% mad	% casca	ME (g/cm ³)	MOE (kgf/cm ²)	MOR (kgf/cm ²)
1	1	100	0	1,32	23360,76	108,94
1	1	100	0	1,29	28582,42	138,41
1	1	100	0	1,3	31568,02	136,68
1	1	100	0	1,35	17145,61	127,21
1	1	100	0	1,32	16515,02	106,01
1	1	100	0	1,33	27282,27	103,65
1	1	100	0	1,21	28838,25	125,48
1	1	100	0	1,24	20886,38	117,79
1	1	100	0	1,13	28050,43	129,57
2	1	75	25	1,35	30566,82	108,74
2	1	75	25	1,34	33811,27	90,8
2	1	75	25	1,37	23766,37	93,13
2	1	75	25	1,31	28304,79	109,42
2	1	75	25	1,35	23028,1	89,16
2	1	75	25	1,31	15165,21	90,8
2	1	75	25	1,22	16872,33	99,84
2	1	75	25	1,23	24586,06	95,56
2	1	75	25	1,2	22216,69	95,46
3	1	50	50	1,35	13149,3	69,94
3	1	50	50	1,36	16407,91	69,84
3	1	50	50	1,27	15678,7	69,5
3	1	50	50	1,31	16256,34	69,84
3	1	50	50	1,39	19547,03	83,82
3	1	50	50	1,35	24398,8	97,78
3	1	50	50	1,34	25865,74	72,17
3	1	50	50	1,31	27879,91	95,46
3	1	50	50	1,25	20810,35	79,16
4	1	25	75	1,22	22684,61	65,19
4	1	25	75	1,36	17576,3	76,83
4	1	25	75	1,39	16663,5	81,49
4	1	25	75	1,45	11828,71	62,86
4	1	25	75	1,33	14010,4	67,52
4	1	25	75	1,31	22708,32	60,53
4	1	25	75	1,35	17113,96	83,82

Contin...						
4	1	25	75	1,19	19567,67	80,54
4	1	25	75	1,31	10663,46	60,53
5	2	100	0	1,27	49542,8	107,1
5	2	100	0	1,26	53225,44	88,47
5	2	100	0	1,33	42700	114,08
5	2	100	0	1,34	56141,41	93,13
5	2	100	0	1,31	34114,26	88,47
5	2	100	0	1,24	37246,66	102,44
5	2	100	0	1,27	30195,19	104,77
5	2	100	0	1,31	45412,67	100,11
5	2	100	0	1,28	48858,71	100,11
6	2	75	25	1,22	25521,72	76,83
6	2	75	25	1,23	40084,27	86,14
6	2	75	25	1,36	37980,99	86,14
6	2	75	25	1,32	28050,78	84,5
6	2	75	25	1,2	34492,49	90,8
6	2	75	25	1,27	31500,87	84,55
6	2	75	25	1,18	22010,84	90,8
6	2	75	25	1,24	26173,39	86,14
6	2	75	25	1,23	29746,87	93,13
7	2	50	50	1,28	17927,14	65,19
7	2	50	50	1,33	28159,33	55,88
7	2	50	50	1,28	25175,87	79,16
7	2	50	50	1,3	22028,28	67,52
7	2	50	50	1,27	16352,12	62,86
7	2	50	50	1,38	19851,88	81,49
7	2	50	50	1,31	18519,41	76,83
7	2	50	50	1,34	20995,72	76,83
7	2	50	50	1,36	28844,49	81,49
8	2	25	75	1,35	22659,23	67,52
8	2	25	75	1,4	25276,68	69,84
8	2	25	75	1,35	16012,72	58,2
8	2	25	75	1,31	22783,28	67,52
8	2	25	75	1,36	16381,19	60,53
8	2	25	75	1,43	19812,54	54,24
8	2	25	75	1,26	15538,8	54,24

Contin...							
8	2	25	75	1,25	12340,52	58,2	
8	2	25	75	1,26	9598,35	65,19	
9	2	0	100	1,33	14946,81	90,8	
9	2	0	100	1,36	22808,4	72,17	
9	2	0	100	1,45	28889,52	81,49	
9	2	0	100	1,43	18820,21	58,89	
9	2	0	100	1,36	2115,56	60,65	
9	2	0	100	1,41	15014,59	60,53	
9	2	0	100	1,37	13485,93	56,56	
9	2	0	100	1,44	9924,15	51,22	
9	2	0	100	1,43	1245,76	57,78	

Onde: Esp = espécie, sendo que Esp 1 = eucalipto e Esp 2 = pinus; % mad = porcentagem de madeira; % casca = porcentagem de casca; ME = massa específica; MOE = módulo de elasticidade; MOR = módulo de ruptura.

Tabela 14 - Valores de resistência ao Arrancamento de parafusos verificados nos ensaios mecânicos.

Trat	Esp	% mad	% casca	ME (g/cm ³)	AP (kgf)
1	1	100	0	1,32	140
1	1	100	0	1,29	122
1	1	100	0	1,3	157
1	1	100	0	1,35	115
1	1	100	0	1,32	129
1	1	100	0	1,33	124
1	1	100	0	1,21	132
1	1	100	0	1,24	123
1	1	100	0	1,13	139
2	1	75	25	1,35	108
2	1	75	25	1,34	113
2	1	75	25	1,37	103
2	1	75	25	1,31	104
2	1	75	25	1,35	113
2	1	75	25	1,31	107
2	1	75	25	1,22	115
2	1	75	25	1,23	105
2	1	75	25	1,2	97
3	1	50	50	1,35	84
3	1	50	50	1,36	99
3	1	50	50	1,27	85
3	1	50	50	1,31	84
3	1	50	50	1,39	79
3	1	50	50	1,35	101
3	1	50	50	1,34	79
3	1	50	50	1,31	98
3	1	50	50	1,25	77
4	1	25	75	1,22	82
4	1	25	75	1,36	74
4	1	25	75	1,39	70
4	1	25	75	1,45	63
4	1	25	75	1,33	80
4	1	25	75	1,31	72
4	1	25	75	1,35	84

Contin...						
4	1	25	75	1,19	66	
4	1	25	75	1,31	73	
5	2	100	0	1,27	121	
5	2	100	0	1,26	119	
5	2	100	0	1,33	117	
5	2	100	0	1,34	125	
5	2	100	0	1,31	122	
5	2	100	0	1,24	123	
5	2	100	0	1,27	119	
5	2	100	0	1,31	121	
5	2	100	0	1,28	117	
6	2	75	25	1,22	114	
6	2	75	25	1,23	121	
6	2	75	25	1,36	120	
6	2	75	25	1,32	109	
6	2	75	25	1,2	109	
6	2	75	25	1,27	106	
6	2	75	25	1,18	95	
6	2	75	25	1,24	115	
6	2	75	25	1,23	126	
7	2	50	50	1,28	91	
7	2	50	50	1,33	97	
7	2	50	50	1,28	95	
7	2	50	50	1,3	101	
7	2	50	50	1,27	97	
7	2	50	50	1,38	100	
7	2	50	50	1,31	99	
7	2	50	50	1,34	107	
7	2	50	50	1,36	104	
8	2	25	75	1,35	82	
8	2	25	75	1,4	86	
8	2	25	75	1,35	88	
8	2	25	75	1,31	70	
8	2	25	75	1,36	85	
8	2	25	75	1,43	84	
8	2	25	75	1,26	82	

Contin...						
8	2	25	75	1,25	73	
8	2	25	75	1,26	78	
9	2	0	100	1,33	81	
9	2	0	100	1,36	77	
9	2	0	100	1,45	70	
9	2	0	100	1,43	83	
9	2	0	100	1,36	78	
9	2	0	100	1,41	83	
9	2	0	100	1,37	77	
9	2	0	100	1,44	89	
9	2	0	100	1,43	75	

Onde: Esp = espécie, sendo que Esp 1 = eucalipto e Esp 2 = pinus; % mad = porcentagem de madeira; % casca = porcentagem de casca; ME = massa específica; AP = resistência ao arrancamento de parafusos.

Tabela 15 - Valores de Ligação interna verificados nos ensaios mecânicos.

Trat	Esp	% mad	% casca	ME (g/cm ³)	LI (kgf/cm ²)
1	1	100	0	1,28	8,44
1	1	100	0	1,33	8,6
1	1	100	0	1,42	10,76
1	1	100	0	1,31	9,28
1	1	100	0	1,47	8,84
1	1	100	0	1,49	8,44
1	1	100	0	1,32	9,76
1	1	100	0	1,33	10
1	1	100	0	1,27	8,32
1	1	100	0	1,28	10,48
1	1	100	0	1,38	9,6
1	1	100	0	1,36	10,04
2	1	75	25	1,3	6,72
2	1	75	25	1,32	6,44
2	1	75	25	1,34	6,68
2	1	75	25	1,31	6,8
2	1	75	25	1,29	6,36
2	1	75	25	1,3	7,44
2	1	75	25	1,33	7,32
2	1	75	25	1,37	6,96
2	1	75	25	1,27	6,76
2	1	75	25	1,29	5,8
2	1	75	25	1,24	7
2	1	75	25	1,29	7,2
3	1	50	50	1,37	5,36
3	1	50	50	1,38	5,24
3	1	50	50	1,42	5,04
3	1	50	50	1,41	5,68
3	1	50	50	1,36	5,12
3	1	50	50	1,38	5,6
3	1	50	50	1,43	5,64
3	1	50	50	1,43	5,48
3	1	50	50	1,28	5,2
3	1	50	50	1,26	5
3	1	50	50	1,24	5,2

Contin...						
3	1	50	50	1,27	5,16	
4	1	25	75	1,43	3,32	
4	1	25	75	1,43	4,24	
4	1	25	75	1,43	3,2	
4	1	25	75	1,44	3,76	
4	1	25	75	1,33	4,04	
4	1	25	75	1,31	3,4	
4	1	25	75	1,04	3,24	
4	1	25	75	1,3	3,68	
4	1	25	75	1,38	4,72	
4	1	25	75	1,35	3,76	
4	1	25	75	1,45	3,28	
4	1	25	75	1,44	3,8	
5	2	100	0	1,4	12,6	
5	2	100	0	1,36	13,84	
5	2	100	0	1,29	11,8	
5	2	100	0	1,28	13,6	
5	2	100	0	1,26	11,48	
5	2	100	0	1,22	11,36	
5	2	100	0	1,29	11	
5	2	100	0	1,31	11,8	
5	2	100	0	1,24	11,96	
5	2	100	0	1,23	13	
5	2	100	0	1,25	12,4	
5	2	100	0	1,28	11	
6	2	75	25	1,38	8,2	
6	2	75	25	1,36	7,8	
6	2	75	25	1,34	8,56	
6	2	75	25	1,32	8,72	
6	2	75	25	1,2	8,28	
6	2	75	25	1,17	9,28	
6	2	75	25	1,27	9,56	
6	2	75	25	1,32	8,76	
6	2	75	25	1,38	8,8	
6	2	75	25	1,39	8,32	
6	2	75	25	1,37	9,6	

Contin...						
6	2	75	25	1,37	8,56	
7	2	50	50	1,3	7,2	
7	2	50	50	1,25	6,4	
7	2	50	50	1,28	6,76	
7	2	50	50	1,36	6,68	
7	2	50	50	1,3	6,88	
7	2	50	50	1,29	7,24	
7	2	50	50	1,33	6,92	
7	2	50	50	1,33	6,72	
7	2	50	50	1,33	6,84	
7	2	50	50	1,32	7,2	
7	2	50	50	1,34	6,76	
7	2	50	50	1,31	6,92	
8	2	25	75	1,4	4,92	
8	2	25	75	1,35	5,84	
8	2	25	75	1,32	4,8	
8	2	25	75	1,35	4,96	
8	2	25	75	1,33	5,4	
8	2	25	75	1,33	5,08	
8	2	25	75	1,33	5,4	
8	2	25	75	1,32	4,4	
8	2	25	75	1,29	4,08	
8	2	25	75	1,28	5	
8	2	25	75	1,37	4,6	
8	2	25	75	1,34	4,64	
9	2	0	100	1,47	4,6	
9	2	0	100	1,46	3,96	
9	2	0	100	1,49	3,6	
9	2	0	100	1,48	4,28	
9	2	0	100	1,35	4,48	
9	2	0	100	1,3	3,96	
9	2	0	100	1,42	4,16	
9	2	0	100	1,42	3,8	
9	2	0	100	1,48	3,72	
9	2	0	100	1,51	4,12	
9	2	0	100	1,51	4,32	

Contin...					
9	2	0	100	1,47	3,52

Onde: Esp = espécie, sendo que Esp 1 = eucalipto e Esp 2 = pinus; % mad = porcentagem de madeira; % casca = porcentagem de casca; ME = massa específica; LI = ligação interna.

Anexo 3 - Análises de variância das regressões.

Tabela 16 - Análise de variância da regressão para Absorção – 2h – eucalipto.

FV	SQ	GL	QM	F	P
Modelo	117,139	2	58,5697	244,37	0,0000
Resíduo	6,47133	27	0,239679		
Total	123,611	29			

Tabela 17 - Análise de variância da regressão para Absorção – 2h – pinus.

FV	SQ	GL	QM	F	P
Modelo	0,345552	1	0,345552	379,66	0,0000
Resíduo	0,0254846	28	0,000910164		
Total	0,371037	29			

Tabela 18 - Análise de variância da regressão para Absorção – 24h – eucalipto.

FV	SQ	GL	QM	F	P
Modelo	117,013	1	117,013	766,58	0,0000
Resíduo	4,27399	28	0,152642		
Total	121,287	29			

Tabela 19 - Análise de variância da regressão para Absorção – 24h – pinus.

FV	SQ	GL	QM	F	P
Modelo	152,227	1	152,227	888,59	0,0000
Resíduo	4,79675	28	0,171312		
Total	157,024	29			

Tabela 20 - Análise de variância da regressão para Inchamento em espessura – 2h – eucalipto.

FV	SQ	GL	QM	F	P
Modelo	0,440327	1	0,440327	485,97	0,0000
Resíduo	0,02537	28	0,000906071		
Total	0,465697	29			

Tabela 21 - Análise de variância da regressão para Inchamento em espessura – 2h – pinus.

FV	SQ	GL	QM	F	P
Modelo	5,99768	1	5,99768	2230,07	0,0000
Resíduo	0,075305	28	0,00268946		
Total	6,07299	29			

Tabela 22 - Análise de variância da regressão para Inchamento em espessura – 24h – eucalipto.

FV	SQ	GL	QM	F	P
Modelo	21,4425	2	10,7212	1371,18	0,0000
Resíduo	0,211112	27	0,00781897		
Total	21,6536	29			

Tabela 23 - Análise de variância da regressão para Inchamento em espessura – 24h – pinus.

FV	SQ	GL	QM	F	P
Modelo	817,778	1	817,778	2254,32	0,0000
Resíduo	10,1573	28	0,362761		
Total	827,935	29			

Tabela 24 - Análise de variância da regressão para MOE – eucalipto.

FV	SQ	GL	QM	F	P
Modelo	7,25093E8	1	7,25093E8	20,01	0,0001
Resíduo	1,55788E9	43	3,62297E7		
Total	2,28297E9	44			

Tabela 25 - Análise de variância da regressão para MOE – pinus.

FV	SQ	GL	QM	F	P
Modelo	5,03468E9	2	2,51734E9	51,12	0,0000
Resíduo	2,06837E9	42	4,92468E7		
Total	7,10305E9	44			

Tabela 26 - Análise de variância da regressão para MOR – eucalipto.

FV	SQ	GL	QM	F	P
Modelo	2,60141	1	2,60141	114,71	0,0000
Resíduo	0,975152	43	0,022678		
Total	3,57656	44			

Tabela 27 - Análise de variância da regressão para MOR – pinus.

FV	SQ	GL	QM	F	P
Modelo	1,47509	2	0,737546	52,00	0,0000
Resíduo	0,595745	42	0,0141844		
Total	2,07084	44			

Tabela 28 - Análise de variância da regressão para Arrancamento de parafusos – eucalipto.

FV	SQ	GL	QM	F	P
Modelo	1,99815	2	0,999075	140,44	0,0000
Resíduo	0,298785	42	0,00711393		
Total	2,29694	44			

Tabela 29 - Análise de variância da regressão para Arrancamento de parafusos – pinus.

FV	SQ	GL	QM	F	P
Modelo	11973,8	2	5986,88	139,58	0,0000
Resíduo	1801,45	42	42,8916		
Total	13775,2	44			

Tabela 30 - Análise de variância da regressão para Ligação interna – eucalipto.

FV	SQ	GL	QM	F	P
Modelo	256,221	2	128,11	447,67	0,0000
Resíduo	16,3118	57	0,286171		
Total	272,533	59			

Tabela 31 - Análise de variância da regressão para Ligação interna – pinus.

FV	SQ	GL	QM	F	P
Modelo	9,23265	1	9,23265	1456,05	0,0000
Resíduo	0,367771	58	0,00634089		
Total	9,60043	59			