UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
INSTITUTO DE FÍSICA DE SÃO CARLOS
INSTITUTO DE QUÍMICA DE SÃO CARLOS

LUCIANO DONIZETI VARANDA

Produção e avaliação do desempenho de painéis de partículas de *Eucalyptus grandis* confeccionados com adição de casca de aveia

São Carlos
2012

LUCIANO DONIZETI VARANDA

Produção e avaliação do desempenho de painéis de partículas de *Eucalyptus grandis* confeccionados com adição de casca de aveia

Versão Corrigida

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação Interunidades em Ciência e Engenharia de Materiais da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Mestre em Ciência e Engenharia de Materiais.

Área de concentração: Desenvolvimento, Caracterização e Aplicação de Materiais.

Orientador: Prof. Francisco Antonio Rocco Lahr

São Carlos

2012

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Atendimentos
ao Usuário do Serviço de Biblioteca – EESC/USP.

V288p

Varanda, Luciano Donizeti

Produção e avaliação do desempenho de painéis de partículas de *Eucalyptus grandis* confeccionados com adição de casca de aveia. / Luciano Donizeti Varanda; orientador Francisco Antonio Rocco Lahr. São Carlos, 2012.

Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação Interunidades em Ciências e Engenharia de Materiais e Área de Concentração em Desenvolvimento Caracterização e Aplicação de Materiais -- Escola de Engenharia de São Carlos; Instituto de Física de São Carlos; Instituto de Química de São Carlos, da Universidade de São Paulo, 2012.

1. Painéis de partículas. 2. *Eucalyptus grandis*. 3. Casca de aveia. 4. Análise de variância (ANOVA). 5. Propriedades físico-mecânicas. I. Título.

FOLHA DE APROVAÇÃO

Aos meus amados pais Gonçalo (*in memoriam*) e Vera, pelo carinho e incentivo,
Ao meu querido mestre Francisco Antonio Rocco Lahr, pela amizade e confiança,
Dedico.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço ao meu Deus, pela saúde, força espiritual e oportunidades concedidas em minha vida;

Aos meus pais Gonçalo (*in memoriam*) e Vera, por toda a motivação, carinho, paciência e aprendizado. Em especial a minha mãe Vera Lúcia Rosalin e minha avó Lázara Cambi Rosalin (*Lazinha*), pelo apoio ético, moral e espiritual incondicionais, pela amizade, bons conselhos e excepcionais momentos que vivemos juntos e que serão recordados por toda minha vida;

Ao meu orientador Prof. Dr. Francisco Antonio Rocco Lahr, pela oportunidade, simpatia, paciência, incentivo, amizade, competência, presteza e aprendizados profissional, acadêmico e pessoal;

A minha família pelo apoio, participação e credibilidade;

Aos amigos do Laboratório de Madeiras e de Estruturas de Madeiras – LaMEM: funcionários, alunos de pós-graduação e professores, pela contribuição, seriedade e comprometimento em minha formação e, por todas as amizades, festas e participações em meu mestrado e em minha vida;

Em especial aos amigos do LaMEM, os técnicos Aparecido Galindo (*Cidão*) e Roberto Galindo, a pesquisadora Maria Fátima do Nascimento (*Fati*) e a doutoranda Marília da Silva Bertolini, que muito me auxiliaram na realização dos meus estudos e pesquisas, além dos bons exemplos e conselhos, sempre com muito humor, sabedoria e simplicidade;

Aos amigos do Laboratório de Construções e Ambiente, da Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos – FZEA, USP, na cidade de Pirassununga – SP. Em especial ao Prof. Dr. Juliano Fiorelli, a mestranda Nubia Mireya Garzón Barrero e ao pesquisador Luiz Fernando Frezzatti Santiago (*Piu*), por me receberem e me orientarem na execução dos ensaios de envelhecimento artificial acelerado;

Ao Prof. Dr. André Luis Christoforo e seu orientado Sérgio Luiz Moni Ribeiro Filho, ambos da Universidade Federal de São João del Rei – UFSJ, pela contribuição, seriedade e pelos conhecimentos em estatística;

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES, pela concessão da bolsa de mestrado, pelo auxílio financeiro aprovado e liberado e pelo apoio à pesquisa;

Aos professores do curso de Pós-graduação em Ciência e Engenharia de Materiais – EESC/USP e ao técnico Geraldo Frigo, do Instituto de Física de São Carlos – IFSC, pela orientação nos ensaios de Porosimetria por Intrusão de Mercúrio;

A Universidade de São Paulo - USP, pela oportunidade de realização do curso de Mestrado, pela concessão de toda a infraestrutura de seus laboratórios e recursos necessários para a realização deste estudo e pela excelência em ensino, pesquisa e recursos humanos;

Ao amigo de trabalho no LaMEM, Amós Magalhães de Souza (Zé), pela amizade, companheirismo, aprendizado e por todas as “cervejadas”, piadas e modas de viola;

Aos amigos da cidade de Dourado – SP, pela amizade, companheirismo e por todas as “cervejadas” e contatos com a natureza exuberante da cidade, principalmente as idas as cachoeiras e ao rio Jacaré Pepira, em especial ao historiador e empresário Luciano Sérgio Pietro (*Biju*), ao educador físico Ricardo Zólio (*Pilita*) e ao historiador João Agnelli Neto (*João Neto*);

Enfim, a todos que de alguma maneira participaram da realização desde trabalho e desta etapa da minha vida, os meus sinceros agradecimentos.

“Se a existência cotidiana lhe parecer pobre,
não a acuse. Acuse a si mesmo por não ser
capaz de extrair suas próprias riquezas”.

Rainer Rilke

RESUMO

VARANDA, L. D. (2012). **Produção e avaliação do desempenho de painéis de partículas de *Eucalyptus grandis* confeccionados com adição de casca de aveia**. 155 f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Instituto de Física de São Carlos, Instituto de Química de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

Os painéis à base de madeira vêm sendo amplamente utilizados em todo o mundo, em resposta à redução de oferta de madeira maciça em diversos segmentos da indústria madeireira, como em móveis, painéis, estruturas e outros componentes na construção civil. O grande volume de resíduos gerados pela agroindústria viabiliza o desenvolvimento de materiais alternativos e sustentáveis, destacando-se os painéis de partículas. Este trabalho apresenta um estudo da produção e avaliação de painéis de partículas de *Eucalyptus grandis* e casca de aveia, aderidas sob pressão com dois tipos de resinas (poliuretana à base de mamona e ureia formaldeído). O desempenho físico-mecânico dos painéis produzidos foi avaliado com base na ABNT NBR 14810:2006. Por meio de análise de variância (ANOVA), avaliou-se a influência dos fatores adotados: madeira de *Eucalyptus grandis*, com proporções mássicas de 70, 85 e 100%; casca de aveia, nas proporções de 15, 30 e 100%; e adesivos, nas proporções de 10, 12 e 14%, bem como a combinação entre ambos, em cada uma das variáveis respostas (propriedades físico-mecânicas) avaliadas. Os resultados apontaram excelentes propriedades físico-mecânicas, em alguns casos muito superiores aos requisitos estipulados pelas normas nacionais e internacionais. Desta maneira, ficou comprovado o bom desempenho dos painéis de partículas produzidos, além de sua compatibilidade para aplicações em indústrias, como de móveis, painéis, embalagens e na construção civil.

Palavras-chave: Painéis de partículas. *Eucalyptus grandis*. Casca de aveia. Análise de variância (ANOVA). Propriedades físico-mecânicas.

ABSTRACT

VARANDA, L. D. (2012). **Production and performance evaluation of particleboard made from *Eucalyptus grandis* addition of oat hulls**. 155 f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Instituto de Física de São Carlos, Instituto de Química de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

Wood-based panels have been widely used around the world, replacing solid wood in various segments of the industry, such as furniture, panels, structures and other building components. The large volume of waste generated by agro industry enables the development of alternative and sustainable materials, highlighting the particleboard. This paper presents a study about production and evaluation of particleboard of *Eucalyptus grandis* and oat hulls, bonded under pressure with two types of resins (polyurethane based on castor oil and urea formaldehyde). Physical-mechanical performance of the panels produced was evaluated based on ABNT NBR 14810:2006. A variance analysis (ANOVA) evaluated the factors influence: *Eucalyptus grandis*, with mass ratios of 70, 85 and 100%; oat hulls, in proportions of 15, 30 and 100%; adhesives, in proportions of 10, 12 and 14%, and the combination of both, in each of the response variables (physical and mechanical properties) evaluated. Results showed excellent physical-mechanical properties, in some cases much higher than national and international codes requirements. Thus, panel particles good performance was proved, in addition to its compatibility with applications in wood industries, such as furniture, panels, packaging and in building construction.

Keywords: Particleboard. *Eucalyptus grandis*. Oat hulls. Analysis of variance (ANOVA). Physical-mechanical properties.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Resíduos de: <i>Eucalyptus grandis</i> (a), casca de aveia (b) e resinas utilizadas: poliurenata à base de mamona (c) e ureia formaldeído (d).....	50
Figura 2 - Moinho de facas (a), peneira de 2,8 mm (b) e partículas de: <i>Eucalyptus grandis</i> (c) e casca de aveia (d)	51
Figura 3 - Estufa utilizada.....	53
Figura 4 - Equipamentos utilizados: SOLOTEST para vibração (a) e balança analítica (b).....	54
Figura 5 - Encoladeira (a) e (b) e resinas utilizadas: poliuretana à base de mamona (c) e ureia formaldeído (d).....	57
Figura 6 - Pré-prensa (a), molde de pré-prensagem (b), “colchão” de partículas recebendo pressão (c) e “colchão” de partículas pré-conformado (d).....	58
Figura 7 - Prensa (a), painel após prensagem (b) e parte dos painéis em acondicionamento (c).....	59
Figura 8 - Esquadrejamento (a), painel esquadrejado (b), primeiro corte - divisão do painel (c) e retirada do corpo de prova para flexão (d).....	60
Figura 9 - Corpos de prova de arrancamento de parafuso – topo (a), arrancamento de parafuso – face (b), flexão estática (c) e serra circular utilizada (d)	61
Figura 10 - Esquema de retirada dos corpos de prova	62
Figura 11 - Ensaio de densidade dos painéis: balança analítica (a), paquímetro digital (b) e corpos de prova (c)	64
Figura 12 - Corpos de prova de inchamento em espessura e absorção de água	66
Figura 13 - Máquina universal de ensaios da AMSLER	67
Figura 14 - Ensaio de flexão estática (a), corpos de prova de adesão interna (b) e ensaio de adesão interna (c)	69
Figura 15 - Furadeira de bancada (a), execução do furo para fixação do parafuso (b) e parafusadeira fixando o parafuso (c)	70
Figura 16 - Ensaios de arrancamento de parafuso: face (a) e topo (b)	71
Figura 17 - Corpo de prova (a), cápsula para intrusão do mercúrio (b) e equipamento Micromeritics Poresizer – 9320 (c)	72
Figura 18 - Equipamentos utilizados: banho com circulação (a), estufa (b) e câmara	

climática (c)	73
Figura 19 - Corpos de prova com danos de: empenamento (a) e (b) e delaminações (c)	74
Figura 20 - Exemplos dos gráficos de validação da ANOVA: distribuição uniforme (a), distribuição não uniforme (b) e normalização de Box-Cox (c)	85
Figura 21 - Principais efeitos sobre a densidade. Frações de: <i>Eucalyptus grandis</i> (a) e casca de aveia (b)	86
Figura 22 - Principais efeitos sobre a densidade após o envelhecimento. Frações de adesivo	87
Figura 23 - Principais efeitos sobre a razão de compactação. Frações de: <i>Eucalyptus grandis</i> (a) e casca de aveia (b)	90
Figura 24 - Principais efeitos sobre a razão de compactação após o envelhecimento. Frações de: <i>Eucalyptus grandis</i> (a), casca de aveia (b) e adesivo (c).....	91
Figura 25 - Principais efeitos das interações sobre a razão de compactação após o envelhecimento: <i>Eucalyptus grandis</i> -adesivo (a) e casca de aveia-adesivo (b)	91
Figura 26 - Principais efeitos sobre o inchamento em espessura (2h). Frações de: <i>Eucalyptus grandis</i> (a), casca de aveia (b) e adesivo (c)	95
Figura 27 - Principais efeitos sobre o inchamento em espessura (2h) após envelhecimento. Frações de: <i>Eucalyptus grandis</i> (a) e casca de aveia (b)	96
Figura 28 - Principais efeitos sobre a absorção de água (2h). Frações de: <i>Eucalyptus grandis</i> (a), casca de aveia (b) e adesivo (c)	99
Figura 29 - Principais efeitos sobre a absorção de água (2h), após o envelhecimento. Frações de: <i>Eucalyptus grandis</i> (a), casca de aveia (b) e adesivo (c).....	100
Figura 30 - Principais efeitos das interações sobre a absorção de água (2h): <i>Eucalyptus grandis</i> - adesivo (a) e casca de aveia-adesivo (b).....	100
Figura 31 - Principais efeitos sobre o módulo de elasticidade. Frações de: <i>Eucalyptus grandis</i> (a), casca de aveia (b) e adesivo (c)	104
Figura 32 - Principais efeitos sobre o módulo de elasticidade após o envelhecimento. Frações de: <i>Eucalyptus grandis</i> (a), casca de aveia (b) e adesivo (c).....	105
Figura 33 - Principais efeitos das interações sobre o módulo de elasticidade após o envelhecimento: <i>Eucalyptus grandis</i> -adesivo (a) e casca de aveia-adesivo (b)	105
Figura 34 - Principais efeitos sobre o módulo de ruptura. Frações de: <i>Eucalyptus grandis</i> (a), casca de aveia (b) e adesivo (c)	108

Figura 35 - Principais efeitos sobre o módulo de ruptura após o envelhecimento. Frações de: <i>Eucalyptus grandis</i> (a), casca de aveia (b) e adesivo (c)	109
Figura 36 - Principais efeitos sobre a adesão interna. Frações de: <i>Eucalyptus grandis</i> (a) e casca de aveia (b).....	112
Figura 37 - Principais efeitos sobre a adesão interna após o envelhecimento. Frações de: <i>Eucalyptus grandis</i> (a), casca de aveia (b) e adesivo (c)	113
Figura 38 - Principais efeitos das interações sobre a adesão interna: <i>Eucalyptus grandis</i> -adesivo (a) e casca de aveia-adesivo (b)	113
Figura 39 - Principais efeitos sobre o arrancamento de parafuso na superfície. Frações de: <i>Eucalyptus grandis</i> (a), casca de aveia (b) e adesivo (c)	116
Figura 40 - Principais efeitos sobre o arrancamento de parafuso na superfície após o envelhecimento. Frações de: <i>Eucalyptus grandis</i> (a), casca de aveia (b) e adesivo (c).....	117
Figura 41 - Principais efeitos sobre o arrancamento de parafuso no topo. Frações de: <i>Eucalyptus grandis</i> (a), casca de aveia (b) e adesivo (c)	120
Figura 42 - Principais efeitos das interações sobre o arrancamento de parafuso - topo: <i>Eucalyptus grandis</i> -adesivo (a) e casca de aveia-adesivo (b).....	121
Figura 43 - Principais efeitos sobre o arrancamento de parafuso no topo, após o envelhecimento. Frações de: <i>Eucalyptus grandis</i> (a) e adesivo (b).	122
Figura 44 - Curva padrão de intrusão porosimétrica da amostra com 100% de <i>Eucalyptus grandis</i>	123
Figura 45 - Curva padrão de intrusão porosimétrica da amostra com 85% de <i>Eucalyptus grandis</i> e 15% de casca de aveia	123
Figura 46 - Curva padrão de intrusão porosimétrica da amostra com 70% de <i>Eucalyptus grandis</i> e 30% de casca de aveia	124
Figura 47 - Curva padrão de intrusão porosimétrica da amostra com 100% de casca de aveia	124

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Fatores e níveis experimentais	55
Tabela 2 - Composição entre fatores.....	55
Tabela 3 - Dimensões dos corpos de prova para os ensaios realizados	62
Tabela 4 - Teor de umidade (TU) das partículas de <i>Eucalyptus grandis</i> e casca de aveia.....	78
Tabela 5 - Distribuição granulométrica das partículas de <i>Eucalyptus grandis</i>	80
Tabela 6 - Distribuição granulométrica das partículas de casca de aveia	80
Tabela 7 - Teor de umidade (TU) dos painéis de partículas	81
Tabela 8 - Valores médios da densidade (D) dos painéis.....	83
Tabela 9 - P-valores dos fatores e interações investigados em relação à densidade (D)	84
Tabela 10 - Valores médios da razão de compactação (RC) dos painéis.....	88
Tabela 11 - P-valores dos fatores e interações investigados em relação à razão de compactação (RC)	89
Tabela 12 - Valores médios do inchamento em espessura - 2h (IE 2h) dos painéis..	93
Tabela 13 - P-valores dos fatores e interações investigados em relação ao inchamento em espessura - 2h (IE 2h)	94
Tabela 14 - Valores médios da absorção de água - 2h (AA 2h) dos painéis.....	97
Tabela 15 - P-valores dos fatores e interações investigados em relação à absorção de água - 2h (AA 2h)	98
Tabela 16 - Valores médios do módulo de elasticidade (MOE) dos painéis	102
Tabela 17 - P-valores dos fatores e interações investigados em relação ao módulo de elasticidade (MOE).....	103
Tabela 18 - Valores médios do módulo de ruptura (MOR) dos painéis.....	107
Tabela 19 - P-valores dos fatores e interações investigados em relação ao módulo de ruptura (MOR)	107
Tabela 20 - Valores médios da adesão interna (AI) dos painéis.....	110

Tabela 21 - P-valores dos fatores e interações investigados em relação à adesão interna (AI).....	111
Tabela 22 - Valores médios do arrancamento de parafusos na superfície (AP_S) dos painéis	115
Tabela 23 - P-valores dos fatores e interações investigados em relação ao arrancamento de parafusos na superfície (AP_S).....	115
Tabela 24 - Valores médios do arrancamento de parafusos no topo (AP_T) dos painéis	118
Tabela 25 - P-valores dos fatores e interações investigados em relação ao arrancamento de parafusos no topo (AP_T)	119
Tabela 26 - Características porosimétricas das amostras analisadas.....	125
Tabela 27 - Valores das propriedades físicas dos painéis: condições experimentais 1, 2, 3 e 4 (Tabela 2).....	142
Tabela 28 - Valores das propriedades físicas dos painéis: condições experimentais 5, 6, 7 e 8 (Tabela 2).....	143
Tabela 29 - Valores das propriedades físicas dos painéis: condições experimentais 9, 10, 11 e 12 (Tabela 2)	144
Tabela 30 - Valores das propriedades físicas dos painéis, após o envelhecimento: condições experimentais 1, 2, 3 e 4 (Tabela 2).....	145
Tabela 31 - Valores das propriedades físicas dos painéis, após o envelhecimento: condições experimentais 5, 6, 7 e 8 (Tabela 2).....	146
Tabela 32 - Valores das propriedades físicas dos painéis, após o envelhecimento: condições experimentais 9, 10, 11 e 12 (Tabela 2)	147
Tabela 33 - Valores das propriedades mecânicas dos painéis: condições experimentais 1, 2, 3 e 4 (Tabela 2).....	148
Tabela 34 - Valores das propriedades mecânicas dos painéis: condições experimentais 5, 6, 7 e 8 (Tabela 2).....	149
Tabela 35 - Valores das propriedades mecânicas dos painéis: condições experimentais 9, 10, 11 e 12 (Tabela 2).....	150
Tabela 36 - Valores das propriedades mecânicas dos painéis, após o envelhecimento: condições experimentais 1, 2, 3 e 4 (Tabela 2).....	151
Tabela 37 - Valores das propriedades mecânicas dos painéis, após o envelhecimento: condições experimentais 5, 6, 7 e 8 (Tabela 2).....	152

Tabela 38 - Valores das propriedades mecânicas dos painéis, após o envelhecimento: condições experimentais 9, 10, 11 e 12 (Tabela 2)	153
Tabela 39 - Valores das análises granulométricas das partículas de <i>Eucalyptus grandis</i>	154
Tabela 40 - Valores das análises granulométricas das partículas de casca de aveia	155

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	27
2 OBJETIVOS	29
2.1 Objetivo geral	29
2.2 Objetivos específicos	29
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	31
3.1 Breve histórico de painéis de partículas	31
3.2 Painéis de partículas de madeira	32
3.3 Materiais compostos	33
3.4 Incorporação de cargas em painéis de madeira	35
3.5 O mercado brasileiro de painéis de madeira	36
3.6 Matérias primas empregadas.....	38
3.6.1 Madeira de <i>Eucalyptus</i>	38
3.6.2 Casca de aveia.....	40
3.6.3 Adesivos	41
3.6.3.1 Ureia formaldeído	43
3.6.3.2 Poliuretana à base de mamona	44
3.7 Parâmetros que influenciam o desempenho físico-mecânico de painéis de partículas.....	44
3.8 Conclusão da revisão bibliográfica.....	46
4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	49
4.1 Materiais	49
4.2 Produção e caracterização das partículas.....	51
4.2.1 Geração das partículas	51
4.2.2 Determinação das propriedades das partículas	52
4.2.2.1 Teor de umidade	52
4.2.2.2 Análise granulométrica	53
4.3 Produção dos painéis em laboratório	54
4.3.1 Estudos preliminares e delineamento experimental	54

4.3.2	Preparação e aplicação da resina	56
4.3.3	Pré-prensagem e prensagem.....	57
4.4	Obtenção dos corpos de prova.....	59
4.5	Caracterização físico-mecânica dos painéis	63
4.5.1	Propriedades físicas.....	63
4.5.2	Propriedades mecânicas.....	67
4.6	Demais análises dos painéis de partículas	71
4.6.1	Porosimetria por Intrusão de Mercúrio.....	71
4.6.2	Envelhecimento artificial acelerado	73
4.7	Análise estatística	75
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	77
5.1	Propriedades das partículas	78
5.1.1	Teor de umidade	78
5.1.2	Análise granulométrica	79
5.2	Propriedades físico-mecânicas dos painéis	81
5.2.1	Propriedades físicas.....	81
5.2.1.1	Teor de umidade.....	81
5.2.1.2	Densidade	82
5.2.1.3	Razão de compactação.....	87
5.2.1.4	Inchamento em espessura (2h).....	92
5.2.1.5	Absorção de água (2h).....	96
5.2.2	Propriedades mecânicas.....	101
5.2.2.1	Módulo de elasticidade.....	101
5.2.2.2	Módulo de ruptura.....	106
5.2.2.3	Adesão interna	110
5.2.2.4	Arrancamento de parafuso - superfície.....	114
5.2.2.5	Arrancamento de parafuso - topo	118
5.3	Demais análises dos painéis de partículas	122
5.3.1	Porosimetria por Intrusão de Mercúrio.....	122
5.3.2	Envelhecimento artificial acelerado	125
6	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES PARA ESTUDOS FUTUROS	127

REFERÊNCIAS.....	131
-------------------------	------------

APÊNDICES	141
------------------------	------------

APÊNDICE A – Valores obtidos na caracterização físico-mecânica dos painéis, antes e após o envelhecimento.....	142
---	------------

APÊNDICE B – Valores obtidos na análise granulométrica das partículas ..	154
---	------------

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento tecnológico é caracterizado pela procura constante da diminuição das dificuldades, da otimização do tempo e do melhor aproveitamento das fontes de energia, visando o aperfeiçoamento de um produto a partir de suas matérias primas. Neste panorama, a vantagem dos produtos derivados da madeira diz respeito ao aprimoramento das propriedades da madeira maciça, juntamente com a possibilidade de utilização de matérias primas alternativas em sua fabricação. Tais produtos apresentam acentuado crescimento de produção e consumo em todo o mundo, inclusive no Brasil, evidenciado pelo bom desempenho e qualidade apresentados por este material, implicando em sua maior aceitação como produto.

Os painéis à base de madeira merecem destaque no cenário dos produtos derivados da madeira como a principal matéria prima de uma gama de indústrias de outros setores madeireiros, como a de móveis, de embalagens e de segmentos da construção civil. Ressalta-se que os setores madeireiros mencionados se encontram numa fase de contínua expansão, impulsionados principalmente pelo bom momento da indústria moveleira e da construção civil brasileira.

Destaca-se, dentre os produtos à base de madeira, o painel de partículas, por ser o mais consumido no mundo (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE PAINÉIS DE MADEIRA – ABIPA, 2012). As indústrias de painéis particulados de madeira vêm apresentando significativa evolução em termos de produção e inovação tecnológica, a partir da década de 1980, quando ficou patente a necessidade de melhor aproveitamento dos recursos florestais (matéria prima), incentivando o desenvolvimento de novos produtos e processos produtivos (IWAKIRI; PEREIRA; NISGOSKI, 1999). De acordo com Haselein e Pauleski (2004), o desenvolvimento tecnológico do setor de painéis à base de madeira deve-se, principalmente, ao desenvolvimento de novas resinas e de novos processos, tecnologias muitas vezes provenientes dos países industrializados.

No Brasil, o painel de partículas encontra-se em significativo acréscimo produtivo e, em decorrência, num aumento de sua aplicação, além de continuar apresentando perspectivas de crescimento para os próximos anos (ABIPA, 2012).

Ao mesmo tempo, as questões de sustentabilidade ambiental muito discutida

nos dias de hoje, requerem soluções que levem em conta as inúmeras possibilidades de reaproveitamento de resíduos sólidos decorrentes da atividade humana. Segundo Bidone (1999), com a intensificação das atividades industriais, o crescimento populacional e a expansão do consumo, aumentaram significativamente a quantidade e os tipos de resíduos gerados, causando impactos alarmantes ao meio ambiente.

No Brasil, resíduos da agroindústria estão disponíveis em grande volume e apresentam significativo potencial de emprego (MENDES, 2008). De modo particular, menciona-se a aveia, produto alimentício usualmente consumido no país, responsável por gerar um grande volume de casca, em torno 30% do peso da aveia (WEBSTER, 1986). Isso torna factível avaliar seu aproveitamento, por agregar valor a um material com potencial risco ambiental se não reutilizado.

Em se tratando da produção de painéis derivados da madeira, outro fator que merece destaque é a resina utilizada. Tradicionalmente, esses painéis são produzidos com resinas à base de formaldeído (TOSTES et al., 2004). Tais resinas apresentam inconveniência quanto à emissão de formaldeído durante a prensagem, tornando seu emprego problemático em países com rigoroso controle ambiental (PETERSON, 1964; SAMLAIC, 1983).

O desenvolvimento da resina poliuretana à base de mamona cria uma alternativa proveniente de recurso natural e renovável. Esta resina, oriunda de tecnologia brasileira, não é agressiva ao meio ambiente e ao ser humano.

Analisando a ampliação do mercado de produtos à base de madeira, em especial o painel de partículas, aliado à busca por produtos sustentáveis, este estudo apresenta uma possibilidade alternativa de produção de painéis de partículas a partir do reaproveitamento de resíduos e da utilização de um adesivo de procedência natural e renovável.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Este estudo tem por objetivo produzir painéis de partículas de *Eucalyptus grandis* e casca de aveia, aderidos sob pressão com a resina poliuretana à base de mamona e avaliar o desempenho físico-mecânico destes painéis.

2.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos deste estudo foram:

- Produzir, em laboratório, painéis de partículas de madeira de *Eucalyptus grandis*, com granulometria controlada e com adição de diferentes percentuais de casca de aveia;
- Determinar a viabilidade do emprego das resinas poliuretana à base de mamona e ureia formaldeído, além de avaliar a compatibilidade destes adesivos com os insumos empregados na produção dos painéis em questão;
- Utilizar de materiais “verdes”, ecológicos e sustentáveis na produção de painéis de partículas: *Eucalyptus grandis* (madeira de reflorestamento), casca de aveia (resíduo agroindustrial) e resina poliuretana à base de mamona (de procedência natural e renovável);
- Avaliar, por meio da análise de variância (ANOVA), se os fatores e níveis adotados no delineamento experimental apresentam ou não influência no desempenho físico-mecânico dos painéis produzidos, a um nível de confiabilidade de 95% (MONTGOMERY, 2005);

Deste modo, espera-se aperfeiçoar a tecnologia e desenvolver o conhecimento relativo ao tema, disponibilizando-o para o setor produtivo do segmento madeireiro.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Breve histórico de painéis de partículas

Os painéis de madeira aglomerada (hoje painéis de partículas) surgiram na Alemanha no início da década de 1940, como forma de viabilizar a utilização de resíduos de madeira devido à dificuldade de obtenção de madeiras de boa qualidade para produção de painéis compensados, em virtude do isolamento da Alemanha durante a segunda guerra mundial (IWAKIRI, 2005).

Logo a seguir, foi interrompida a produção de aglomerados, justamente pela redução da disponibilidade de matéria prima para fabricação de resina, sabendo da prioridade do uso de petróleo para fins militares. Após a segunda guerra, segundo Iwakiri (2005), foi retomado nos Estados Unidos o processo de produção e desenvolvimento de painéis aglomerados, com aperfeiçoamento de equipamentos e processos. A partir da década de 1960, ocorreu grande expansão das instalações industriais e avanço tecnológico e, em meados da década de 1970, iniciou-se o processo de desenvolvimento de painéis estruturais dos tipos “waferboard” e “oriented strand board - OSB”.

No Brasil, registros da história da produção de painéis aglomerados é divergente. Segundo Silva (2004), a primeira indústria se instalou em Curitiba/PR e começou a produzir em 1966, onde outras indústrias se instalaram nas regiões Sul e Sudeste do país. Já Carnos (1988) afirma que os painéis de madeira aglomerada começaram a ser produzidos no Brasil em 1965, nos estados do Paraná e Rio Grande do Sul. Em sua dissertação, Barros Filho (2009) descreve detalhadamente todo o histórico da produção de painéis de madeira aglomerada mundial e, especificamente, no Brasil.

3.2 Painéis de partículas de madeira

Há várias definições para painéis aglomerados ou painéis de partículas de madeira. Iwakiri (2005) define painéis de madeira aglomerada ou comercialmente “aglomerado”, como sendo um painel produzido com partículas de madeira, com a incorporação de um adesivo sintético, reconstituídos numa matriz randômica e consolidados através da aplicação de calor e pressão em prensa a quente. Outros materiais lignocelulósicos também podem ser utilizados na fabricação de aglomerados.

A primeira norma técnica brasileira foi a ABNT NBR 14.810, criada em 2002 pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e que define painel ou chapa de aglomerado como sendo “um produto na forma de painel, com espessura variando de 3 a 50 mm, constituído por partículas de madeira aglutinadas com resina sintética ou natural, termofixas, sob ação do calor e pressão. Os tipos de adesivos, a geometria das partículas, a densidade do painel, bem como o processo de produção podem ser modificados para produção de painéis adequados a cada aplicação ou finalidade. Durante a fabricação dos painéis, podem ser acrescentados aditivos que proporcionam painéis com características especiais” (ABNT, 2002).

Até a existência da norma brasileira, em 2002, os painéis de madeira aglomerada eram definidos de acordo com normas internacionais. A American Society for Testing and Materials – ASTM D-1037 define aglomerado como “um produto composto de pedaços miúdos de madeira ou outros materiais lignocelulósicos que são unidos por adesivos de resina sintética em presença de calor e pressão” (BARROS FILHO, 2009; BERNARDI, 2006). Segundo Barros Filho (2009), normas técnicas de outros países como Deutsches Institut für Normung (DIN) da Alemanha e a British Standard Institute (BSI) da Inglaterra definem painéis de madeira aglomerada de forma análoga às descritas anteriormente.

De acordo com Campos e Rocco Lahr (2004), a fabricação de produtos derivados da madeira, principalmente os painéis à base de madeira, tem tornado uma alternativa interessante no âmbito dos materiais disponíveis para aplicações na construção civil, nas indústrias moveleira e naval, entre outras. Desta forma, a produção de painéis à base de madeira é relevante para o setor florestal brasileiro e, consequentemente, para a economia brasileira, justamente por ser responsável pela

geração de um considerável número de empregos diretos e indiretos. Porém, faz-se necessário investimentos em tecnologias voltadas a melhoria da produção dos painéis à base de madeira, para que haja um desenvolvimento do setor.

As vantagens tecnológicas dos painéis aglomerados são atribuídas tanto à redução da heterogeneidade estrutural quanto a possibilidade de utilização sem restrições em relação à forma, se comparado com a madeira maciça (ROWELL; HAN; ROWELL, 2000).

As indústrias de painéis de madeira apresentaram desenvolvimento significativo quanto à produção e à inovação tecnológica a partir dos anos 1980, quando surgiu a necessidade de um melhor aproveitamento dos recursos florestais (matéria prima), incentivando o desenvolvimento de novos produtos e processos produtivos (IWAKIRI; PEREIRA; NISGOSKI, 1999). De acordo com Haselein e Pauleski (2004), o desenvolvimento tecnológico do setor de painéis à base de madeira deve-se principalmente ao desenvolvimento de novas resinas e de novos processos, tecnologias muitas vezes provenientes dos países industrializados.

As etapas do processo produtivo de painéis aglomerados foram descritas por diversos autores (BARROS FILHO, 2009; DIAS, 2005; IWAKIRI, 2005; MALONEY, 1996).

3.3 Materiais compostos

O desenvolvimento tecnológico proporcionou ao homem criar e produzir equipamentos e máquinas cada vez mais sofisticados e que melhor satisfazem as necessidades humanas. Junto a este avanço tecnológico, surge a necessidade de materiais que atendem satisfatoriamente estas novas exigências da engenharia. De acordo com Faria (2007), a matéria prima tradicionalmente empregada (materiais metálicos, poliméricos e cerâmicos) ainda possui grande aplicabilidade, porém, vem sendo continuamente substituída por materiais compósitos.

Segundo Callister (2006), os materiais compósitos podem combinar propriedades incomuns, que não podem ser individualmente atendidas com as tradicionais ligas metálicas, materiais poliméricos e cerâmicos existentes. Um

material compósito é formado por uma mistura ou combinação de dois ou mais microconstituintes ou macroconstituintes que diferem na forma e na composição química e que, na sua essência, são insolúveis uns nos outros.

Muitos materiais compósitos são formados apenas por duas fases. A primeira é chamada matriz (contínua) e envolve a outra fase. A esta segunda chama-se frequentemente fase dispersa (reforço). No que se refere à fase matriz, o compósito pode ser classificado em três grupos: metálico, cerâmico e polimérico. Já em relação à fase dispersa, pode ser classificado em três categorias: particulados, fibras contínuas e fibras descontínuas. Os materiais compósitos podem ser de procedência natural, como madeira, osso, dente e músculo ou de procedência não natural (ou sintética), que se subdividem em compósitos de origem metálica, polimérica ou cerâmica (CALLISTER, 2002).

A madeira, por sua vez, pode ser combinada com diversos outros materiais, como madeira-adesivo, madeira-cimento (IWAKIRI e PRATA, 2008; SANTOS et al., 2008), madeira-plástico (CARNEIRO; FERRAZ; TOMAZELLO FILHO, 1984; HILLIG et al., 2006; OKAMOTO, 2003), madeira-fibras lignocelulósicas, entre outros.

Segundo Iwakiri e Prata (2008), os painéis de madeira-cimento são tipos especiais de painéis aglomerados, constituídos basicamente de partículas de madeira com um aglutinante de origem mineral, em que o cimento é o produto mais empregado na sua produção. Nos painéis madeira-cimento, o cimento substitui a resina termofixa do tipo ureia formaldeído, cujo processo de endurecimento é decorrente de reações exotérmicas da hidratação do cimento na presença de água.

Para Okamoto (2003), compósitos de madeira-plástico contribuem tanto para a reciclagem de resíduos de madeira e de plástico quanto dão base para o desenvolvimento de novos tipos de materiais à base de madeira.

Segundo Dias (2008), os compósitos de madeira podem apresentar propriedades melhores do que a madeira de origem, pois como ocorre nos painéis de madeira, a matéria prima utilizada é de boa qualidade e com o menor número de defeitos possíveis.

3.4 Incorporação de cargas em painéis de madeira

A matéria prima utilizada na produção de painéis aglomerados pode ser tanto de madeiras reflorestadas quanto do aproveitamento dos mais diversos tipos de resíduos florestais ou agroindustriais (DACOSTA, 2004). Materiais lignocelulósicos que conferem alta resistência mecânica e peso específico pré-estabelecido são utilizados como matéria prima para produção de painéis de madeira aglomerada, justamente pela estrutura lignocelulósica ser semelhante à da madeira (ROWELL; HAN; ROWELL, 2000).

Mendes (2008) afirma que os resíduos gerados pela agroindústria brasileira possuem potencial de aproveitamento em diversas aplicações, como compostagem (adubo orgânico), extração de óleos e resinas, fabricação de painéis aglomerados, produção de briquetes, entre outros. Além de contribuir para o reaproveitamento dos resíduos, ainda agregam valor aos mesmos.

Segundo Bidone (1999), com a intensificação das atividades industriais, o crescimento populacional e o crescente consumo aumentaram a quantidade e os tipos de resíduos gerados, causando impactos alarmantes ao meio ambiente. Utilizações mais criativas, que agregam mais valor a estes resíduos podem modificar esse panorama, gerando uma nova demanda de produtos e serviços, além de gerar empregos e renda.

O Brasil possui um grande potencial de produção de recursos renováveis como produtos agrícolas e florestais. Segundo Tamanini e Haully (2004), a produção de resíduos nestes segmentos é de aproximadamente 250 milhões de toneladas por ano. A utilização correta e adequada destes resíduos ajuda a minimizar problemas ambientais e energéticos, além de gerar produtos com relevantes aplicações na indústria. Dentre a grande diversidade de resíduos lignocelulósicos produzidos pela agroindústria brasileira, Mendes (2008) destaca o sabugo de milho, bagaço de cana de açúcar, cascas de (aveia, arroz, café, coco, mamona e amendoim), bambu, caules de bananeira e mandioca, entre outros.

Thole e Weiss (1992) testaram diversos resíduos como materiais alternativos na produção de painéis de partículas e constataram que o bagaço de cana foi o material mais adequado quando comparado com outros resíduos agroindustriais.

Estes autores afirmaram, ainda, que na produção de painéis de materiais alternativos, deve-se atentar aos diferentes componentes presentes nos materiais testados, justamente por alguns componentes não terem um bom desempenho na produção dos painéis e, possivelmente, se comportarem de maneira indesejada.

O melhor aproveitamento dos resíduos gerados pelas indústrias que processam madeiras fez a indústria de painéis reconstituídos aumentar anualmente os investimentos em qualidade da produção e em equipamentos e processos (MATTOS; GONÇALVES; CHAGAS, 2008).

Com o objetivo de melhorar algumas propriedades dos painéis de madeira aglomerada, é incorporada durante a aplicação do adesivo alguns aditivos químicos, como catalisador ou endurecedor, emulsão de parafina, retardantes de fogo e repelentes a organismos xilófagos que, segundo Iwakiri (2003) e Maloney (1977), são os aditivos comumente utilizados na produção de aglomerados.

Diversos pesquisadores obtiveram êxito em relação ao desenvolvimento, caracterização e aplicação de painéis à base de madeira compostos por resíduos agroindustriais, como madeira e bambu (ARRUDA, 2009; CALEGARI et al., 2007; MOIZÉS, 2007); chapas de resíduos de *Pinus sp* tratado com preservante CCB (BERTOLINI, 2011); *Eucalyptus sp* e resíduos de uma indústria de celulose (PEDRAZZI, 2005); painéis de madeira aglomerada com resíduos variados de diferentes espécies de madeira (HILLIG, 2000; PELISSARI et al., 2010; SCATOLINO et al., 2010); painéis aglomerados de *Eucalyptus grandis* com adição de resíduos industriais madeireiros (PIERRE, 2010); chapas de partículas de madeira com rejeitos oriundos da cana-de-açúcar (BATTISTELLE et al., 2010; MENDES; MENDES; ALMEIDA, 2010), painéis de partículas de madeira e casca de arroz (MELO et al., 2009), entre outros.

3.5 O mercado brasileiro de painéis de madeira

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2009), o Brasil possui uma área total absoluta de 8.514.877 km² (aproximadamente 851,5 milhões de hectares). Deste total, 477,7 milhões de hectares são de florestas nativas e 6,5 milhões de hectares são de florestas plantadas, sendo 4,2 milhões de hectares

com *Eucalyptus*, 1,9 milhões de hectares com *Pinus* e 400 mil hectares com outras espécies. Desta forma, as florestas plantadas ainda ocupam apenas 0,8% do território nacional, representando, mesmo assim, a sétima maior área plantada no mundo.

O setor de base florestal tem uma participação significativa nos indicadores socioeconômicos do país, como no produto interno bruto (PIB). Contribuiu, em 2009, com US\$ 3 bilhões em impostos e participou de aproximadamente 5% do PIB nacional (SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA - SBS, 2010).

De acordo com a ABIPA (2010), para os próximos anos, estão previstos novos investimentos com valores aproximados de US\$ 1,2 bilhões na instalação de novas unidades industriais, que irão proporcionar um aumento da capacidade instalada, em 2009, de 8,5 milhões de metros cúbicos (considerando todos os tipos de painéis), para aproximadamente 10,3 milhões de metros cúbicos anuais em 2012.

Um estudo do panorama e das perspectivas do mercado de painéis de madeira no Brasil afirma que o setor em questão apresenta contínuo desenvolvimento tanto no Brasil, como mundialmente. Tal crescimento deve-se principalmente à busca de materiais alternativos à madeira maciça, modernização tecnológica do parque fabril que proporcionou o desenvolvimento de novos produtos (como o Medium Density Fiberboard - MDF, Medium Density Particleboard – MDP, OSB, entre outros) e a melhoria continuada destes novos produtos. Contudo, tanto a redução da taxa de juros quanto o aumento da renda impulsionaram o setor de painéis de madeira, pela retomada econômica dos setores da construção civil e da indústria do mobiliário, justamente por ambos consumirem painéis de madeira (MATTOS; GONÇALVES; CHAGAS, 2008).

De acordo com a Associação Brasileira de Florestas Plantadas – ABRAF (2010), a crise econômica mundial ocorrida de 2008 a 2009 teve grande impacto na construção civil e na indústria moveleira, fato que refletiu de forma direta no consumo de painéis de madeira reconstituída. Como os investimentos anunciados e em andamento antes do período crítico da crise foram mantidos, o setor produziu praticamente a mesma quantidade do ano de 2008, isto é, cerca de 5,3 milhões de metros cúbicos. O mercado de painéis de madeira reconstituída é voltado majoritariamente ao consumo interno, suprimindo as demandas de setores específicos. Fabricantes de painéis de madeira reconstituída tiveram um novo estímulo, no final

de 2009, com o corte do Imposto sobre Produtos Industrializados (IPI) para os móveis de madeira, válido até meados de 2010 (reduzindo de 10% para 0%) e estabilização posterior para os próximos anos com patamar de 5%.

Segundo dados da ABIPA (2012), a produção brasileira de painéis MDP vem crescendo significativamente desde o ano 2000. A produção de painéis MDP foi de aproximadamente 4,5 milhões de metros cúbicos em 2010, com perspectivas de se produzir 4,8 milhões de metros cúbicos até o final de 2012.

3.6 Matérias primas empregadas

Este subitem apresenta as principais matérias primas utilizadas neste estudo, sempre levando em consideração as questões de sustentabilidade ambiental, muito discutidas nos dias de hoje. Devem-se incentivar possíveis soluções que considerem desde insumos alternativos, controle de emissões e as inúmeras possibilidades de reaproveitamento de resíduos, buscando desenvolver um produto que seja menos impactante ao planeta ao longo de seu ciclo de vida.

Segundo Amico et al. (2001), o Brasil apresenta condições climáticas extremamente favoráveis à agricultura, com solos férteis e abundantes. Neste cenário, há necessidade de promover o desenvolvimento econômico e social autossustentável. Iniciativas e projetos cujo produto utilize matéria prima de origem vegetal podem agregar valor a estes produtos, além de gerar benefícios ambientais e sociais com a utilização de materiais de procedência natural.

3.6.1 Madeira de *Eucalyptus*

Mendens, Albuquerque e Iwakiri (2003), afirmam que a redução da oferta de madeira de florestas nativas no mercado, devido à crescente conscientização dos prejuízos causados pela exploração seletiva e predatória, principalmente pela expansão da fronteira agrícola, mineração e produção de carvão vegetal, vem aumentando o mercado de florestas plantadas em todo o mundo, crescendo a

demanda por madeiras de reflorestamento, como as dos gêneros *Eucalyptus* e *Pinus* em substituição às madeiras nativas.

Atualmente o *Eucalyptus* é plantado em quase todo o mundo, por ser um gênero que possui espécies facilmente adaptáveis a diversas condições climáticas. A maioria das espécies plantadas no Brasil apresenta rápido crescimento, resultado da alta qualidade do material genético utilizado. A produção da madeira e de seus derivados é, em larga escala, devida à grande demanda de madeira pelo mercado florestal brasileiro (MALINOVSKI, 2002).

Segundo Garcia e Mora (2000), a madeira de *Eucalyptus* é de grande versatilidade, com possibilidades de utilização em diversos segmentos, como óleos essenciais (fármacos, produtos de higiene e limpeza), celulose (papéis diversos, viscosa, acetato, revestimento de medicamentos), madeira tratada (postes e moirões), carvão vegetal e lenha, madeira serrada (para construção civil, indústria moveleira e brinquedos), painéis à base de madeira (laminados, compensados, sarrafeados, OSB, MDF, MDP, High Density Fiberboard - HDF), produtos apícolas (mel, própolis), entre outros.

De acordo com Lima et al. (2007), os clones de *Eucalyptus* surgiram com propósito de se ter disponibilidade de matéria prima de melhor qualidade para a indústria madeireira, justamente por apresentarem alta produtividade volumétrica em madeira.

As plantações florestais trazem benefícios ambientais, econômicos e sociais, segundo a Associação Mineira de Silvicultura – AMS (2011). O cultivo de florestas plantadas, em sua maioria, florestas de *Eucalyptus* e *Pinus*, constitui uma maneira eficiente de proteger as matas nativas, sabendo que cada hectare de floresta plantada de alto rendimento produz madeira equivalente a dez hectares de floresta nativa em regime de manejo sustentável. Quanto aos benefícios econômicos e sociais destaca-se, principalmente, a geração de impostos e empregos. Uma grande evidência desses benefícios pode ser observada no Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) dos municípios onde a silvicultura é predominantemente praticada. Nesses municípios o IDH cresceu, em 10 anos, cerca de 17%, sendo superior ao IDH do estado de Minas Gerais, que cresceu 10,9% no mesmo período.

A expansão na área plantada com *Eucalyptus* é resultado de um conjunto de fatores que vêm favorecendo o plantio em larga escala deste gênero. Entre os

aspectos mais relevantes estão o rápido crescimento em ciclo de curta rotação (máximo de sete anos para a produção de painéis de madeira aglomerada), a alta produtividade florestal e a expansão e direcionamento de novos investimentos por parte de empresas dos segmentos que utilizam madeira como matéria prima em seus processos industriais (ABRAF, 2010).

Ainda segundo a ABRAF (2010), a área de florestas plantadas com *Eucalyptus* está em grande expansão na maioria dos estados brasileiros com tradição na silvicultura deste gênero, com crescimento médio anual de 7,1% no país, no período de 2004 a 2009. No Brasil, em 2009, a área de florestas plantadas com *Eucalyptus* ultrapassou os quatro milhões de hectares.

3.6.2 Casca de aveia

A aveia, cereal do gênero *Avena* e da família *Gramineae*, começou a ser cultivada recentemente, se comparada a culturas como o trigo. O cultivo começou no norte da Europa, devido ao aumento do uso de cavalos como animais de trabalho, cerca de dois mil anos antes de Cristo (CERES, 2011).

Segundo Sá (1995), há múltiplas possibilidades de utilização da aveia como produção de grãos (alimentação humana e animal), forragem (feno, silagem ou cortada e fornecida fresca no cocho), cobertura do solo e adubação verde (proteção e melhoria das condições físicas do solo), além de inibir as infestações de plantas invasoras.

No Brasil, resíduos da agroindústria estão disponíveis em grande volume e apresentam significativo potencial de emprego. De modo particular, menciona-se a casca de aveia, produto alimentício usualmente consumido no país. A produção de aveia já superou as 500 mil toneladas anuais, sendo que destas, a casca que é um subproduto da moagem do grão, representa até 30% do peso, isto é, cerca de 150 mil toneladas por ano. A casca da aveia tem sido descartada durante o processamento do grão, tornando-se um poluente ao meio ambiente. Desta maneira, faz-se necessário, essencial e oportuno estabelecer alternativas para sua reutilização (WEBSTER, 1986).

De acordo com a Comissão Brasileira de Pesquisa de Aveia (2010),

pesquisadores que trabalham com aveia nos quatro estados produtores desse cereal (Rio Grande do Sul, Paraná, Santa Catarina e São Paulo) anunciaram o lançamento, ainda este ano, de sete novas cultivares do produto, mais produtivas do que aquelas atualmente semeadas e mais resistentes a doenças.

Vários estudos com casca de aveia tem sido desenvolvidos, em segmentos como melhoramento genético da cultura de aveia (BORGES et al., 2009; COMISSÃO BRASILEIRA DE PESQUISA DE AVEIA, 2010), uso da casca de aveia para produção de xilitol (TAMANINI et al., 2004; TAMANINI E HAULY, 2004) e farinha de aveia utilizada como extensor em adesivo (RIBEIRO, 2008).

3.6.3 Adesivos

O adesivo é um componente de grande importância na produção de produtos derivados da madeira, com implicações técnicas e econômicas expressivas, com seu custo podendo representar até 50% do custo total do produto final (CARNEIRO et al., 2004). Kollmann, Kuenzi e Stamm (1975), classificam os adesivos para madeira em três grupos: os de origem natural (caseína, soja, osso, couro e sangue), os sintéticos termorrígidos (ureia, fenol, melamina, resorcinol, tanino e epóxi), que são convertidos a um estado insolúvel, irreversível, por meio de reações químicas com ou sem aplicação de calor e, os sintéticos termoplásticos (polivinilcloreto, polivinil-acetato e elastômeros), resistentes somente a mudanças físicas, podendo ser modificados pela ação do calor ou de solventes.

Os principais tipos de resina utilizados pelas indústrias de painéis à base de madeira são a ureia formaldeído (UF), fenol formaldeído (FF), melamina formaldeído (MF) e difenil-metano di-isocianato (MDI). Devido a resina ser o componente de maior custo do painel, é fundamentalmente necessário definir o tipo e quantidade de resina a ser utilizada, procurando melhorar a relação custo benefício (MARRA, 1992). De acordo com Saldanha (2004), algumas indústrias produzem resinas compostas de melamina-ureia-formaldeído (MUF) e fenol-melamina-ureia-formaldeído (PMUF), como alternativa para produção de painéis com melhor estabilidade dimensional e custo semelhante ao de quando se utiliza apenas um tipo

de resina.

Diversos fatores podem influenciar o desempenho da colagem, tanto relacionados a madeira quanto ao adesivo empregado. Como fatores relacionados a madeira, tem-se as características anatômicas, químicas e físicas desta (LIMA et al., 2007). A influência da anatomia da madeira no processo de colagem está relacionada à sua distinta estrutura anatômica, como tamanho, disposição e frequência dos elementos celulares que, conseqüentemente, estão relacionadas à porosidade e permeabilidade da madeira. Por sua vez, estas últimas, influenciam na mobilidade e penetração do adesivo (MARRA, 1992; PIZZI, 1994).

Constituintes químicos da madeira, como os extrativos, podem aumentar a durabilidade da madeira alterando sua permeabilidade em relação a penetração do adesivo e, quando presente na linha de cola, os extrativos podem reagir com o adesivo ou interferir nas reações de polimerização deste, gerando linhas de cola com baixo desempenho (CAIXETA, 2000; JANKOWSKY, 1988; LIMA et al., 2007). As características anatômicas, químicas e físicas da madeira estão relacionadas, na maioria dos casos, tornando conveniente discutir tais características de forma holística. Dentre os fatores físicos que influenciam a colagem, tem-se a umidade, a área específica de colagem, a preparação da superfície de madeira que irá receber o adesivo e a densidade (VICK, 1999).

Por parte do adesivo, os fatores que influenciam o desempenho da colagem são as características físico químicas (viscosidade, teor de sólidos e pH) e a composição deste (FRANKLIN ADHESIVES AND POLYMERS, 2003; KOLLMANN; KUENZI; STAMM, 1975), além de fatores pertencentes ao processo de produção de painéis de madeira aglomerada, como as variáveis do ciclo de prensagem (temperatura, tempo e pressão) (VICK, 1999).

O tempo de gelatinização ou gel time é outra característica físico-química dos adesivos de suma importância no processo de colagem. Gel time é definido como sendo o tempo desde a preparação do adesivo que será utilizado até seu endurecimento (fase de gel), quando atinge a máxima elasticidade. O gel time está relacionado à vida útil do adesivo ou tempo de “panela”, que é quando atinge a máxima viscosidade possível para sua aplicação (IWAKIRI, 1998).

Dias (2005) salienta em seu trabalho a importância de considerar também a influência do pH tanto da madeira quanto do adesivo. O pH do adesivo a ser aplicado na madeira deve estar na faixa de 1,5 a 11, justamente pela possibilidade

de degradar as fibras da madeira e interferir no desempenho da colagem, prejudicando a qualidade final do produto colado.

3.6.3.1 Ureia formaldeído

Este adesivo foi desenvolvido na década de 1930 e hoje é o adesivo mais utilizado na produção de painéis aglomerados. Apesar de ser largamente empregado, libera formaldeído (substância indesejável e prejudicial à saúde humana), fato que torna seu emprego controlado e questionável em países com rigoroso controle ambiental (PETERSON, 1964; SAMLAIC, 1983).

De acordo com Tostes et al. (2004), adesivos a base de ureia formaldeído são muito empregados nas indústrias de painéis de madeira. Algumas das principais vantagens de se utilizar este adesivo são o baixo custo, rápida reação em prensa quente, incolor, não inflamável, fácil manuseio e a solubilidade em água (satisfatória para produções em grande escala). Como principais desvantagens, apresentam uma baixa resistência à umidade e proporciona a liberação de formaldeído.

Uma das alternativas para melhoria da estabilidade dimensional (devido o adesivo ser muito higroscópico) seria a adição de fenol, melamina ou até tanino, na composição deste. Quanto à liberação de formaldeído, esta pode ser baixada reduzindo a proporção de formaldeído em relação à quantidade de ureia utilizada (MALONEY, 1993; PIZZI e MITTAL, 1994; SALDANHA, 2004).

Segundo Pizzi (1983), a resina ureia formaldeído apresenta coloração branco leitoso, pH na faixa de 7 a 8, teor de sólidos em torno de 65% e sua cura se dá pela redução do pH adicionando catalisador ácido. Na cura a quente, utiliza catalisador de cloreto ou sulfato de amônia, onde a cura a quente é atingida com a temperatura variando de 90 a 120°C. Para Iwakiri (2005), a ureia formaldeído é classificada como adesivo de uso interno e a razão molar entre formaldeído e ureia (F/U) situa-se entre 1,2:1 a 2,0:1.

3.6.3.2 Poliuretana à base de mamona

No início dos anos 1980, os estudos relacionados a adesivos tiveram grande impulso no Brasil com pesquisas e desenvolvimento dos adesivos a base de resinas poliuretanas, pelo Departamento de Química e Física Molecular, atual Instituto de Química de São Carlos, pertencente a Universidade de São Paulo. Pesquisadores desenvolveram uma resina poliuretana a base de óleo de mamona, que possui diversas vantagens como alta resistência a ação de água e raios ultravioleta, manipulação em temperatura ambiente, alta resistência mecânica e de procedência natural e renovável, abundante em todo país (JESUS, 2000).

Internacionalmente conhecida como Castor Oil e no Brasil por Caturra, a mamona (*Ricinus communis*) é uma planta da família das euforbiáceas, de onde é extraído o óleo de mamona, o qual é empregado na fabricação da resina poliuretana a base deste. De acordo com Peterson (1964), painéis colados com resinas poliuretanas conferiram alta resistência à umidade e propriedades mecânicas superiores, se comparado aos painéis colados com resinas fenólicas, além de não emitirem formaldeído.

Foram realizados diversos ensaios por Araújo (1992), para determinar características de várias composições de resinas poliuretanas a base de óleo de mamona. Constatou-se em relação à estabilidade térmica das poliuretanas, através dos termogramas dos ensaios, que ocorre uma pequena perda de massa até 220°C, o que relata a estabilidade térmica desta resina até a referida temperatura.

3.7 Parâmetros que influenciam o desempenho físico-mecânico de painéis de partículas

A qualidade dos painéis à base de madeira é avaliada através de suas propriedades físico-mecânicas, como ligação interna, flexão estática, resistência ao arrancamento de conectores, absorção de água, inchamento em espessura, módulo de elasticidade, módulo de ruptura, entre outros (IWAKIRI, 2005).

Maloney (1977) afirma que fatores como o teor de umidade e a

homogeneidade dimensional das partículas influenciam diretamente as propriedades finais dos painéis de madeira aglomerada. Outro fator que influencia o desempenho mecânico dos painéis produzidos é a densidade. Esta deve ser o mais uniforme possível ao longo da espessura do painel (quando este for de apenas uma camada) e ao longo da mesma camada da espessura do painel (quando este possuir três ou cinco camadas), para garantir a uniformidade nas propriedades físico-mecânicas do painel.

Os painéis de partículas geralmente são produzidos com densidade na faixa de 0,60 a 0,70 g/cm³. Segundo Kelly (1977), é necessário um grau de compactação mínimo das partículas de madeira a fim de ocorrer a consolidação do painel de partículas durante o ciclo de prensagem. Iwakiri et al. (2005) produziram em seu trabalho painéis aglomerados de alta densidade e seus resultados demonstraram um aumento tanto na estabilidade dimensional quanto nas propriedades mecânicas, devido o aumento na densidade e no teor de resina melamina-ureia-formaldeído.

Melo et al. (2009) fizeram a caracterização físico-mecânica de painéis de partículas produzidos com madeira de *Eucalyptus grandis* e casca de arroz. Seus resultados mostraram que o acréscimo da casca de arroz proporcionou uma maior instabilidade dimensional e uma menor resistência dos painéis. Em seu trabalho, Melo et al. (2009) analisaram a influência da adição de casca de arroz nas propriedades físico-mecânicas dos painéis, como na flexão (nos módulos de elasticidade e de ruptura), na adesão interna e na densidade, além de outras propriedades.

O adesivo é um fator relevante na produção de aglomerados e a quantidade a ser utilizada é baseada na massa seca das partículas que, para Maloney (1977), a quantidade de adesivo para aglomerados pode variar de 5 a 10%. Iwakiri (2005) afirma que normalmente a quantidade de adesivo para produção de painéis de madeira aglomerada deve situar na faixa de 6 a 12% e que se deve atentar a homogeneidade na distribuição do adesivo sobre a superfície das partículas, de modo a garantir propriedades uniformes sobre toda a extensão do painel produzido.

Dois fatores decisivos na qualidade final de chapas de madeira aglomerada são a homogeneidade das partículas e o ciclo de prensagem dos painéis. Deve-se reduzir ao máximo possível a heterogeneidade das partículas utilizadas e distribuí-las de maneira correta na peneira classificadora, de modo a garantir propriedades

uniformes ao longo da extensão dos painéis. Quanto ao ciclo de prensagem, este deve ser procedido de forma eficiente, obedecendo criteriosamente as variáveis tempo, temperatura e pressão de prensagem, garantindo, assim, a cura completa do adesivo e a densificação e consolidação do colchão de partículas até a espessura final desejada para o painel (IWAKIRI, 2005; MOSLEMI, 1974).

Barros Filho (2009) classifica e discute as variáveis que influenciam a qualidade dos painéis aglomerados em variáveis relacionadas às partículas (densidade, umidade, extrativos e pH) e em variáveis relacionadas ao processo de produção (geometria das partículas e razão de compactação).

Espécies de madeira com alto teor de extrativos têm grandes probabilidades de ocasionarem estouros no painel quando este chegar ao final do ciclo de prensagem. Os extrativos também influenciam na cura do adesivo além de resultar numa linha de cola com desempenho e resistência inferiores ao desejado (CLOUTIER, 1998).

A razão de compactação também é tida como um fator de grande relevância e exerce muita influência na qualidade final do painel de madeira aglomerada. É definida como sendo a relação existente entre a densidade do painel e a densidade das partículas (MOSLEMI, 1974). Preferencialmente, deve-se optar por trabalhar com partículas de menor densidade para conferir ao painel boa compactação e média densidade, além de garantir área de contato entre as partículas, proporcionando uma colagem de qualidade. Outro ponto importante é conseguir, também, propriedades físico-mecânicas que satisfazem as exigências normativas, com produção de painéis aceitáveis pelo mercado (MENDES, 2001). Iwakiri (2005) afirma que a razão de compactação para painéis de madeira aglomerada deve ser de no mínimo 1,3, para que ocorra a densificação necessária para a formação do painel. Já para Maloney (1993) e Moslemi (1974), a razão de compactação deve situar-se na faixa de 1,3 a 1,6, para que ocorra um contato adequado entre as partículas de madeira e formação da ligação adesiva entre elas.

3.8 Conclusão da revisão bibliográfica

O conteúdo exposto nesta Revisão Bibliográfica permite a constatação de um

significativo acréscimo na demanda do painel de partículas e o consequente aumento do volume de sua produção. Este aumento se justifica pela expansão da indústria de móveis, de embalagens e de muitos segmentos da construção civil e é viabilizado pelo rápido crescimento das espécies de madeira reflorestada, como as dos gêneros *Eucalyptus* e *Pinus*.

É pertinente destacar que os setores madeireiros mencionados se encontram em ótima fase, impulsionados pela economia em expansão, no país, com reflexos positivos em diversas áreas. Além da expansão registrada, o setor de painéis de madeira continua apresentando perspectivas de crescimento para os próximos anos (ABIPA, 2012).

Cabe destacar, também, que ficou evidenciado o ineditismo do estudo desenvolvido, que envolve a utilização de materiais “verdes”, ecológicos e sustentáveis na produção dos painéis de partículas, como o *Eucalyptus grandis* (madeira de reflorestamento), a casca de aveia (resíduo agroindustrial) e a resina poliuretana à base de mamona (de procedência natural e renovável).

Neste contexto se estabeleceu o desenvolvimento do presente trabalho, focado na produção e na avaliação do desempenho de um produto com as características específicas já citadas.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta seção estão apresentados os materiais e a metodologia empregados na produção dos painéis de partículas, além de mencionados os ensaios e equipamentos aplicados à caracterização físico-mecânica dos painéis produzidos.

4.1 Materiais

Este estudo foi desenvolvido no Campus I da USP de São Carlos, especificamente no Laboratório de Madeiras e de Estruturas de Madeiras – LaMEM, pertencente ao Departamento de Engenharia de Estruturas - SET da Escola de Engenharia de São Carlos - EESC da Universidade de São Paulo – USP.

Na confecção dos painéis de partículas foram utilizados resíduos da espécie de madeira *Eucalyptus grandis* e resíduos de casca de aveia.

Os resíduos de *Eucalyptus grandis* foram obtidos de empresas da cidade e região de São Carlos, SP. A casca de aveia empregada foi obtida de indústrias do setor, entre elas a PEPSICO S.A., responsável pela produção da Aveia Quaker, localizada na cidade de Porto Alegre - RS.

Para estabelecer a adesão entre as partículas, foram utilizados dois tipos de resinas: poliuretana à base de mamona e ureia formaldeído.

Foi adotada a resina poliuretana à base de mamona devido ao seu excepcional desempenho obtido em estudos anteriores, desenvolvidos no LaMEM, com painéis de madeira (BERTOLINI, 2011; CAMPOS, 2005; DIAS, 2005; NASCIMENTO, 2003).

Foi adotado a resina ureia formaldeído por esta ser largamente empregada em indústrias de painéis à base de madeira no Brasil, apesar de seu emprego ser controlado e questionável em países com rigoroso controle ambiental pelo fato desta emitir formaldeído, substância indesejável e prejudicial à saúde humana (PETERSON, 1964; SAMLAIC, 1983).

A resina poliuretana à base de mamona utilizada é do tipo bicomponente, na proporção 1:1 entre pré-polímero e polioli, com teor de sólidos de 100%. A proporção 1:1 foi empregada devido o excelente desempenho alcançado por pesquisadores do LaMEM com estudos usando esta proporção (BERTOLINI, 2011; DIAS, 2005).

Um dos componentes (polioli) é derivado de óleo vegetal, com densidade de $1,10 \text{ g/cm}^3$ e o outro componente (pré-polímero) é o isocianato polifuncional, com densidade de $1,24 \text{ g/cm}^3$, ambos fornecidos pela Plural Indústria Química, localizada na cidade de São Carlos – SP.

A resina ureia formaldeído utilizada foi adquirida no mercado local, por existirem várias indústrias químicas que a produzem. Tal resina apresenta as seguintes características físico-químicas: pH de 7,8; teor de sólidos de 59%; densidade de $1,25 \text{ g/cm}^3$ e relação molar entre formaldeído e ureia (F/U) de 1,25:1.

As partículas e as resinas utilizadas neste estudo são apresentadas na Figura 1.

Figura 1 - Resíduos de: *Eucalyptus grandis* (a), casca de aveia (b) e resinas utilizadas: poliurenata à base de mamona (c) e ureia formaldeído (d).

4.2 Produção e caracterização das partículas

Os resíduos de *Eucalyptus grandis* e de casca de aveia (Figuras 1a e 1b) foram picados e transformados em partículas, como descrito a seguir.

4.2.1 Geração das partículas

As partículas de *Eucalyptus grandis* e de casca de aveia foram geradas a partir do processamento dos resíduos, obtidos num moinho de facas do tipo Willye da Marconi, modelo MA 680, utilizando-se peneira de 2,8 mm de abertura para obtenção das partículas (Figuras 2a e 2b).

Figura 2 - Moinho de facas (a), peneira de 2,8 mm (b) e partículas de: *Eucalyptus grandis* (c) e casca de aveia (d). Fonte: Adaptado de Bertolini (2011).

Adotaram-se tais dimensões para as partículas por estas apresentarem excelente desempenho dos painéis produzidos no LaMEM (BERTOLINI, 2011; NASCIMENTO, 2003; VARANDA et al., 2012).

As partículas produzidas foram aproveitadas em sua totalidade, ou seja, os “finos” também foram utilizados na confecção dos painéis. Os “finos” quando empregados em pequena quantidade, conferem melhor adesão entre as partículas e a resina e, conseqüentemente, proporcionam melhores propriedades aos painéis.

Na Figura 2 são apresentados o moinho e a peneira utilizados juntamente com as partículas geradas.

4.2.2 Determinação das propriedades das partículas

4.2.2.1 Teor de umidade

Após a geração das partículas, foi determinado o teor de umidade destas submetendo amostras (em triplicata) dos dois materiais em estufa a temperatura de $105 \pm 2^{\circ}\text{C}$ e realizada a pesagem do material até obter-se massa constante. A estufa com circulação de ar utilizada é da Marconi, modelo MA 035, e está apresentada na Figura 3. O teor de umidade das partículas é calculado pela Equação 1, como descreve o documento normativo da ABNT NBR 14810:2006.

$$U = ((MU-MS)/MS) \times 100 \quad (1)$$

onde:

U é o teor de umidade das partículas (%);

MU é a massa úmida das partículas (g);

MS é a massa seca das partículas (g).

Figura 3 - Estufa utilizada.

4.2.2.2 Análise granulométrica

Foi realizada uma análise granulométrica das partículas de *Eucalyptus grandis* e de casca de aveia. Foi utilizado o equipamento SOLOTEST (Figura 4a), empregando peneiras com granulometrias que atendem as especificações da norma ASTM, correspondentes a 7, 10, 16, 30, 40 e 50 mesh.

A partir da geração das partículas, retirou-se uma amostra de 200 gramas, para cada um dos dois materiais. Tais amostras foram submetidas a vibração por tempo de dez minutos e velocidade de vibração 5, permitindo que o material atravessasse as peneiras em ordem decrescente de abertura. Foram realizadas três repetições para cada um dos dois materiais. As partículas passantes na peneira de 50 mesh (peneira com menor abertura) foram consideradas “finos”.

Os equipamentos utilizados na análise granulométrica são apresentados na Figura 4. A balança utilizada é da Marconi, modelo AS 5000C, com sensibilidade de 0,1 gramas.

Figura 4 - Equipamentos utilizados: SOLOTEST para vibração (a) e balança analítica (b).

4.3 Produção dos painéis em laboratório

Nesta subseção são descritos os procedimentos realizados desde o planejamento experimental até a manufatura dos painéis.

4.3.1 Estudos preliminares e delineamento experimental

Antes da confecção dos painéis foram realizados testes preliminares para a determinação de alguns parâmetros e fatores que foram adotados na fase de produção dos painéis, como proporções de partículas e granulometria do resíduo de casca de aveia.

Na caracterização dos painéis produzidos nesta etapa preliminar, foram determinadas propriedades na flexão estática (módulos de elasticidade e de

ruptura), adesão interna, arrancamento de parafuso (face e topo), densidade, absorção de água e inchamento em espessura, de acordo com o estabelecido pela norma ABNT NBR 14810:2006.

Diante dos resultados obtidos, foi estabelecido o delineamento experimental empregado na produção dos painéis, como apresentado nas Tabelas 1 e 2. Os ensaios preliminares utilizando o adesivo ureia formaldeído do tipo E1 apresentaram resultados que não atenderam aos requisitos normativos da ABNT NBR 14810:2006. Por este motivo se optou por não empregar tal adesivo nos ensaios definitivos deste estudo.

Os painéis de partículas confeccionados foram divididos em grupos, de acordo com as diferentes proporções de partículas de cada material (*Eucalyptus grandis* e casca de aveia). A Tabela 1 apresenta os fatores e níveis utilizados para o planejamento dos experimentos, dando origem a doze condições experimentais (CE), como apresenta a Tabela 2.

Tabela 1 - Fatores e níveis experimentais.

Fatores de Entrada (%)	Níveis Experimentais			
<i>Eucalyptus grandis</i>	100	85	70	0
Casca de aveia	0	15	30	100
Adesivo	10	12	14	X

Tabela 2 - Composição entre fatores.

CE	Proporções constituintes
1	100% <i>Eucalyptus grandis</i> - 10% adesivo
2	100% <i>Eucalyptus grandis</i> - 12% adesivo
3	100% <i>Eucalyptus grandis</i> - 14% adesivo
4	(85% <i>Eucalyptus grandis</i> - 15% casca de aveia) - 10% adesivo
5	(85% <i>Eucalyptus grandis</i> - 15% casca de aveia) - 12% adesivo
6	(85% <i>Eucalyptus grandis</i> - 15% casca de aveia) - 14% adesivo
7	(70% <i>Eucalyptus grandis</i> - 30% casca de aveia) - 10% adesivo
8	(70% <i>Eucalyptus grandis</i> - 30% casca de aveia) - 12% adesivo
9	(70% <i>Eucalyptus grandis</i> - 30% casca de aveia) - 14% adesivo
10	100% casca de aveia - 10% adesivo
11	100% casca de aveia - 12% adesivo
12	100% casca de aveia - 14% adesivo

Foram adotadas as proporções descritas na Tabela 2 a partir dos resultados obtidos em estudos preliminares, descritos anteriormente. A quantidade de adesivo adotada foi baseado na norma ABNT NBR 14810:2006, que estabelece a quantidade de adesivo em torno de 12%, em relação a massa das partículas.

Para cada uma das doze condições experimentais (CE) foram produzidos seis painéis de partículas idênticos com o adesivo poliuretano à base de mamona, totalizando 72 painéis de partículas.

4.3.2 Preparação e aplicação da resina

A resina poliuretana à base de mamona utilizada é do tipo bicomponente e foi preparada e utilizada na proporção 1:1 entre pré-polímero (isocianato polifuncional) e polioli (derivado de óleo vegetal).

A resina ureia formaldeído empregada nos testes preliminares foi preparada com a adição de 1,5% de sulfato de amônia (em relação a massa de resina utilizada) e 1,5% de parafina (em relação a massa das partículas utilizadas em cada painel).

A parafina é adicionada a resina ureia formaldeído a fim de conferir melhor desempenho da resina frente à umidade. Já o sulfato de amônia tem a função catalisadora, isto é, acelerar o processo de cura da resina.

As partículas de *Eucalyptus grandis* e de casca de aveia geradas no processamento dos resíduos juntamente com o adesivo foram pesados nas quantidades estipuladas e adicionados na encoladeira, para mistura e homogeneização do adesivo nas partículas. A balança eletrônica digital utilizada é da Acatec, modelo BDC-3300, com sensibilidade de 0,01 gramas.

Cada mistura ficou na encoladeira por cinco minutos, no mínimo. A encoladeira utilizada é da Lieme, modelo BP-12 SL, como mostram as Figuras 5a e 5b.

Em cada painel foram utilizados 640 gramas de partículas aglutinadas com o adesivo, nas proporções 10, 12 e 14% em relação à massa das partículas. A quantidade de partículas utilizadas em cada painel (640 gramas) se refere às dimensões adotadas para os painéis produzidos, ou seja, 28 x 28 cm, estabelecido em estudos anteriores desenvolvidos no LaMEM.

Manteve-se fixo a quantidade de partículas, variando-se a razão de

compactação e, conseqüentemente, a densidade dos painéis. As resinas e a encoladeira utilizadas são apresentadas na Figura 5.

Figura 5 - Encoladeira (a) e (b) e resinas utilizadas: poliuretana à base de mamona (c) e ureia formaldeído (d).

4.3.3 Pré-prensagem e prensagem

Após a completa homogeneização do adesivo com as partículas, a mistura foi submetida à pré-prensagem, para formação do “colchão” de partículas. Este recebeu uma força de 100 kgf, equivalente a uma pressão de 0,013 MPa. A pré-prensagem do painel é realizada por prensa mecânica manual, de fabricação própria (Figuras 6a e 6c).

Figura 6 - Pré-prensa (a), molde de pré-prensagem (b), “colchão” de partículas recebendo pressão (c) e “colchão” de partículas pré-conformado (d).

Em seguida, o “colchão” de partículas que se encontra pré-conformado, com espessura na faixa de 2 a 3 cm (Figura 6d) segue para a prensa. A prensagem dos painéis foi realizada em prensa semi-automática da Marconi, modelo MA 098/50, com capacidade de 800 kN e temperatura máxima de 200°C.

As condições de prensagem empregadas neste estudo foram: tempo de dez minutos, pressão de 4 MPa e temperaturas de 100°C para a resina poliuretana à base de mamona e 150°C para a resina ureia formaldeído (esta última resina foi empregada apenas nos ensaios preliminares). Tais parâmetros foram objeto de avaliação por Dias (2005) e Nascimento (2003).

Foram produzidos em laboratório 72 painéis, como mencionado anteriormente, com espessura nominal de 10 mm, por ser esta uma das mais usuais no comércio deste produto, e dimensões nominais de 28 x 28 cm.

Depois da prensagem, todos os painéis produzidos ficaram acondicionados por 72 horas objetivando a estabilização e a cura completa do adesivo. Após este período de acondicionamento, os painéis foram submetidos ao esquadrejamento e posterior seccionamento para retirada dos corpos de prova. A prensa e os painéis

produzidos são apresentados na Figura 7.

Figura 7 - Prensa (a), painel após prensagem (b) e parte dos painéis em acondicionamento (c).

4.4 Obtenção dos corpos de prova

Após o período de acondicionamento, os painéis foram submetidos ao esquadrejamento e posterior seccionamento para retirada dos corpos de prova.

Inicialmente foi retirado cerca de 5 mm de cada extremidade do painel, em uma serra circular esquadrejadeira (Figura 8a). Os painéis passaram a ter dimensões nominais de 270 x 270 x 10 mm (Figura 8b). A partir do esquadrejamento, os painéis foram seccionados nas dimensões dos corpos de prova.

Para o esquadrejamento dos painéis foi utilizada uma serra circular esquadrejadeira Invicta, modelo SCI-160 (Figura 8a). Para o seccionamento dos painéis e obtenção dos corpos de prova foi utilizada uma serra circular Marajó, modelo KSN 7945, como mostram as Figuras 8c e 8d.

O primeiro corte foi realizado no centro do painel, dividindo-o em duas partes, como mostra a Figura 8c. Ambas as partes foram seccionadas e originaram os corpos de provas que foram submetidos aos ensaios físico-mecânicos e de

envelhecimento artificial acelerado.

Os corpos de prova retirados da primeira parte de cada painel foram destinados aos ensaios físico-mecânicos. Os retirados da segunda metade foram destinados primeiramente aos ensaios de envelhecimento artificial acelerado e depois de envelhecidos foram submetidos aos ensaios físico-mecânicos. Os ensaios de envelhecimento artificial acelerado serão apresentados adiante.

Figura 8 - Esquadrejamento (a), painel esquadrejado (b), primeiro corte - divisão do painel (c) e retirada do corpo de prova para flexão (d).

O segundo corte realizado no painel foi para a retirada do corpo de prova destinado ao ensaio mecânico de flexão estática (Figura 8d), que posteriormente a tal ensaio deu origem aos corpos de prova das propriedades adesão interna, densidade, teor de umidade, inchamento em espessura e absorção de água, como mostra o esquema da Figura 10.

Na sequência foram retirados os corpos de prova para os ensaios mecânicos de arrancamento de parafuso tanto para superfície (face), quanto para topo, como mostra a Figura 9.

Figura 9 - Corpos de prova de arrancamento de parafuso – topo (a), arrancamento de parafuso – face (b), flexão estática (c) e serra circular utilizada (d).

É pertinente destacar que os corpos de prova submetidos aos ensaios físico-mecânicos (retirados da primeira metade de cada painel) e os corpos de prova destinados aos ensaios de envelhecimento artificial acelerado para posteriores ensaios físico-mecânicos (retirados da segunda metade de cada painel) foram retirados em “espelho”. Isto é, da mesma região do painel para garantir a maior homogeneidade possível das propriedades físico-mecânicas ao longo do painel, Figura 10.

Figura 10 - Esquema de retirada dos corpos de prova. OBS: desenho fora de escala com dimensões em mm.

Tabela 3 - Dimensões dos corpos de prova para os ensaios realizados.

Ensaio	Sigla adotada	Dimensões dos corpos de prova (mm)	
		Comprimento	Largura
Flexão estática	FE	250	50
Adesão Interna	AI	50	50
Densidade	D	50	50
Teor de umidade	TU	50	50
Inchamento em espessura	IE	25	25
Absorção de água	AA	25	25
Arrancamento de parafuso – face	AP _F	150	75
Arrancamento de parafuso – topo	AP _T	115	65

As siglas utilizadas no esquema da Figura 10 para designar as propriedades físico-mecânicas avaliadas são apresentadas na Tabela 3, juntamente com as

dimensões dos corpos de prova, de acordo com a ABNT NBR 14810:2006.

De cada painel foi retirado um corpo de prova para cada uma das propriedades físico-mecânicas descritas na figura 10, exceto para a propriedade teor de umidade. Para esta foi retirado um corpo de prova para cada um dos oito painéis selecionados aleatoriamente, dentre os 72 painéis produzidos, apenas para verificar o teor de umidade médio dos painéis avaliados.

4.5 Caracterização físico-mecânica dos painéis

Toda a caracterização físico-mecânica dos painéis produzidos foi realizada de acordo com o proposto pela norma ABNT NBR 14810:2006. As dimensões dos corpos de prova para propriedades avaliadas estão apresentadas na Tabela 3.

4.5.1 Propriedades físicas

A seguir, são apresentadas as metodologias utilizadas para a determinação das propriedades físicas avaliadas.

- Teor de umidade

Os corpos de prova para os ensaios do teor de umidade dos painéis têm dimensões de 50 x 50 mm (Tabela 3). As amostras foram inicialmente pesadas em balança eletrônica digital Acatec, modelo BDC-3300, com sensibilidade de 0,01 gramas (Figura 11a), para obtenção da massa úmida.

Em seguida os corpos de prova foram levados a estufa com circulação de ar da Marconi, modelo MA 035 a $105 \pm 2^{\circ}\text{C}$ (Figura 3), onde foram pesados até atingirem massa constante. Daí foi obtida a massa seca dos corpos de prova.

O teor de umidade dos painéis é calculado de acordo com a Equação 1. A equação utilizada na determinação do teor de umidade dos painéis é a mesma utilizada para o cálculo do teor de umidade das partículas, mudando apenas a amostra, isto é, anteriormente são partículas e aqui são painéis de partículas.

- Densidade

A densidade dos painéis foi determinada diretamente pela relação massa/volume. Para determinação da massa dos corpos de prova foi utilizada uma balança eletrônica digital da Acatec, modelo BDC-3300, com sensibilidade de 0,01 gramas. Para determinação do volume dos corpos de prova foi utilizado um paquímetro digital da Starrett, modelo 799, com sensibilidade de 0,01 mm.

Os corpos de prova para os ensaios de densidade tem dimensões de 50 x 50 mm (Tabela 3). A densidade determinada dos painéis foi a densidade aparente, ou seja, a densidade (massa e volume) tomados de acordo com a umidade de equilíbrio dos painéis produzidos com o ambiente local. A determinação da densidade é apresentada na Figura 11.

Figura 11 - Ensaio de densidade dos painéis: balança analítica (a), paquímetro digital (b) e corpos de prova (c).

- Razão de compactação

A razão de compactação é definida pela relação da densidade do painel pela densidade da madeira que originou as partículas.

No caso deste estudo, a razão de compactação é definida pela relação da densidade do painel pela densidade do (s) material (is) de origem das partículas, ou seja, a densidade da madeira de *Eucalyptus grandis* e/ou a densidade da casca de aveia, dependendo de qual condição experimental está se referindo (Tabela 2).

Nos cálculos para a determinação da razão de compactação, a densidade aparente adotada para a madeira de *Eucalyptus grandis* foi de $0,64 \text{ g/cm}^3$, de acordo com Nogueira (1991), devido ao fato das partículas de *Eucalyptus grandis* utilizadas terem sido obtidas a partir de peças estruturais.

No caso da densidade aparente da casca de aveia foi adotado o valor de $0,29 \text{ g/cm}^3$, de acordo com os dados fornecidos pela empresa que disponibilizou tal material para a realização deste estudo.

- Inchamento em espessura e absorção de água

Os corpos de prova para os ensaios tanto de inchamento em espessura quanto de absorção de água tem dimensões de 25 x 25 mm (Tabela 3).

Para a avaliação destas propriedades, os corpos de prova foram determinados em relação à espessura (para a propriedade inchamento em espessura) e em relação à massa (para a propriedade absorção de água), antes e após imersão em água a 20°C , por período de duas horas.

Para determinação da espessura dos corpos de prova foi utilizado paquímetro digital da Starrett, modelo 799, com sensibilidade de 0,01 mm (Figura 11b). Para determinação da massa dos corpos de prova foi utilizada uma balança eletrônica digital Acatec, modelo BDC-3300, com sensibilidade de 0,01 gramas (Figura 11a).

Para o cálculo do inchamento em espessura foi utilizada a Equação 2.

$$I = ((E1-E0)/E0) \times 100 \quad (2)$$

onde:

I é o inchamento em espessura do corpo de prova (%);

E1 é a espessura do corpo de prova após o período de imersão (mm);

E0 é a espessura do corpo de prova antes da imersão (mm).

Para o cálculo da absorção de água foi utilizada a Equação 3.

$$A = ((M1-M0)/M0) \times 100 \quad (3)$$

onde:

A é a absorção de água (%);

M1 é a massa do corpo de prova após imersão (g);

M0 é a massa do corpo de prova antes da imersão (g).

Os corpos de prova de inchamento em espessura e absorção de água são apresentados na Figura 12.

Figura 12 - Corpos de prova de inchamento em espessura e absorção de água.

4.5.2 Propriedades mecânicas

A seguir, são apresentadas as metodologias utilizadas para a determinação das propriedades mecânicas avaliadas.

Todos os ensaios para caracterização mecânica dos painéis foram realizados em máquina universal de ensaios da AMSLER, com capacidade de 250 kN, como apresenta a Figura 13.

Figura 13 - Máquina universal de ensaios da AMSLER.

- Flexão estática

Os corpos de prova de flexão estática possuem dimensões de 250 x 50 mm (Tabela 3). Nos ensaios de flexão estática foram determinados o módulo de elasticidade (MOE) e o módulo de ruptura (MOR).

O módulo de elasticidade foi determinado de acordo com a Equação 4.

$$MOE = ((P1 \times D^3) / (dx4 \times B \times E^3)) \quad (4)$$

onde:

MOE é o módulo de elasticidade (MPa);

P1 é a carga no limite proporcional lida no indicador de cargas (N);

D é a distância entre os apoios do aparelho (mm);

d é a deflexão correspondente à carga P1 (mm);

B é a largura do corpo de prova (mm);

E é a espessura média tomada em três pontos do corpo de prova (mm).

O módulo de ruptura foi determinado de acordo com a Equação 5.

$$MOR = ((1,5 \times P \times D) / (B \times E^2)) \quad (5)$$

onde:

MOR é o módulo de ruptura (MPa);

P é a carga de ruptura lida no indicador de cargas (N);

D é a distância entre apoios do aparelho (mm);

B é a largura do corpo de prova (mm);

E é a espessura média tomada em três pontos do corpo de prova (mm).

O ensaio de flexão estática é apresentado na Figura 14a.

- Adesão interna

Os corpos de prova de adesão interna (ou tração perpendicular) possuem dimensões de 50 x 50 mm (Tabela 3). A adesão interna dos corpos de prova foi determinada de acordo com a Equação 6.

$$TP = P/S \quad (6)$$

onde:

TP é a resistência à tração perpendicular (MPa);

P é a carga na ruptura (N);

S é a área da superfície do corpo de prova (mm²).

Os corpos de prova e o ensaio de adesão interna constam nas Figuras 14b e 14c, respectivamente.

Figura 14 - Ensaio de flexão estática (a), corpos de prova de adesão interna (b) e ensaio de adesão interna (c).

Para aderir os corpos de prova aos suportes de aço para a execução dos ensaios de adesão interna, foi utilizada Cola Epóxi Araldite 24 horas, bicomponente, na proporção 1:1 entre resina e endurecedor, conforme indicação do fabricante.

- Arrancamento de parafuso

Os corpos de prova de arrancamento de parafuso possuem dimensões de 150 x 75 mm para face (ou superfície) e 115 x 65 mm para topo (Tabela 3).

O furo para a fixação do parafuso foi realizado em furadeira de bancada da Helmo (Figuras 15a e 15b). A fixação dos parafusos se deu com parafusadeira Bosch, modelo GSR 10,8-2-LI Professional (Figura 15c). A furação e a fixação dos parafusos nos corpos de prova foram realizadas de acordo com a ABNT NBR 14810:2006.

Figura 15 - Furadeira de bancada (a), execução do furo para fixação do parafuso (b) e parafusadeira fixando o parafuso (c).

A leitura da força necessária para arrancar o parafuso é realizada no indicador da máquina universal, expressa em newtons (N). Os ensaios de arrancamento de parafuso são apresentados na Figura 16.

Figura 16 - Ensaio de arrancamento de parafuso: face (a) e topo (b).

4.6 Demais análises dos painéis de partículas

Aqui são apresentados a análise de Porosimetria por Intrusão de Mercúrio e os ensaios de envelhecimento artificial acelerado dos painéis produzidos.

4.6.1 Porosimetria por Intrusão de Mercúrio

O ensaio de Porosimetria por Intrusão de Mercúrio é uma das técnicas mais importantes na determinação da porosimetria de materiais, pois fornece a densidade aparente, a distribuição e o volume dos poros e a área específica do material.

Os corpos de prova possuem dimensões de 14 mm de largura e 23 mm de comprimento e foram secos em estufa com circulação de ar a 50°C por período de 24 horas antes do início dos ensaios.

Na confecção dos corpos de prova, foram selecionados os painéis com 14% de adesivo, por terem apresentado os melhores resultados das propriedades físico-mecânicas avaliadas. Foram retirados quatro corpos de prova, sendo um de cada condição experimental seguinte: 3, 6, 9 e 12 (Tabela 2).

Para o seccionamento dos painéis e obtenção dos corpos de prova foi

utilizada serra circular Marajó, modelo KSN 7945, Figura 9d.

Os ensaios foram conduzidos no equipamento Micromeritics Poresizer, modelo 9320, com capacidade de pressão de 200 MPa, apresentados na Figura 17. Os parâmetros utilizados no ensaio foram: mercúrio com tensão superficial de 0,494 g/cm² e densidade de 13,533 g/mL; ângulo de contato do avanço e retrocesso de 130° e tempo de equilíbrio entre a baixa e alta pressão de 10 segundos.

Figura 17 - Corpo de prova (a), cápsula para intrusão do mercúrio (b) e equipamento Micromeritics Poresizer – 9320 (c). Fonte: Bertolini (2011).

Os ensaios de Porosimetria por Intrusão de Mercúrio foram executados nas dependências do Instituto de Física de São Carlos - IFSC, USP.

4.6.2 Envelhecimento artificial acelerado

Neste estudo, os ensaios de envelhecimento artificial acelerado têm o objetivo de avaliar a exposição dos painéis às intempéries (condições críticas de calor e umidade) e sua influência no desempenho físico-mecânico. Tais ensaios foram realizados no Laboratório de Construções e Ambiente, da Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos – FZEA, USP, em Pirassununga – SP.

Os ensaios de envelhecimento artificial acelerado foram procedidos de acordo com o recomendado pela norma APA PRP 108:1994, especificamente o Ciclo APA D-1. A escolha deste método de envelhecimento artificial acelerado foi baseado num estudo (KOJIMA; SUZUKI, 2011), onde afirmam que dentre os cinco métodos de envelhecimento artificial acelerado estudados, o Ciclo APA D-1 é o menos agressivo aos painéis avaliados.

Figura 18 - Equipamentos utilizados: banho com circulação (a), estufa (b) e câmara climática (c).

Os equipamentos utilizados foram: banho com circulação de água da Marconi, modelo MA 470 (Figura 18a), estufa de esterilização e secagem da Nova Ética, modelo 400-5 ND (Figura 18b) e câmara climática da Thermotron, modelo SM-3.5 S

(Figura 18c).

As condições de processo utilizadas nos ensaios foram: Banho Maria a 66°C durante oito horas, secagem em estufa a 82°C durante 14,5 horas e climatização a temperatura de $20 \pm 3^\circ\text{C}$ e umidade de $65 \pm 2\%$ durante uma hora e meia. Todas estas condições de processo foram procedidas de acordo com o Ciclo APA D-1, estabelecido pelo documento normativo da APA PRP 108:1994.

O seccionamento dos painéis e a obtenção dos corpos de prova foram apresentados anteriormente. Na Figura 19, têm-se algumas imagens dos corpos de prova após os ensaios de envelhecimento artificial acelerado.

Como se observa, os corpos de prova depois do ensaio de envelhecimento artificial acelerado apresentaram danos, como empenamentos e delaminações. Tais danos decorrem da severidade do ensaio de envelhecimento adotado (Ciclo APA D-1).

Figura 19 - Corpos de prova com danos de: empenamento (a) e (b) e delaminações (c).

Após os ensaios de envelhecimento, os corpos de prova foram submetidos a caracterização físico-mecânica, como descrito no item 4.5.

4.7 Análise estatística

Todos os dados obtidos nos ensaios físico-mecânicos foram submetidos a análise estatística a fim de avaliar se os fatores e níveis adotados no delineamento experimental (Tabela 1) apresentam ou não influência no desempenho físico-mecânico dos painéis produzidos, a um nível de confiabilidade de 95% (MONTGOMERY, 2005).

A análise estatística adotada foi uma análise de variância (ANOVA), através do software Minitab, versão 14.

Realizou-se a análise de variância (ANOVA) para avaliar a influência tanto dos fatores (madeira de *Eucalyptus grandis*, casca de aveia e adesivo), quanto da combinação entre tais fatores, em cada uma das variáveis respostas (propriedades físico-mecânicas) avaliadas.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Esta seção apresenta os resultados obtidos ao longo deste estudo, referentes à caracterização das partículas e dos painéis de partículas, antes e após o envelhecimento artificial acelerado.

Os resultados obtidos para as propriedades dos painéis avaliados foram comparados com os requisitos estabelecidos pelas normas ABNT NBR 14810:2006, ANSI A208.1:1999, BS EN 312:2003 e CS 236-66:1968.

A ABNT NBR 14810:2006 estabelece requisitos para as propriedades físico-mecânicas de painéis de partículas, exceto para o módulo de elasticidade na flexão (MOE). Para este, os requisitos são estabelecidos pelas normas ANSI A208.1:1999, BS EN 312:2003 e CS 236-66:1968.

Os testes preliminares realizados determinaram alguns parâmetros e fatores que foram adotados na fase de produção dos painéis, como proporções de partículas e granulometria do resíduo de casca de aveia. As proporções de partículas adotadas estão apresentadas nas Tabelas 1 e 2.

Quanto à granulometria da casca de aveia, descartou-se a possibilidade do emprego deste sem a moagem, devido ao mau desempenho apresentado nos testes preliminares.

Desta forma, foi adotada moagem do resíduo em um moinho de facas, utilizando-se peneira de 2,8 mm de abertura para obtenção das partículas (Figuras 2a e 2b). Como descrito anteriormente, adotaram-se tais dimensões para as partículas por estas apresentarem excelente desempenho dos painéis produzidos por Bertolini (2011), Nascimento (2003) e Varanda et al. (2012).

Os ensaios preliminares utilizando o adesivo ureia formaldeído do tipo E1 levaram a resultados inferiores aos requisitos normativos da ABNT NBR 14810:2006, razão pela qual se optou por não empregar tal adesivo no prosseguimento dos ensaios deste estudo.

Um dos possíveis motivos para o desempenho físico-mecânico insatisfatório, apresentado pelos painéis produzidos com a resina ureia formaldeído está associado ao fato desta resina ser de baixo grau de emissão de formaldeído na atmosfera (tipo E1).

Porém, tais resultados podem melhorar com a adequação de parâmetros do processo, como ajustes na temperatura e no tempo de prensagem, como já vêm ocorrendo na indústria, objetivando um melhor desempenho da resina ureia formaldeído do tipo E1.

5.1 Propriedades das partículas

5.1.1 Teor de umidade

Os resultados obtidos para o teor de umidade das partículas são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - Teor de umidade (TU) das partículas de *Eucalyptus grandis* e casca de aveia.

Amostra	<i>Eucalyptus grandis</i>		Casca de aveia
	TU (%)	TU (%) após secagem	TU (%)
1	20,9	8,4	10,3
2	21,3	7,5	10,0
3	21,2	7,9	10,7
Média	21,2	7,9	10,3
CV (%)	0,9	5,8	3,2

Inicialmente as partículas de *Eucalyptus grandis* se encontravam com teor de umidade médio de 21,2%, muito acima do recomendado pela literatura. Desta maneira, foi necessária a secagem destas partículas em estufa, onde passaram a ter umidade média de 7,9% (Tabela 4). O teor de umidade das partículas ideal na fabricação dos painéis deve situar-se na faixa de 3 a 6% para a resina ureia formaldeído (KOLLMANN; KUENZI; STAMM, 1975; MALONEY, 1993; MOSLEMI, 1974) e na faixa de 8 a 10% para a resina poliuretana à base de mamona (BERTOLINI, 2011).

É imprescindível o controle desta variável durante a produção dos painéis, visto que variações superiores ao teor de umidade recomendado podem gerar

prejuízos aos painéis, causando excesso de vapor, surgimento de bolhas e explosões durante a prensagem, enquanto que variações inferiores ao recomendado podem causar deficiências na adesão entre partículas, influenciando negativamente no desempenho físico-mecânico dos painéis (BOWYER; SHMULSKY; HAYGREEN, 2003).

Neste trabalho, apesar do teor de umidade das partículas estar na faixa de 7,9 a 10,3%, durante a confecção dos 72 painéis não ocorreram os defeitos mencionados. Bertolini (2011) trabalhou com partículas que estavam com teor de umidade médio de 8,6%, isto é, muito semelhante ao deste estudo e também não relatou os defeitos citados anteriormente.

A não ocorrência dos defeitos descritos, tanto neste estudo, quanto no trabalho de Bertolini (2011), está diretamente relacionado ao tipo de adesivo utilizado, isto é, a resina poliuretana à base de mamona. Tal resina apresenta boa trabalhabilidade, além do bom desempenho frente às variáveis discutidas.

5.1.2 Análise granulométrica

A análise granulométrica foi realizada com as partículas de *Eucalyptus grandis* e casca de aveia, retirando três amostras de 200 gramas cada, para cada um dos materiais.

As Tabelas 5 e 6 apresentam os resultados médios obtidos na análise granulométrica das partículas de *Eucalyptus grandis* e casca de aveia, respectivamente.

Analisando os resultados apresentados nas Tabelas 5 e 6, nota-se a predominância de partículas com dimensões entre 0,595 e 1,190 mm, ou seja, cerca de 70% das partículas de *Eucalyptus grandis* e 75% das partículas de casca de aveia utilizadas possuem tamanho na faixa citada.

Tabela 5 - Distribuição granulométrica das partículas de *Eucalyptus grandis*.

Peneira (mesh)	Abertura da peneira (mm)	Média da massa retida (g)	Média da massa retida (%)
7	2,830	0,6	0,3
10	2,000	13,1	6,5
16	1,190	66,7	33,4
30	0,595	73,0	36,5
40	0,420	17,6	8,8
50	0,297	11,0	5,5
Finos < 50	< 0,297	18,0	9,0
Total		200,0	100,0

Tabela 6 - Distribuição granulométrica das partículas de casca de aveia.

Peneira (mesh)	Abertura da peneira (mm)	Média da massa retida (g)	Média da massa retida (%)
7	2,830	0,8	0,4
10	2,000	13,4	6,7
16	1,190	69,9	34,9
30	0,595	80,7	40,4
40	0,420	16,8	8,4
50	0,297	7,4	3,7
Finos < 50	< 0,297	11,0	5,5
Total		200,0	100,0

Weber (2011) produziu painéis com partículas de tamanhos majoritariamente na faixa entre 0,84 e 2,00 mm e obteve desempenho físico-mecânico satisfatório, apesar de utilizar partículas relativamente maiores se comparadas às partículas empregadas neste estudo. Bertolini (2011) utilizou partículas com tamanhos muito similares às partículas aqui empregadas e obteve excelentes propriedades físico-mecânicas.

5.2 Propriedades físico-mecânicas dos painéis

5.2.1 Propriedades físicas

A seguir, são apresentados os resultados obtidos para as propriedades físicas avaliadas, antes e após o envelhecimento artificial acelerado.

5.2.1.1 Teor de umidade

Os resultados obtidos para o teor de umidade dos painéis de partículas são apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 - Teor de umidade (TU) dos painéis de partículas.

Amostra	Sem envelhecimento	Após envelhecimento
	TU (%)	TU (%)
1	8,3	6,7
2	8,4	7,3
3	8,8	7,5
4	8,8	7,9
5	9,1	7,3
6	9,5	7,3
7	10,0	8,3
8	9,7	7,9
Média	9,1	7,5
CV (%)	6,8	6,4

Obteve-se o teor de umidade dos painéis para conhecer a umidade em que foram determinadas suas propriedades físico-mecânicas, visto que o teor de umidade exerce influência nas propriedades dos painéis à base de madeira (JANKOVSKI, 1988). Dos 72 painéis produzidos, foram selecionados aleatoriamente

oito painéis e determinado o teor de umidade de cada um, antes e após o envelhecimento artificial acelerado, como consta na Tabela 7.

Segundo Silva et al. (2006), após a produção (reconstituição da madeira), ocorre redução da umidade de equilíbrio dos painéis, se comparado à madeira sólida. Tal redução de umidade de equilíbrio (ou diminuição da higroscopicidade) ocorre devido à fragmentação da madeira em partículas e a posterior incorporação de resinas, parafinas e outros aditivos, e, especialmente pela aplicação de altas temperaturas e pressão durante a prensagem e consolidação do painel (JANKOVSKI, 1988), onde, segundo Mendes (2001) ocorre o rearranjo e a diminuição das regiões higroscópicas da madeira.

Os painéis aglomerados produzidos por Trianoski (2010) apresentaram teor de umidade na faixa de 9,4 a 10,2%, isto é, semelhante ao obtido neste estudo para os painéis sem envelhecimento (9,1%) e um pouco acima dos painéis submetidos ao envelhecimento (7,5%).

A redução da umidade dos painéis após o envelhecimento está associada principalmente à severidade do teste de envelhecimento artificial acelerado, no qual, em uma das etapas, os painéis são secos em estufa a 82°C por período de 14,5 horas, como descrito na metodologia.

5.2.1.2 Densidade

A tabela 8 apresenta os valores médios da densidade para as doze condições experimentais avaliadas.

Os coeficientes de variação (CV) obtidos estão abaixo de 10%, valor que reflete a pequena variação desta propriedade entre os painéis avaliados. Os coeficientes de variação obtidos condizem com outros estudos (BERTOLINI, 2011; TRIANOSKI, 2010; WEBER, 2011).

Tabela 8 - Valores médios da densidade (D) dos painéis.

CE	Sem envelhecimento		Após envelhecimento		Redução da
	D (kg/m ³)	CV (%)	D (kg/m ³)	CV (%)	D (%)
1	951	5,1	802	4,8	16
2	957	5,5	815	8,4	15
3	929	6,0	841	6,2	9
4	941	6,9	758	6,1	19
5	939	6,6	806	4,7	14
6	927	9,5	854	9,5	8
7	946	7,3	759	6,1	20
8	913	9,2	805	5,5	12
9	940	7,8	862	6,3	8
10	1016	3,3	789	7,5	22
11	968	6,0	825	5,1	15
12	1008	4,8	927	9,0	8

Na Tabela 8, o percentual de redução da densidade (D) foi determinado de acordo com a Equação 7.

$$RED = ((VSE - VCE) / VSE) * 100 \quad (7)$$

onde:

RED é a redução no valor da propriedade em função do envelhecimento (%);

VSE é o valor da propriedade sem envelhecimento, na unidade da propriedade avaliada;

VCE é o valor da propriedade com (ou após) envelhecimento, na unidade da propriedade avaliada.

A densidade dos painéis, após o envelhecimento apresentou redução na faixa de 8 a 22%, se comparado à densidade dos painéis não envelhecidos.

Foi observada variação na densidade dos painéis, entre as condições experimentais e entre painéis de uma mesma condição experimental. Tal variação também foi constatada em outros estudos (DACOSTA et al., 2005; MELO et al., 2009), e pode ser decorrente do processo de confecção dos painéis em laboratório,

principalmente nas etapas de montagem do colchão e/ou na adição de adesivos e outros aditivos.

De acordo com Iwakiri (1989), diferenças na densidade final do painel estão associadas ao material utilizado na manufatura dos painéis, a variáveis como o teor de umidade das partículas e as diferenças de densidade entre as partículas empregadas na confecção de tais painéis.

Neste estudo, a grande variação na densidade dos painéis (797 a 1068 kg/m³, na faixa de média a alta densidade), está associada principalmente a dois fatores: às variáveis já descritas do processo de produção dos painéis e, também, ao fato de ter fixado a massa total de partículas para cada painel em 640 gramas, variando a razão de compactação e, conseqüentemente, a densidade dos painéis, como citado na metodologia.

A Tabela 9 apresenta os resultados da ANOVA para as médias da densidade, estando sublinhados os p-valores menores ou iguais a 0,05 (5%), significativos a um nível de confiabilidade de 95% (MONTGOMERY, 2005).

Tabela 9 - P-valores dos fatores e interações investigados em relação à densidade (D).

Fatores Experimentais	D (kg/m³)	D (kg/m³) após envelhecimento
<i>Eucalyptus grandis</i>	<u>0,010</u>	0,126
Adesivo	0,064	<u>0,000</u>
Casca de aveia	<u>0,010</u>	0,126
<i>Eucalyptus grandis</i> - Adesivo	0,930	0,479
Casca de aveia - Adesivo	0,830	0,489

Para cada propriedade físico-mecânica analisada, são apresentados os gráficos dos principais efeitos sobre tal propriedade, somente nos casos em que o fator experimental avaliado seja significativo na variável resposta (propriedade analisada). Isso ocorre para os p-valores menores ou iguais a 0,05, que são significativos a um nível de confiabilidade de 95%, conforme Montgomery (2005). Atendida tal condição, os p-valores menores ou iguais a 0,05 estão sublinhados nas tabelas.

Para análise de variância (ANOVA) se adotam os pressupostos que ambas as amostras são extraídas de populações independentes e que podem ser descritas por

uma distribuição normal (MONTGOMERY, 2005).

Para cada propriedade físico-mecânica avaliada, foram analisados os gráficos residuais dos dados submetidos à análise estatística, a fim de verificar se o método utilizado atende às premissas assumidas no parágrafo anterior.

Quando os pontos (dados) se apresentarem distribuídos uniformemente ao longo da reta (Figura 20a), são atendidas às condições de normalidade exigidas para validação do modelo da ANOVA. Caso contrário, (Figura 20b), foi utilizada a normalização de Box-Cox, como mostra a Figura 20c. Esta normalização é o ajuste estatístico dos dados da propriedade avaliada, a fim de transformá-los em dados que apresentam tal distribuição para, finalmente, validar o modelo da ANOVA. Na Figura 20 são apresentados exemplos dos gráficos utilizados para validação do modelo da ANOVA.

Figura 20 - Exemplos dos gráficos de validação da ANOVA: distribuição uniforme (a), distribuição não uniforme (b) e normalização de Box-Cox (c).

Os dados referentes à densidade, antes e após o envelhecimento artificial dos

painéis, se apresentaram distribuídos uniformemente ao longo da reta, atendendo às condições de normalidade exigidas para validação do modelo da ANOVA.

A densidade dos compósitos variou entre 797 e 1068 kg/m³. As Figuras 21a e 21b ilustram, respectivamente, os efeitos da composição de *Eucalyptus grandis* e casca de aveia sobre a densidade.

A adição da composição percentual de casca de aveia proporcionou aumento de 6,4% na densidade dos painéis no intervalo entre as proporções 30 e 100% (Figura 21b). No caso do *Eucalyptus grandis*, a adição da composição percentual proporcionou redução de 6,4% na densidade dos materiais entre as proporções 0 e 70% (Figura 21a).

Figura 21 - Principais efeitos sobre a densidade. Frações de: *Eucalyptus grandis* (a) e casca de aveia (b).

As interações dos fatores experimentais *Eucalyptus grandis*-adesivo e casca de aveia-adesivo não afetaram a densidade dos painéis, como mostra a Tabela 9.

- Densidade após o envelhecimento

A densidade dos painéis de partículas após o envelhecimento artificial acelerado variou entre 686 e 1065 kg/m³. A Figura 22 ilustra os efeitos do fator experimental adesivo sobre a densidade.

Figura 22 - Principais efeitos sobre a densidade após o envelhecimento. Frações de adesivo.

A densidade aparente dos painéis após o envelhecimento aumentou em 10,8%, se comportando de maneira proporcional ao acréscimo no percentual de adesivo, como mostra a Figura 22.

As interações dos fatores experimentais *Eucalyptus grandis*-adesivo e casca de aveia-adesivo não afetaram a densidade dos painéis avaliados, como apresenta a Tabela 9.

5.2.1.3 Razão de compactação

A tabela 10 apresenta os valores médios da razão de compactação para as doze condições experimentais avaliadas.

O percentual de redução da razão de compactação foi calculado de acordo com a Equação 7.

Nota-se que a razão de compactação após o envelhecimento dos painéis apresentou redução na faixa de 8 a 22%, se comparada aos painéis não envelhecidos.

A faixa de redução da razão de compactação foi análoga à da redução da densidade, uma vez que ambas as propriedades são proporcionais.

A redução tanto da densidade quanto da razão de compactação, após o envelhecimento artificial acelerado dos painéis, se relaciona à severidade do método de envelhecimento adotado (Ciclo APA D-1).

Os coeficientes de variação (CV) obtidos para a razão de compactação são inferiores a 10%, refletindo a pequena variação desta propriedade entre os painéis

avaliados.

Tabela 10 - Valores médios da razão de compactação (RC) dos painéis.

CE	Sem envelhecimento		Com envelhecimento		Redução da
	RC	CV (%)	RC	CV (%)	RC (%)
1	1,49	5,1	1,25	4,8	16
2	1,50	5,5	1,27	8,4	15
3	1,45	6,0	1,31	6,2	10
4	1,60	6,9	1,29	6,1	19
5	1,60	6,6	1,37	4,7	14
6	1,58	9,5	1,45	9,5	8
7	1,77	7,3	1,42	6,1	20
8	1,71	9,2	1,51	5,5	12
9	1,76	7,8	1,61	6,3	9
10	3,50	3,3	2,72	7,5	22
11	3,34	6,0	2,84	5,1	15
12	3,48	4,8	3,20	9,0	8

Segundo Iwakiri (2005), a razão de compactação para painéis de madeira aglomerada deve ser de no mínimo 1,3 para que ocorra a densificação necessária à formação do painel. Maloney (1993) e Moslemi (1974) afirmam que a razão de compactação deve situar-se na faixa de 1,3 a 1,6 para que ocorra contato apropriado entre as partículas de madeira e formação da ligação adesiva adequada entre elas.

Como pode ser observado na Tabela 10, os valores médios da razão de compactação se situaram na faixa de 1,25 a 1,77 para as nove primeiras condições experimentais. Para elas, a razão de compactação é compatível com o estabelecido por Maloney (1993) e Moslemi (1974).

Quanto às três últimas condições experimentais (Tabela 10), a razão de compactação na faixa de 2,72 a 3,50 está bem acima do recomendado pela literatura. Porém, estes valores são muito semelhantes aos encontrados por Mendes et al. (2010), que obteve valores na faixa de 1,39 a 3,12.

Neste trabalho, isto se explica pela baixa densidade aparente da casca de aveia ($0,29 \text{ g/cm}^3$), uma vez que este parâmetro é inversamente proporcional à razão de compactação. Ou seja, como a razão de compactação é definida como a

relação da densidade do painel pela densidade das partículas, quanto menor esta, maior será a razão de compactação. Outro fator que levou a este resultado, como já citado, é a fixação da massa total de partículas em 640 gramas por painel.

A Tabela 11 apresenta os resultados da ANOVA para as médias da razão de compactação.

Tabela 11 - P-valores dos fatores e interações investigados em relação à razão de compactação (RC).

Fatores Experimentais	RC	RC após envelhecimento
<i>Eucalyptus grandis</i>	<u>0,000</u>	<u>0,000</u>
Adesivo	0,356	<u>0,000</u>
Casca de aveia	<u>0,000</u>	<u>0,000</u>
<i>Eucalyptus grandis</i> - Adesivo	0,613	<u>0,023</u>
Casca de aveia - Adesivo	0,613	<u>0,019</u>

Os dados referentes à razão de compactação, antes e após o envelhecimento artificial dos painéis, não apresentaram distribuição normalizada. Para ambos os casos foi necessária a utilização da normalização de Box-Cox para, finalmente, validar o modelo da ANOVA.

A variável resposta razão de compactação dos painéis variou entre 1,36 e 3,68. As composições de *Eucalyptus grandis* e casca de aveia foram significativas, exibindo p-valores 0,000 e 0,000, respectivamente (Tabela 11).

A adição de *Eucalyptus grandis* nas condições experimentais de 0 a 100% proporcionou redução de 57,7% na razão de compactação dos painéis (Figura 23a).

A adição de casca de aveia nas condições experimentais de 0 a 100% levou a aumento de 57,3% na razão de compactação dos painéis (Figura 23b).

As interações das frações de *Eucalyptus grandis*-adesivo e casca de aveia-adesivo não foram significativas na razão de compactação, exibindo p-valores superiores a 0,05, como apresenta a Tabela 11.

Figura 23 - Principais efeitos sobre a razão de compactação. Frações de: *Eucalyptus grandis* (a) e casca de aveia (b).

- Razão de compactação após o envelhecimento

A razão de compactação após o envelhecimento artificial acelerado variou entre 1,12 e 3,67. As composições de *Eucalyptus grandis*, casca de aveia e adesivo foram significativas, exibindo p-valores 0,000; 0,000 e 0,000, respectivamente (Tabela 11).

Observa-se que a razão de compactação diminuiu em 56,2% quando há uma adição da composição percentual de *Eucalyptus grandis* (Figura 24a).

A adição dos fatores casca de aveia e adesivo nas condições experimentais proporcionou um aumento de 57 e 11,8%, respectivamente, na razão de compactação dos painéis, como mostram as Figuras 24b e 24c.

Figura 24 - Principais efeitos sobre a razão de compactação após o envelhecimento. Frações de: *Eucalyptus grandis* (a), casca de aveia (b) e adesivo (c).

As interações das frações de *Eucalyptus grandis*-adesivo e casca de aveia-adesivo foram significativas, exibindo p-valores inferiores a 0,05 (Tabela 11). Tais interações são apresentadas na Figura 25.

Figura 25 - Principais efeitos das interações sobre a razão de compactação após o envelhecimento: *Eucalyptus grandis*-adesivo (a) e casca de aveia-adesivo (b).

Observa-se que a adição da composição percentual de adesivo foi proporcional ao aumento da razão de compactação dos painéis, tanto na

composição de *Eucalyptus grandis* como na composição de casca de aveia, como apresentam as Figuras 25a e 25b, respectivamente.

Menor composição de *Eucalyptus grandis* (0%) e maior de casca de aveia (100%) foram as condições que resultaram na maior razão de compactação.

5.2.1.4 Inchamento em espessura (2h)

A tabela 12 apresenta os valores médios da propriedade física inchamento em espessura, após período de duas horas de imersão em água, para as doze condições experimentais avaliadas.

Todos os resultados obtidos para o inchamento em espessura (2h) dos painéis sem envelhecimento ficaram abaixo do valor de 8% estipulado pela norma ABNT NBR 14810:2006, para painéis com espessura entre 8 e 13 mm, além de atender aos requisitos estabelecidos pela norma ANSI A208.1:1999.

O inchamento em espessura (2h) após o envelhecimento artificial dos painéis não atendeu aos requisitos das normas ABNT NBR 14810:2006 e ANSI A208.1:1999, exceto para as condições experimentais 1 e 2.

Os resultados de inchamento em espessura (2h) para os painéis sem envelhecimento condizem com os encontrados por Bertolini (2011) e Weber (2011).

Os coeficientes de variação obtidos entre 3,1 e 40,5%, são semelhantes aos encontrados por Bertolini (2011). Esta faixa de valores de CV também é compatível com o CV médio de 33,07%, obtido por Mendes et al. (2010).

Quanto aos painéis envelhecidos, os resultados se assemelham aos obtidos por Trianoski (2010). Porém, estes últimos são painéis homogêneos não envelhecidos, onde Trianoski (2010) obteve valores de inchamento em espessura (2h) na faixa de 12,1 a 17,1%.

Tabela 12 - Valores médios do inchamento em espessura - 2h (IE 2h) dos painéis.

CE	Sem envelhecimento		Após envelhecimento		Aumento do
	IE 2h (%)	CV (%)	IE 2h (%)	CV (%)	IE 2h (%)
1	4,26	20,4	7,45	24,6	75
2	3,83	25,2	7,13	34,0	86
3	3,34	26,6	8,40	19,1	151
4	4,23	11,4	8,48	12,3	100
5	4,17	16,2	8,19	16,2	96
6	2,59	23,0	10,35	18,7	300
7	5,50	21,4	11,39	12,8	107
8	5,02	25,0	12,58	11,8	151
9	3,90	17,9	11,97	3,1	207
10	4,22	28,2	16,01	26,3	279
11	4,65	13,4	15,13	7,7	225
12	2,81	40,5	15,46	9,0	450

Na Tabela 12, o aumento no percentual do inchamento em espessura (2h) foi determinado de acordo com a Equação 8.

$$AUM = ((VCE - VSE) / VSE) * 100 \quad (8)$$

onde:

AUM é o aumento no valor da propriedade em função do envelhecimento (%);

VCE é o valor da propriedade ou após envelhecimento, na unidade da propriedade avaliada;

VSE é o valor da propriedade sem envelhecimento, na unidade da propriedade avaliada.

Nota-se que o inchamento em espessura (2h), após o envelhecimento dos painéis, apresentou aumento na faixa de 75 a 450%, se comparado ao inchamento em espessura (2h) dos painéis não envelhecidos. Este aumento se relaciona à severidade do método de envelhecimento adotado (Ciclo APA D-1).

A Tabela 13 apresenta os resultados encontrados da ANOVA para as médias do inchamento em espessura (2h).

Tabela 13 - P-valores dos fatores e interações investigados em relação ao inchamento em espessura - 2h (IE 2h).

Fatores Experimentais	IE 2h (%)	IE 2h (%) após envelhecimento
<i>Eucalyptus grandis</i>	<u>0,002</u>	<u>0,000</u>
Adesivo	<u>0,000</u>	0,296
Casca de aveia	<u>0,002</u>	<u>0,000</u>
<i>Eucalyptus grandis</i> - Adesivo	0,598	0,263
Casca de aveia - Adesivo	0,598	0,321

Os dados do inchamento em espessura (2h), antes e após o envelhecimento artificial acelerado, se distribuíram uniformemente ao longo da reta, atendendo às condições de normalidade exigidas para validar o modelo da ANOVA.

O inchamento em espessura (2h) dos painéis variou entre 1,52 e 7,06%. A análise de variância mostra que os fatores experimentais *Eucalyptus grandis*, casca de aveia e adesivo foram significativos nos resultados obtidos para o inchamento em espessura (2h), como consta na tabela 13.

Com relação ao *Eucalyptus grandis*, a porcentagem de inchamento em espessura (2h) sofreu redução de 23,8% no intervalo entre as proporções 70 e 85% (Figura 26a).

A casca de aveia apresentou aumento de 11,6% na porcentagem de inchamento em espessura (2h) dos compósitos entre as proporções 15 e 30% (Figura 26b).

Figura 26 - Principais efeitos sobre o inchamento em espessura (2h). Frações de: *Eucalyptus grandis* (a), casca de aveia (b) e adesivo (c).

A presença da maior composição de adesivo nos compósitos conferiu menor porcentagem de inchamento em espessura (2h), registrando redução de 30,8% nesta propriedade entre as proporções 10 e 14% de adesivo (Figura 26c). Este fenômeno é coerente com o esperado, pois quanto maior o teor de adesivo, menor é a higroscopicidade dos painéis (JANKOVSKI, 1988).

As interações *Eucalyptus grandis*-adesivo e casca de aveia-adesivo não foram significativas, exibindo p-valores superiores a 0,05, como consta na Tabela 13.

- Inchamento em espessura (2h) após envelhecimento

O percentual de inchamento em espessura (2h) após o envelhecimento variou entre 4,73 e 24,02%. A análise de variância mostrou que as composições de *Eucalyptus grandis* e de casca de aveia foram significativas nesta condição (Tabela 13).

A adição da composição de *Eucalyptus grandis* proporcionou redução de 50,7% no percentual de inchamento em espessura (2h) (Figura 27a). Em contrapartida, a adição da composição percentual de casca de aveia ocasionou aumento de 51% na porcentagem de inchamento em espessura (2h) (Figura 27b).

Figura 27 - Principais efeitos sobre o inchamento em espessura (2h) após envelhecimento. Frações de: *Eucalyptus grandis* (a) e casca de aveia (b).

As interações *Eucalyptus grandis*-adesivo e casca de aveia-adesivo não afetaram o percentual de inchamento em espessura (2h), exibindo p-valores superiores a 0,05, como apresenta a Tabela 13.

5.2.1.5 Absorção de água (2h)

A tabela 14 mostra os valores médios da absorção de água após período de duas horas de imersão, para as doze condições experimentais avaliadas. O percentual de aumento da absorção de água (2h) foi calculado de acordo com a Equação 8.

Nota-se que a absorção de água (2h), após o envelhecimento dos painéis, apresentou aumento significativo na faixa de 141 a 726%, se comparada aos painéis não envelhecidos.

Como citado, para o inchamento em espessura (2h), este aumento está relacionado à severidade do método de envelhecimento adotado (Ciclo APA D-1).

Tabela 14 - Valores médios da absorção de água - 2h (AA 2h) dos painéis.

CE	Sem envelhecimento		Com envelhecimento		Aumento da
	AA 2h (%)	CV (%)	AA 2h (%)	CV (%)	AA 2h (%)
1	5,21	19,4	12,78	16,7	145
2	4,90	14,7	14,62	49,3	198
3	5,11	15,0	12,34	26,3	141
4	5,91	29,2	20,93	39,1	254
5	5,13	23,3	19,10	16,7	272
6	5,48	28,5	24,99	38,1	356
7	6,04	26,9	33,20	43,8	450
8	6,64	34,5	35,75	14,1	438
9	4,56	13,0	21,63	28,3	374
10	6,77	20,8	55,94	15,3	726
11	7,20	17,7	54,75	15,0	660
12	5,14	21,5	33,50	33,3	552

Os coeficientes de variação obtidos, faixa de 13 a 49,3%, são similares aos de outros estudos (BERTOLINI, 2011; TRIANOSKI, 2010; WEBER, 2011). Porém, os coeficientes de variação obtidos por Nascimento (2003) para esta propriedade física são inferiores, apresentando valores de até 14%.

Os resultados da absorção de água (2h) obtidos, para os painéis sem envelhecimento se assemelham aos encontrados por Bertolini (2011).

Não há requisitos para a propriedade absorção de água (2h) nos documentos normativos referentes a painéis aglomerados.

A Tabela 15 apresenta os resultados da ANOVA para as médias da absorção de água (2h).

Tabela 15 - P-valores dos fatores e interações investigados em relação à absorção de água - 2h (AA 2h).

Fatores Experimentais	AA 2h (%)	AA 2h (%) após envelhecimento
<i>Eucalyptus grandis</i>	<u>0,048</u>	<u>0,000</u>
Adesivo	<u>0,035</u>	<u>0,001</u>
Casca de aveia	<u>0,048</u>	<u>0,000</u>
<i>Eucalyptus grandis</i> - Adesivo	0,186	<u>0,001</u>
Casca de aveia - Adesivo	0,186	<u>0,002</u>

Os dados da absorção de água (2h) antes do envelhecimento artificial dos painéis se distribuem uniformemente ao longo da reta, atendendo às condições de normalidade exigidas para validação do modelo da ANOVA.

Todavia, os dados da absorção de água (2h) após o envelhecimento dos painéis não apresentaram a distribuição normalizada, sendo necessária a utilização da normalização de Box-Cox para validar o modelo da ANOVA.

A absorção de água (2h) variou entre 3,16 e 9,29%. As Figuras 28a e 28b exibem, respectivamente, os efeitos dos fatores experimentais *Eucalyptus grandis* e casca de aveia sobre a porcentagem de absorção de água (2h).

A adição da composição percentual de casca de aveia proporcionou aumento de 20,3% na absorção de água (2h) (Figura 28b). No caso do *Eucalyptus grandis*, a adição da composição percentual proporcionou redução de 20,4% na absorção de água (2h) (Figura 28a).

A adição da composição percentual de adesivo reduziu em 15,2% a porcentagem de absorção de água (2h), como apresenta a Figura 28c.

A presença da maior composição percentual de adesivo nos compósitos conferiu menor porcentagem de absorção de água (2h). Este fenômeno é coerente com o esperado, assim como ocorreu no inchamento em espessura (2h). Jankovski (1988) afirma que quanto maior o teor de adesivo, menor é a higroscopicidade dos painéis.

As interações *Eucalyptus grandis*-adesivo e casca de aveia-adesivo não afetaram o percentual de absorção de água (2h) dos compósitos, exibindo p-valores superiores a 0,05 (Tabela 15).

Figura 28 - Principais efeitos sobre a absorção de água (2h). Frações de: *Eucalyptus grandis* (a), casca de aveia (b) e adesivo (c).

- Absorção de água (2h) após o envelhecimento

A absorção de água (2h) após o envelhecimento dos painéis variou entre 8,46 e 70,95%. As Figuras 29a e 29b exibem, respectivamente, os efeitos dos fatores experimentais *Eucalyptus grandis* e casca de aveia sobre a porcentagem de absorção de água (2h).

A adição da composição percentual de casca de aveia proporcionou aumento de 72,3% na absorção de água (2h) após o envelhecimento (Figura 29b). No caso do *Eucalyptus grandis*, a adição da composição percentual proporcionou redução de 72,4% na absorção de água (2h), como apresenta a Figura 29a.

Figura 29 - Principais efeitos sobre a absorção de água (2h), após o envelhecimento. Frações de: *Eucalyptus grandis* (a), casca de aveia (b) e adesivo (c).

A adição da composição percentual de adesivo reduziu em 25,6% a porcentagem de absorção de água (2h), como mostra a Figura 29c.

As interações das frações de *Eucalyptus grandis*-adesivo e casca de aveia-adesivo foram significativas, com p-valores inferiores a 0,05 (Tabela 15).

Para as interações, o percentual de 14% de adesivo proporcionou menor porcentagem de absorção de água (2h) (Figura 30), tanto para o fator *Eucalyptus grandis* quanto para o fator casca de aveia para a maioria dos níveis (proporções mássicas de partículas de cada material) estudados.

Figura 30 - Principais efeitos das interações sobre a absorção de água (2h): *Eucalyptus grandis*-adesivo (a) e casca de aveia-adesivo (b).

A adição da composição percentual de adesivo foi inversamente proporcional à porcentagem de absorção de água (2h). Esta relação ocorreu como o esperado (JANKOVSKI, 1988).

Nas duas interações, tanto a menor composição de *Eucalyptus grandis* (0%), como a maior composição de casca de aveia (100%) resultaram no maior percentual de absorção de água (2h), como pode ser observado na Figura 30.

5.2.2 Propriedades mecânicas

A seguir, são apresentados os resultados obtidos para as propriedades mecânicas avaliadas, antes e após o envelhecimento artificial acelerado.

- Flexão estática

Nos ensaios de flexão estática foram determinados o módulo de elasticidade (MOE) e o módulo de ruptura (MOR).

5.2.2.1 Módulo de elasticidade

A tabela 16 apresenta os valores médios do MOE para as doze condições experimentais avaliadas.

O percentual de redução do módulo de elasticidade foi calculado de acordo com a Equação 7.

Nota-se que o MOE após o envelhecimento dos painéis apresentou redução na faixa de 20 a 73%, se comparado aos painéis não envelhecidos.

Tabela 16 - Valores médios do módulo de elasticidade (MOE) dos painéis.

CE	Sem envelhecimento		Após envelhecimento		Redução do
	MOE (MPa)	CV (%)	MOE (MPa)	CV (%)	MOE (%)
1	2349	14,0	1208	21,1	49
2	2581	12,7	1438	14,3	44
3	2982	10,0	2379	17,3	20
4	2366	17,6	1099	8,3	54
5	2364	9,3	1169	18,2	51
6	2916	11,4	1980	11,0	32
7	2342	9,5	755	19,0	68
8	2389	8,8	914	14,9	62
9	2560	17,3	1343	14,9	48
10	1942	13,3	521	20,6	73
11	2078	9,5	710	16,9	66
12	2171	4,0	1185	12,8	45

A redução no MOE, após o envelhecimento artificial acelerado dos painéis, deve-se à severidade do método adotado (Ciclo APA D-1).

Os coeficientes de variação obtidos, na faixa de 4 a 21,1%, são semelhantes aos encontrados por Bertolini (2011). No estudo de Weber (2011), os coeficientes de variação obtidos para esta propriedade mecânica foram superiores, na faixa entre 21,58 e 35,32%.

Todos os valores do MOE dos painéis sem envelhecimento atenderam ao requisito da BS EN 312:2003 (valor mínimo de 2050 MPa), exceto a condição experimental 10. As normas ANSI A208.1:1999 e CS 236-66:1968 estabelecem o valor mínimo de 2400 MPa para o MOE. Os requisitos destas normas são atendidos em quatro (CE 2, 3, 6 e 9 – Tabela 16), das doze condições experimentais avaliadas.

Esta divergência de resultados pode se dever às muitas variáveis envolvidas no processo produtivo dos painéis (densidade dos materiais, variáveis de prensagem, adesivo utilizado), que influenciam diretamente a qualidade final do painel e suas propriedades físico-mecânicas (IWAKIRI, 1989).

Para o MOE, após o envelhecimento dos painéis, apenas a condição experimental 3 (Tabela 16) atendeu ao requisito da norma BS EN 312:2003.

O documento normativo da ABNT NBR 14810:2006 não estabelece requisitos

para o módulo de elasticidade de painéis de partículas.

A Tabela 17 apresenta os resultados da ANOVA para as médias do MOE, estando sublinhados os p-valores menores ou iguais a 0,05 (5%), considerados significativos a um nível de confiabilidade de 95% (MONTGOMERY, 2005).

Tabela 17 - P-valores dos fatores e interações investigados em relação ao módulo de elasticidade (MOE).

Fatores Experimentais	MOE (MPa)	MOE (MPa)
		após envelhecimento
<i>Eucalyptus grandis</i>	<u>0,000</u>	<u>0,000</u>
Adesivo	<u>0,004</u>	<u>0,004</u>
Casca de aveia	<u>0,000</u>	<u>0,000</u>
<i>Eucalyptus grandis</i> - Adesivo	0,531	<u>0,008</u>
Casca de aveia - Adesivo	0,231	<u>0,008</u>

Os dados do MOE, antes e após o envelhecimento artificial dos painéis, se apresentaram distribuídos uniformemente ao longo da reta, atendendo às condições de normalidade exigidas para validação do modelo da ANOVA.

Os valores experimentais do MOE variaram entre 1654 e 3593 MPa. Os fatores experimentais *Eucalyptus grandis*, casca de aveia e adesivo foram significativos, com p-valores 0,000; 0,000 e 0,004, respectivamente (Tabela 17).

A Figura 31 exibe os principais efeitos das composições dos fatores experimentais sobre o módulo de elasticidade.

Observa-se que o MOE é diretamente proporcional ao aumento da composição percentual de *Eucalyptus grandis* e adesivo (Figuras 31a e 31c), respectivamente. A adição das composições percentuais de *Eucalyptus grandis* e adesivo levaram a aumentos de 20,5 e 13,5%, respectivamente, no MOE.

A adição progressiva da composição de casca de aveia resultou em uma redução no MOE, sendo de 19,5% a maior diferença encontrada (0% - 100%).

Lee e Kang (1998) e Melo et al. (2009) obtiveram resultados semelhantes ao fator casca de aveia deste estudo quanto ao fenômeno da redução do MOE à medida que se aumenta o percentual de adição de outro material.

Figura 31 - Principais efeitos sobre o módulo de elasticidade. Frações de: *Eucalyptus grandis* (a), casca de aveia (b) e adesivo (c).

As interações *Eucalyptus grandis*-adesivo e casca de aveia-adesivo não afetaram significativamente o MOE, com p-valores superiores 0,05 (Tabela 17).

- Módulo de elasticidade após o envelhecimento

Os valores experimentais do MOE após os ensaios de envelhecimento acelerado variaram entre 329 e 2870 MPa. Os fatores experimentais *Eucalyptus grandis*, casca de aveia e adesivo foram significativos, com p-valores 0,000; 0,000 e 0,004, respectivamente, como apresenta a Tabela 17.

A Figura 32 exhibe os principais efeitos das composições dos fatores experimentais sobre o MOE, após o envelhecimento dos painéis.

Figura 32 - Principais efeitos sobre o módulo de elasticidade após o envelhecimento. Frações de: *Eucalyptus grandis* (a), casca de aveia (b) e adesivo (c).

O aumento do MOE é diretamente proporcional ao aumento da composição percentual de *Eucalyptus grandis* e adesivos utilizadas. As maiores diferenças encontradas foram 51,1 e 48%, respectivamente (Figuras 32a e 32c).

A adição progressiva da composição de casca de aveia resultou em redução no MOE (Figura 32b), sendo 52% a maior diferença registrada.

As interações das frações de *Eucalyptus grandis*-adesivo e casca de aveia-adesivo afetaram significativamente o MOE dos painéis envelhecidos, apresentando p-valores inferiores a 0,05, como apresenta a Tabela 17.

Figura 33 - Principais efeitos das interações sobre o módulo de elasticidade após o envelhecimento: *Eucalyptus grandis*-adesivo (a) e casca de aveia-adesivo (b).

Analisando as interações, nota-se que a adição da composição percentual de adesivo proporcionou um aumento significativo no MOE, tanto dentro de um mesmo nível (mesma composição de partículas, analisando os três percentuais de adesivo), como também em um mesmo fator (quando aumenta a composição do fator *Eucalyptus grandis* e reduz a composição do fator casca de aveia), Figura 33.

Percebe-se que a maior composição de *Eucalyptus grandis* (100%) e a menor composição de casca de aveia (0%) resultaram em melhores resultados do módulo de elasticidade, após o envelhecimento artificial dos painéis.

5.2.2.2 Módulo de ruptura

A tabela 18 apresenta os valores médios do módulo de ruptura (MOR) para as doze condições experimentais avaliadas.

Calculou-se o percentual de redução do MOR de acordo com a Equação 7.

Nota-se que o MOR após o envelhecimento dos painéis apresentou redução na faixa de 7 a 76%, se comparado aos painéis não envelhecidos.

A redução do MOR, após o envelhecimento artificial acelerado, está relacionada à severidade do método de envelhecimento adotado (Ciclo APA D-1).

Os coeficientes de variação obtidos se mantiveram na faixa de 8 a 32,3%, sendo semelhantes aos obtidos por Weber (2011).

Quanto ao MOR dos painéis sem envelhecimento, todos atenderam aos requisitos das normas ABNT NBR 14810:2006, ANSI A208.1:1999, BS EN 312:2003 e CS 236-66:1968, que estabelecem o valor mínimo de 18; 16,5; 15 e 16,5 MPa, respectivamente. Quanto à ABNT NBR 14810:2006, apenas a condição experimental 4 (Tabela 18) não atendeu ao requisito mínimo de 18 MPa.

Para o MOR dos painéis após o envelhecimento, apenas as condições experimentais 3 e 6 (Tabela 18) atenderam aos requisitos das normas ABNT NBR 14810:2006, ANSI A208.1:1999, BS EN 312:2003 e CS 236-66.

A norma BS EN 312:2003, que estabelece requisito mínimo de 15 MPa, além das condições experimentais 3 e 6, também foi atendida na condição experimental 12 (Tabela 18).

Tabela 18 - Valores médios do módulo de ruptura (MOR) dos painéis.

CE	Sem envelhecimento		Após envelhecimento		Redução do MOR (%)
	MOR (MPa)	CV (%)	MOR (MPa)	CV (%)	
1	18,2	19,5	9,9	24,9	46
2	18,7	14,2	11,1	18,2	41
3	24,1	14,0	22,3	11,4	7
4	17,7	18,6	9,2	17,2	48
5	18,2	8,0	9,8	10,9	46
6	24,1	16,5	19,1	17,9	21
7	19,9	14,6	6,2	24,3	69
8	20,5	21,5	7,8	24,4	62
9	21,5	20,2	13,2	18,7	39
10	24,5	17,1	5,8	25,5	76
11	24,9	16,1	9,5	32,3	62
12	27,0	11,0	15,9	28,9	41

A Tabela 19 apresenta os resultados da ANOVA para as médias do MOR.

Tabela 19 - P-valores dos fatores e interações investigados em relação ao módulo de ruptura (MOR).

Fatores Experimentais	MOR (MPa)	
	MOR (MPa)	após envelhecimento
<i>Eucalyptus grandis</i>	<u>0,000</u>	<u>0,000</u>
Adesivo	<u>0,003</u>	<u>0,000</u>
Casca de aveia	<u>0,000</u>	<u>0,000</u>
<i>Eucalyptus grandis</i> - Adesivo	0,555	0,061
Casca de aveia - Adesivo	0,512	0,061

Os dados referentes ao MOR, antes e após o envelhecimento artificial dos painéis, se distribuíram uniformemente ao longo da reta, atendendo às condições de normalidade exigidas para validação do modelo da ANOVA.

O MOR dos compósitos variou entre 12,5 e 31,2 MPa. As composições de *Eucalyptus grandis*, casca de aveia e adesivo foram significativas sobre esta variável, com p-valores 0,000; 0,000 e 0,003, respectivamente, Tabela 19.

O MOR aumenta quando há adição da composição percentual de casca de aveia e de adesivo (Figuras 34b e 34c), proporcionando acréscimos de 21,4% e 15,9%, respectivamente.

Para o MOR, os resultados alcançados para os fatores casca de aveia e adesivo são semelhantes aos obtidos por Iwakiri et al. (2000), que encontraram valores estatisticamente superiores para o MOR, em todos os tratamentos, com o aumento do teor de adesivo.

A adição de *Eucalyptus grandis* nas proporções de 0 a 100% proporcionou redução de 22,5% no MOR dos painéis, Figura 34a. Esta afirmação condiz com a afirmação de Santos et al. (2009), referente à redução do MOR devido ao aumento no percentual de inclusão do resíduo de Candeia.

Figura 34 - Principais efeitos sobre o módulo de ruptura. Frações de: *Eucalyptus grandis* (a), casca de aveia (b) e adesivo (c).

As interações das frações de *Eucalyptus grandis*-adesivo e casca de aveia-adesivo não afetaram o MOR, com p-valores superiores a 0,05 (Tabela 19).

- Módulo de ruptura após o envelhecimento

O MOR dos painéis após o envelhecimento variou entre 3,8 e 24,9 MPa. As composições de *Eucalyptus grandis*, casca de aveia e adesivo foram significativas, com p-valores 0,000; 0,000 e 0,000, respectivamente (Tabela 19).

A adição da composição percentual de *Eucalyptus grandis* gerou aumento de 37,5% no MOR dos painéis, entre as proporções 70 e 100%, e redução entre as proporções 0 e 70%, como mostra a Figura 35a.

Com relação à casca de aveia, o MOR sofreu redução de 37,3%, no intervalo entre as proporções 0 e 30%, e aumento entre as proporções 30 e 100%, como apresenta a Figura 35b.

Figura 35 - Principais efeitos sobre o módulo de ruptura após o envelhecimento. Frações de: *Eucalyptus grandis* (a), casca de aveia (b) e adesivo (c).

A adição progressiva da composição percentual de adesivo proporcionou aumento de 55,9% no MOR dos painéis, como mostra a Figura 35c.

As interações das frações de *Eucalyptus grandis*-adesivo e casca de aveia-

adesivo não afetaram o MOR, com p-valores superiores a 0,05 (Tabela 19).

5.2.2.3 Adesão interna

A tabela 20 apresenta os valores médios da adesão interna (AI) para as doze condições experimentais avaliadas.

Calculou-se o percentual de redução da adesão interna pela Equação 7.

A AI após o envelhecimento dos painéis apresentou redução de 42 a 93%, se comparado aos painéis não envelhecidos. A condição experimental 3 (Tabela 20) apresentou aumento de 1% após o envelhecimento.

Os coeficientes de variação obtidos, entre 12,6 e 68,3%, são ligeiramente superiores aos encontrados por Mendes et al. (2010) e Trianoski (2010).

Tabela 20 - Valores médios da adesão interna (AI) dos painéis.

CE	Sem envelhecimento		Após envelhecimento		Redução da
	AI (MPa)	CV (%)	AI (MPa)	CV (%)	AI (%)
1	1,84	32,7	0,73	28,3	60
2	2,56	24,5	0,79	34,5	69
3	2,50	13,8	2,53	35,5	-1
4	1,65	34,3	0,39	21,3	76
5	1,55	40,4	0,53	51,2	66
6	1,83	32,9	1,07	31,3	42
7	1,74	24,8	0,21	47,5	88
8	2,37	18,3	0,33	38,4	86
9	2,06	45,3	0,73	32,7	65
10	1,60	13,7	0,12	56,3	93
11	1,99	12,6	0,25	68,3	87
12	1,52	39,6	0,68	49,3	55

Quanto à adesão interna dos painéis sem envelhecimento, todos atenderam aos requisitos das normas ABNT NBR 14810:2006, ANSI A208.1:1999, BS EN 312:2003 e CS 236-66:1968, que estabelecem valores mínimos de 0,40; 0,90; 0,45 e

1,40 MPa, respectivamente. Os resultados obtidos foram excelentes, muito superiores aos requisitos normativos citados.

Outros estudos também reportam resultados satisfatórios quanto a AI (IWAKIRI et al., 2005; MENDES et al., 2010; WEBER, 2011).

No caso da adesão interna dos painéis após o envelhecimento, os requisitos das normas ABNT NBR 14810:2006 e BS EN 312:2003 (0,40 e 0,45 MPa, respectivamente) não são atendidos em cinco condições experimentais, sendo estas: CE 4, 7, 8, 10 e 11 (Tabela 20), das doze avaliadas.

A Tabela 21 apresenta os resultados da ANOVA para as médias da Adesão Interna.

Tabela 21 - P-valores dos fatores e interações investigados em relação à adesão interna (AI).

Fatores Experimentais	AI (MPa)	AI (MPa) após envelhecimento
<i>Eucalyptus grandis</i>	<u>0,011</u>	<u>0,000</u>
Adesivo	0,609	<u>0,000</u>
Casca de aveia	<u>0,011</u>	<u>0,000</u>
<i>Eucalyptus grandis</i> - Adesivo	0,468	<u>0,000</u>
Casca de aveia - Adesivo	0,408	<u>0,000</u>

Os dados da adesão interna, antes e após o envelhecimento artificial dos painéis, se distribuíram uniformemente ao longo da reta, atendendo às condições de normalidade exigidas para validação do modelo da ANOVA.

A adesão interna dos painéis sem envelhecimento variou entre 0,72 e 3,24 MPa. Por meio da análise de variância, observa-se que as composições de *Eucalyptus grandis* e casca de aveia foram significativas, enquanto que o fator adesivo não foi significativo nos resultados de AI (Tabela 21).

Com relação ao *Eucalyptus grandis*, a AI sofreu redução no intervalo entre as proporções 70 e 85% e aumento tanto entre 0 e 70%, quanto entre 85 e 100%, sendo maior neste último, como pode ser observado na Figura 36a.

A casca de aveia apresentou aumento na adesão interna nas proporções entre 15 e 30%, e registrou redução tanto nas proporções entre 0 e 15% quanto nas proporções entre 30 e 100%, como ilustra a Figura 36b.

Figura 36 - Principais efeitos sobre a adesão interna. Frações de: *Eucalyptus grandis* (a) e casca de aveia (b).

A presença da maior composição (100%) de *Eucalyptus grandis* nos painéis de partículas conferiu maior adesão interna, enquanto que a adição da casca de aveia a reduziu em 26% (Figura 36b).

As interações das frações de *Eucalyptus grandis*-adesivo e casca de aveia-adesivo não afetaram a adesão interna, exibindo p-valores superiores a 0,05, como apresenta a Tabela 21.

- Adesão interna após o envelhecimento

A AI dos compósitos após o envelhecimento acelerado variou entre 0,04 e 3,40 MPa. A análise de variância mostra que a composição de *Eucalyptus grandis*, casca de aveia e adesivo foram significativos nos resultados de AI, exibindo p-valores menores ou iguais a 0,05, como apresenta a Tabela 21.

A adição da composição percentual de *Eucalyptus grandis* e de adesivo proporcionou aumentos de 73,4 e 70,3%, respectivamente, Figuras 37a e 37c. Por outro lado, a casca de aveia reduziu a adesão interna em 73%, Figura 37b.

Figura 37 - Principais efeitos sobre a adesão interna após o envelhecimento. Frações de: *Eucalyptus grandis* (a), casca de aveia (b) e adesivo (c).

As interações tanto de *Eucalyptus grandis*-adesivo quanto de casca de aveia-adesivo afetaram a AI, com p-valores inferiores a 0,05 (Tabela 21).

Figura 38 - Principais efeitos das interações sobre a adesão interna: *Eucalyptus grandis*-adesivo (a) e casca de aveia-adesivo (b).

Analisando as interações da Figura 38, observa-se que a composição percentual de 14% de adesivo proporcionou aumento na AI tanto dos fatores *Eucalyptus grandis* e casca de aveia, quanto dos níveis (proporções de partículas de

cada material) estudados.

A maior composição de *Eucalyptus grandis* (100%) e a menor composição de casca de aveia (0%) resultaram em valores superiores de AI.

5.2.2.4 Arrancamento de parafuso - superfície

A tabela 22 mostra os valores médios da força de arrancamento de parafuso na superfície ou face do painel (AP_S) para as doze condições experimentais avaliadas.

O percentual de redução da força de arrancamento de parafuso na superfície foi calculado de acordo com a Equação 7.

Nota-se que o AP_S , após o envelhecimento dos painéis, apresentou redução entre 38 a 79%, se comparado aos painéis não envelhecidos. A condição experimental 3 (Tabela 22), levou a aumento de 4% na propriedade.

Os coeficientes de variação obtidos, entre 0 e 79,3%, são superiores aos encontrados por Bertolini (2011) e Trianoski (2010).

Quanto ao AP_S dos painéis sem envelhecimento, apenas as condições experimentais 2, 3 e 6 (Tabela 22) atenderam aos requisitos da ABNT NBR 14810:2006. Estes resultados são semelhantes aos obtidos por Weber (2011) para esta propriedade, que se situaram na faixa de 810 a 1200 N.

No caso do AP_S dos painéis após envelhecimento, somente a condição experimental 3 (Tabela 22) atendeu ao requisito da ABNT NBR 14810:2006.

A ABNT NBR 14810:2006 não estabelece requisitos para o arrancamento de parafuso na superfície, em painéis com espessura entre 8 e 13 mm, somente para painéis produzidos com espessura acima de 14 mm (1020 N). Mas, para painéis com espessuras nominais inferiores a 14 mm, comumente são adotados os requisitos estabelecidos para painéis com espessura maior que 14 mm.

Outros pesquisadores obtiveram resultados satisfatórios quanto ao AP_S , para praticamente todos os tratamentos considerados (BERTOLINI, 2011; TRIANOSKI, 2010).

Tabela 22 - Valores médios do arrancamento de parafusos na superfície (AP_s) dos painéis.

CE	Sem envelhecimento		Com envelhecimento		Redução do
	APs (N)	CV (%)	APs (N)	CV (%)	APs (%)
1	892	40,8	417	31,9	53
2	1100	44,1	583	53,3	47
3	1200	21,7	1242	33,7	-4
4	908	35,7	342	23,4	62
5	917	31,9	425	43,9	54
6	1083	32,2	667	79,0	38
7	650	38,0	142	72,0	78
8	833	35,1	175	23,9	79
9	1000	22,6	550	79,3	45
10	450	19,9	100	0,0	78
11	692	25,2	167	41,0	76
12	742	28,1	292	45,2	61

A Tabela 23 apresenta os resultados da ANOVA para as médias das forças de Arrancamento de Parafuso na Superfície.

Tabela 23 - P-valores dos fatores e interações investigados em relação ao arrancamento de parafuso na superfície (AP_s).

Fatores Experimentais	APs (N)	APs (N) após envelhecimento
<i>Eucalyptus grandis</i>	<u>0,000</u>	<u>0,014</u>
Adesivo	<u>0,006</u>	<u>0,000</u>
Casca de aveia	<u>0,000</u>	<u>0,000</u>
<i>Eucalyptus grandis</i> - Adesivo	0,965	0,734
Casca de aveia - Adesivo	0,965	0,342

Os dados referentes ao AP_s , antes do envelhecimento artificial dos painéis, se distribuíram uniformemente ao longo da reta, atendendo às condições de normalidade exigidas para validação do modelo da ANOVA.

Porém, os dados referentes ao AP_s após o envelhecimento, não apresentaram distribuição normalizada. Neste caso foi necessária a utilização da normalização de Box-Cox para validar o modelo da ANOVA.

Os valores experimentais do AP_s para os painéis não envelhecidos variaram entre 300 e 1800 N. Os p-valores 0,000; 0,000 e 0,006 sublinhados na Tabela 23 revelam que os fatores experimentais *Eucalyptus grandis*, casca de aveia e adesivo, respectivamente, foram significativos.

A Figura 39 exibe os principais efeitos dos fatores experimentais sobre o arrancamento de parafuso na superfície dos painéis.

Observa-se que a força de AP_s é diretamente proporcional ao aumento da composição percentual de *Eucalyptus grandis* e adesivo utilizada, com acréscimos de 41 e 27,9%, respectivamente, como apresentam as Figuras 39a e 39c.

Figura 39 - Principais efeitos sobre o arrancamento de parafuso na superfície. Frações de: *Eucalyptus grandis* (a), casca de aveia (b) e adesivo (c).

O AP_s é inversamente proporcional ao aumento da composição percentual de casca de aveia, com redução de 50,5% no valor da propriedade, Figura 39b.

As interações das frações de *Eucalyptus grandis*-adesivo e casca de aveia-adesivo não afetaram de forma significativa a força de arrancamento de parafuso na superfície, apresentando p-valores superiores a 0,05 (Tabela 23).

- Arrancamento de parafuso - superfície após o envelhecimento

Os resultados do AP_S após o envelhecimento dos painéis variaram entre 100 e 1750 N. Os p-valores 0,014; 0,000 e 0,000, sublinhados na Tabela 23 revelam, respectivamente, que os fatores experimentais *Eucalyptus grandis*, casca de aveia e adesivo são significativos nos resultados da propriedade mecânica em questão.

A Figura 40 exibe os principais efeitos dos fatores experimentais sobre a força de AP_S após o envelhecimento dos painéis.

Observa-se que a força de AP_S é diretamente proporcional ao aumento da composição percentual de *Eucalyptus grandis* e adesivo utilizados, gerando aumentos na propriedade de 75 e 63,7%, respectivamente, Figuras 40a e 40c.

Figura 40 - Principais efeitos sobre o arrancamento de parafuso na superfície após o envelhecimento. Frações de: *Eucalyptus grandis* (a), casca de aveia (b) e adesivo (c).

A adição progressiva da composição de casca de aveia resultou em redução da força de arrancamento, sendo 73,3% a maior diferença encontrada nas proporções de 0 a 100% de casca de aveia.

As interações das frações de *Eucalyptus grandis*-adesivo e casca de aveia-

adesivo não afetaram significativamente a força de arrancamento de parafuso na superfície, apresentando p-valores superiores a 0,05 (Tabela 23).

5.2.2.5 Arrancamento de parafuso - topo

A tabela 24 apresenta os valores médios da força de arrancamento de parafuso no topo (AP_T) para as doze condições experimentais avaliadas.

Calculou-se o percentual de redução da força de AP_T pela Equação 7.

Tabela 24 - Valores médios do arrancamento de parafusos no topo (AP_T) dos painéis.

CE	Sem envelhecimento		Após envelhecimento		Redução do
	AP_T (N)	CV (%)	AP_T (N)	CV (%)	AP_T (%)
1	1000	25,5	450	90,5	55
2	1558	35,1	342	36,3	78
3	2350	18,8	967	30,5	59
4	958	33,4	225	48,2	77
5	1075	30,7	392	45,3	64
6	1967	18,0	767	54,4	61
7	950	34,3	242	57,7	75
8	950	36,9	358	40,8	62
9	1758	30,9	783	68,2	55
10	983	29,1	200	63,2	80
11	1225	15,4	150	66,7	88
12	1267	36,2	433	98,9	66

A força de AP_T após o envelhecimento dos painéis apresentou redução entre 55 a 88%, se comparada aos painéis não envelhecidos.

A redução na força de AP_T após o envelhecimento artificial acelerado dos painéis está relacionada à severidade do método de envelhecimento adotado (Ciclo APA D-1).

Os coeficientes de variação obtidos, entre 15,4 e 98,9%, são superiores aos encontrados por Bertolini (2011) e Trianoski (2010).

Quanto à força de arrancamento de parafuso no topo, dos painéis sem envelhecimento, todas as condições experimentais avaliadas (Tabela 24) atenderam aos requisitos da norma ABNT NBR 14810:2006.

Para a maioria das condições experimentais avaliadas, estes resultados são superiores aos obtidos por Weber (2011) para esta propriedade, situados entre 591 a 1346 N. Entretanto, os resultados obtidos por Bertolini (2011), para esta propriedade mecânica, são superiores ao deste estudo, com valor médio entre os tratamentos de 2496 N.

Para a força de AP_T dos painéis após o envelhecimento, somente a condição experimental 3 (Tabela 24) atendeu ao requisito da ABNT NBR 14810:2006, assim como ocorreu no arrancamento de parafuso na superfície (Tabela 22).

O citado documento normativo não estabelece requisitos para AP_T , em painéis com espessura entre 8 e 13 mm, somente para painéis produzidos com espessura acima de 14 mm (800 N). Porém, para painéis com espessuras nominais menores que 14 mm, comumente são utilizados os requisitos estabelecidos para os painéis com espessura maior que 14 mm.

Outros estudos obtiveram valores satisfatórios quanto ao AP_T , para maioria dos tratamentos realizados (TRIANOSKI, 2010; WEBER, 2011) e para todos os tratamentos realizados, no caso de Bertolini (2011).

A Tabela 25 apresenta os resultados da ANOVA para as médias da força de Arrancamento de Parafuso no Topo.

Tabela 25 - P-valores dos fatores e interações investigados em relação ao arrancamento de parafuso no topo (AP_T).

Fatores Experimentais	AP_T (N)	AP_T (N) após envelhecimento
<i>Eucalyptus grandis</i>	<u>0,002</u>	<u>0,000</u>
Adesivo	<u>0,000</u>	<u>0,000</u>
Casca de aveia	<u>0,002</u>	0,081
<i>Eucalyptus grandis</i> - Adesivo	<u>0,017</u>	0,093
Casca de aveia - Adesivo	<u>0,017</u>	0,078

Os dados referentes ao AP_T , antes do envelhecimento artificial dos painéis, se distribuíram uniformemente ao longo da reta, atendendo às condições de

normalidade exigidas para validação do modelo da ANOVA. Porém, os dados referentes ao arrancamento de parafuso no topo, após o envelhecimento dos painéis, não apresentaram tal distribuição, sendo necessária a normalização de Box-Cox para validar o modelo da ANOVA.

Figura 41 - Principais efeitos sobre o arrancamento de parafuso no topo. Frações de: *Eucalyptus grandis* (a), casca de aveia (b) e adesivo (c).

A força de AP_T variou entre 400 e 3200 N. As composições de *Eucalyptus grandis*, casca de aveia e adesivo foram significativas, exibindo p-valores 0,002; 0,002 e 0,000, respectivamente (Tabela 25).

A força de AP_T diminui quando há adição da composição percentual de casca de aveia, como ilustra a Figura 41b.

Entretanto, a força de arrancamento aumenta proporcionalmente ao aumento das composições de *Eucalyptus grandis* e adesivo, com acréscimos de 29,2 e 47%, respectivamente, como mostram as Figuras 41a e 41c.

As interações das frações de *Eucalyptus grandis*-adesivo e casca de aveia-adesivo foram significativas no arrancamento de parafuso no topo, exibindo p-valores inferiores a 0,05 (Tabela 25).

Figura 42 - Principais efeitos das interações sobre o arrancamento de parafuso - topo: *Eucalyptus grandis*-adesivo (a) e casca de aveia-adesivo (b).

Analisando as interações mostradas na Figura 42, observa-se que a composição percentual de 14% de adesivo proporcionou o maior valor da força de AP_T , tanto na interação com o *Eucalyptus grandis* quanto na interação com a casca de aveia.

- Arrancamento de parafuso - topo após o envelhecimento

A força de AP_T após o envelhecimento dos painéis variou entre 50 e 1400 N. As composições de *Eucalyptus grandis* e adesivo foram significativas, exibindo p-valores 0,000 e 0,000, respectivamente (Tabela 25).

A adição de *Eucalyptus grandis* e adesivo nas condições experimentais investigadas proporcionou aumento significativo na força de arrancamento de parafuso no topo, de 55,4 e 62,1%, respectivamente, para as proporções de 0 a 100% de *Eucalyptus grandis* e de 10 a 14% de adesivo, como apresentam as Figuras 43a e 43b.

Figura 43 - Principais efeitos sobre o arrancamento de parafuso no topo, após o envelhecimento. Frações de: *Eucalyptus grandis* (a) e adesivo (b).

As interações das frações de *Eucalyptus grandis*-adesivo e casca de aveia-adesivo não afetaram o arrancamento de parafuso no topo, exibindo p-valores superiores a 0,05, como apresenta a Tabela 25.

5.3 Demais análises dos painéis de partículas

5.3.1 Porosimetria por Intrusão de Mercúrio

Aqui são apresentados os resultados da análise de Porosimetria por Intrusão de Mercúrio.

Estas análises foram procedidas em quatro painéis selecionados, com base no melhor desempenho físico-mecânico (confeccionados com 14% de adesivo), se comparados aos demais painéis produzidos.

As Figuras de 44 a 47 apresentam a curva padrão de intrusão porosimétrica, isto é, o comportamento da distribuição dos poros das amostras e seus respectivos diâmetros, referentes aos painéis analisados.

Figura 44 - Curva padrão de intrusão porosimétrica da amostra com 100% de *Eucalyptus grandis*.

Como se observa nas Figuras 44 a 47, nas quatro amostras analisadas o diâmetro dos poros está situado, predominantemente, na faixa de 0 a 2 μm.

As figuras 45 a 47 mostram que estas três amostras apresentaram certa quantidade de poros com diâmetros até 35 μm.

Porém, a Figura 44 mostra a menor ocorrência de poros com diâmetros na faixa de 2 a 35 μm, se comparado às demais amostras.

Figura 45 - Curva padrão de intrusão porosimétrica da amostra com 85% de *Eucalyptus grandis* e 15% de casca de aveia.

Figura 46 - Curva padrão de intrusão porosimétrica da amostra com 70% de *Eucalyptus grandis* e 30% de casca de aveia.

Quanto ao volume de intrusão diferencial, as quatro amostras analisadas apresentaram valores situados, majoritariamente, até 0,2 mL/g.

A Figura 44 comprova que a amostra com 100% de *Eucalyptus grandis* apresentou os maiores valores do volume de intrusão diferencial, chegando próximo de 0,6 mL/g para alguns poros. Isto evidencia a maior quantidade de poros desta amostra, em comparação às demais analisadas (Tabela 26).

A relação diretamente proporcional entre o volume total de intrusão e o percentual de porosidade é esperada, justamente pelo fato do maior número de poros implicar no maior consumo de mercúrio na intrusão.

Figura 47 - Curva padrão de intrusão porosimétrica da amostra com 100% de casca de aveia.

A Tabela 26 apresenta as características porosimétricas das quatro amostras submetidas à análise.

Tabela 26 - Características porosimétricas das amostras analisadas.

Características porosimétricas	100% E	85% E 15% CA	70% E 30% CA	100% CA
Volume total de intrusão (mL/g)	0,39	0,23	0,24	0,21
Área total de poros (m ² /g)	26,27	23,26	20,46	22,15
Diâmetro médio dos poros (µm)	20,33	7,22	17,90	13,20
Densidade (g/mL)	0,99	1,18	1,17	1,22
Densidade aparente (g/mL)	1,62	1,61	1,62	1,63
Porosidade (%)	38,64	27,12	27,60	25,50

Adote: E, *Eucalyptus grandis* e CA, casca de aveia.

Observa-se, na Tabela 26, que a amostra com 100% de *Eucalyptus grandis* apresentou o maior volume total de intrusão de mercúrio (0,39 mL/g) e, assim, a maior porosidade (38,64%) das quatro amostras analisadas.

Um fator que explica tal resultado é a menor razão de compactação obtida para os painéis com 100% de *Eucalyptus grandis* (Tabela 10), se comparados aos demais, fato que proporciona maior número de vazios no painel.

Os resultados obtidos neste estudo são coerentes com os encontrados por Bertolini (2011), que obteve volumes totais de intrusão na faixa de 0,27 a 0,30 mL/g e percentuais de porosidade entre 28,59 e 29,20%.

5.3.2 Envelhecimento artificial acelerado

Os resultados dos testes de envelhecimento artificial acelerado dos painéis foram apresentados ao longo desta seção, juntamente com cada propriedade físico-mecânica avaliada.

Os testes de envelhecimento artificial acelerado foram efetuados de acordo com o que recomenda a norma APA PRP 108:1994, especificamente o Ciclo APA D-1.

Neste estudo, foi adotado 1 (um) ciclo de envelhecimento na execução dos

ensaios, o que segundo Kojima e Suzuki (2011), equivale a um ano de envelhecimento natural dos painéis expostos às intempéries ambientais. Porém, a equivalência temporal dos métodos de envelhecimento acelerado com o envelhecimento natural pode, sempre, ser objeto de questionamento.

Em particular, o questionamento é compatível em relação aos painéis produzidos neste trabalho, cuja aplicação mais usual é voltada para ambientes internos, com restrita exposição às intempéries.

Apesar do conhecimento destas divergências, este método de envelhecimento artificial acelerado foi adotado tanto por ser o menos agressivo entre os mencionados na literatura (KOJIMA; SUZUKI, 2011), quanto por não existir normalização brasileira para tais ensaios.

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES PARA ESTUDOS FUTUROS

A partir dos resultados obtidos é possível registrar as conclusões:

- As partículas de *Eucalyptus grandis* e de casca de aveia utilizadas apresentaram teor de umidade médio de 7,9 e 10,3%, respectivamente. Quanto a distribuição granulométrica das partículas, cerca de 70 a 75% destas se encontraram na faixa de tamanho de 0,595 a 1,190 mm (16 a 30 mesh), condizentes com outros trabalhos citados. As densidades aparentes das partículas de *Eucalyptus grandis* e de casca de aveia foram de 0,64 e 0,29 g/cm³, respectivamente;
- Em termos de propriedades físicas dos painéis, todos classificaram como sendo de alta densidade (acima de 800 kg/m³), com exceção de três condições experimentais após o envelhecimento dos painéis, que apresentaram média densidade (entre 600 e 800 kg/m³). A razão de compactação dos painéis apresentou grande amplitude nos valores na faixa de 1,25 a 3,48, ficando acima do recomendado pela literatura (1,30 a 1,60), porém semelhante a outros estudos mencionados;
- A propriedade física inchamento em espessura (2h) apresentou resultados que atenderam aos requisitos de normas nacional e internacional. A propriedade absorção de água (2h) não possui requisitos nas normas referentes a painéis aglomerados. Após o envelhecimento, ambas as propriedades apresentaram resultados satisfatórios, se comparado a outros estudos referidos;
- Os fatores experimentais *Eucalyptus grandis* e casca de aveia foram significativos para todas as propriedades físicas avaliadas, exercendo influência nos resultados de tais propriedades, antes e após o envelhecimento dos painéis, exceto para a densidade dos painéis após envelhecimento. Para esta, apenas o fator experimental adesivo foi significativo nos resultados. Entre as quatro propriedades físicas analisadas, somente a razão de compactação e absorção de água apresentaram interações significativas entre os fatores experimentais (tanto para *Eucalyptus grandis*-adesivo quanto para casca de aveia-adesivo). Em ambas as

propriedades físicas, as interações mencionadas apresentaram influência nos resultados apenas para os painéis após o envelhecimento;

- Em relação às propriedades mecânicas dos painéis, na flexão estática todos os não envelhecidos apresentaram resultados que atenderam aos requisitos de normas nacional e internacionais, exceto para uma das condições experimentais das doze estudadas, para ambas as propriedades (MOE e MOR). Após o envelhecimento, apenas uma condição experimental (para o MOE) e três condições experimentais (para o MOR) atenderam aos requisitos de pelo menos uma das normas citadas. A propriedade adesão interna apresentou ótimos resultados, que atenderam aos requisitos das normas nacional e internacionais em questão, exceto para cinco condições experimentais após o envelhecimento;
- A propriedade mecânica arrancamento de parafuso na superfície apresentou resultados que atenderam aos requisitos da norma brasileira em três das doze condições experimentais avaliadas para os painéis não envelhecidos. No caso dos painéis envelhecidos, apenas uma das doze condições experimentais avaliadas atendeu aos requisitos da norma brasileira. Quanto à propriedade mecânica arrancamento de parafuso no topo, todos os painéis não envelhecidos atenderam aos requisitos da norma brasileira. Para os painéis envelhecidos, somente uma das doze condições experimentais avaliadas atendeu aos requisitos da norma brasileira;
- Os fatores experimentais *Eucalyptus grandis* e casca de aveia foram significativos para todas as propriedades mecânicas avaliadas, exercendo influência nos resultados de tais propriedades antes e após o envelhecimento dos painéis, exceto para a propriedade arrancamento de parafuso no topo após envelhecimento. Para esta, apenas o fator experimental *Eucalyptus grandis* foi significativo nos resultados. O fator experimental adesivo foi significativo para todas as propriedades mecânicas avaliadas, exercendo influência nos resultados de tais propriedades, antes e após o envelhecimento dos painéis, exceto para a propriedade adesão interna, no caso dos painéis não envelhecidos;
- Entre as cinco propriedades mecânicas analisadas, as interações entre os fatores experimentais tanto para *Eucalyptus grandis*-adesivo quanto para casca de

aveia-adesivo foram significativas, exercendo influência nos resultados do MOE e da adesão interna ambos após o envelhecimento dos painéis, e para a propriedade arrancamento de parafuso no topo para os painéis não envelhecidos;

- Nos ensaios de Porosimetria por Intrusão de Mercúrio, todos os painéis analisados apresentaram diâmetro dos poros predominantemente na faixa de 0 a 2 μm e volume de intrusão diferencial majoritariamente até 0,2 mL/g. O painel constituído de 100% de partículas de *Eucalyptus grandis* e 14% de adesivo apresentou o maior volume total de intrusão de mercúrio (0,39 mL/g) e, consequentemente, a maior porosidade (38,64%) entre os painéis analisados;
- Os ensaios de envelhecimento artificial acelerado, procedido nos painéis de partículas, reduziram significativamente as propriedades físico-mecânicas avaliadas, se comparado aos resultados das propriedades dos painéis não envelhecidos;
- A melhor configuração obtida para os painéis foi de 90 a 100% de *Eucalyptus grandis*, 0 a 10% de casca de aveia e 14% de adesivo.

Com relação ao exposto nesta seção, conclui-se que os painéis de partículas de *Eucalyptus grandis* confeccionados com adição de casca de aveia apresentaram desempenho físico-mecânico condizente com o estabelecido por normas nacional e internacionais. Diante dos resultados obtidos, os painéis deste estudo apresentam plenas condições de aplicação em indústrias de painéis, móveis, embalagens e diversos segmentos da construção civil.

A partir das conclusões, são sugeridos para estudos futuros:

- Como algumas das propriedades físico-mecânicas avaliadas apresentaram alguns resultados que não atenderam as normas nacional e internacionais, podem ser adotadas mais variações no percentual de adesivo, como 15 ou 16%, a fim de garantir que todas as condições experimentais avaliadas atendam aos requisitos das normas nacional e internacionais;

- Variar a quantidade inicial de partículas para cada condição experimental estudada para obter razão de compactação na faixa recomendada pela literatura (de 1,30 a 1,60) e, conseqüentemente, ter maior controle da densidade final dos painéis;
- Em relação ao uso da resina ureia formaldeído, ajustar parâmetros do processo de produção dos painéis, como temperatura e tempo de prensagem, para obter melhor desempenho da resina ureia formaldeído do tipo E1, em consonância com as partículas empregadas neste estudo (*Eucalyptus grandis* e casca de aveia);
- Quanto aos ensaios de envelhecimento artificial acelerado, recomenda-se tanto adotar outros ciclos quanto adotar outros tipos de envelhecimento que levem em consideração, por exemplo, a emissão de raios ultravioleta, a fim de prever o desempenho dos painéis ao longo do tempo. E, também, para determinar outras variáveis presentes na exposição dos painéis as intempéries ambientais, como raios ultravioleta além da umidade e calor já estudados;
- Realização de ensaios de dureza e resistência à abrasão superficial, testes comumente requisitados em materiais aplicados para pisos, visto que os painéis deste estudo apresentaram alta densidade (acima de 800 kg/m^3).

REFERÊNCIAS

AMERICAN NATIONAL STANDARD (1999). **A208.1**: Particleboard. Gaithersburg.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS (1982). **ASTM D-1037**: Standard methods of evaluating the properties of wood-base fiber and particle panel materials. Philadelphia.

AMICO, S. C. et al. (2001). Caracterização de fibras de sisal da região Nordeste do Brasil. **Materials Science**, Amsterdam, v. 2, p. 34-40.

APA – THE ENGINEERED WOOD ASSOCIATION (1994). **APA PRP 108**: Performance Standards and Policies for Structural-Use Panels. Washington.

ARAÚJO, L. C. R. (1992). **Caracterização química, térmica e mecânica de poliuretanas elastoméricas baseadas em materiais oleoquímicos**. 105 f. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Química e Física de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1992.

ARRUDA, L. M. (2009). **Propriedades de painéis aglomerados com resinas sintéticas a partir da mistura do bambu *Guadua magna Londoño* e Filg. e da madeira de *Pinus taeda* L.** 89 f. Monografia (Graduação) – Universidade de Brasília, Brasília, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE PAINÉIS DE MADEIRA. **Números 2009**. Disponível em: <<http://www.abipa.org.br/numeros.php>>. Acesso em: 20 ago. 2010.

_____. **Números 2011**. Disponível em: <<http://www.abipa.org.br/numeros.php>>. Acesso em: 12 abr. 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE FLORESTAS PLANTADAS. **Anuário estatístico da ABRAF**: ano base 2009. Disponível em: <<http://www.abraflor.org.br/estatisticas.asp>>. Acesso em: 14 dez. 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2002). **NBR14810**: Chapas de madeira aglomerada. Rio de Janeiro.

_____. (2006). **NBR14810: Chapas de madeira aglomerada**. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO MINEIRA DE SILVICULTURA. **Números do setor**. Disponível em: <<http://www.silviminas.com.br>>. Acesso em: 12 fev. 2011.

BARROS FILHO, R. M. (2009). **Painéis aglomerados a base de bagaço de cana-de-açúcar e resinas ureia formaldeído e melamina formaldeído**. 99 f. Dissertação (Mestrado) – Rede Temática em Engenharia de Materiais – (UFOP – CETEC – UEMG), Ouro Preto, 2009.

BATTISTELLE, R. et al. (2010). Caracterização física das chapas de partículas com os rejeitos oriundos da cana-de-açúcar e das folhas de bambu. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRAS, 12., 2010, Lavras. **Anais...** Lavras: [s. n.]. CD-ROM.

BERNARDI, R. (2006). **Reconstituição de chapas de aglomerado**. Dossiê Técnico, SENAI-RS, Centro Tecnológico do Mobiliário.

BERTOLINI, M. S. (2011). **Emprego de resíduos de Pinus sp tratado com preservante CCB na produção de chapas de partículas homogêneas utilizando resina poliuretana à base de mamona**. 128 p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Instituto de Física de São Carlos, Instituto de Química de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

BIDONE, F. R. A. (1999). **Metodologia e técnicas de minimização, reciclagem e reutilização de resíduos sólidos urbanos**. Rio de Janeiro: ABES.

BORGES, D. C. et al. (2009). Reação de genótipos de *Avena spp.* a *Meloidogyne incognita* raça 4. **Tropical Plant Pathology**, Brasília, v. 34, n. 1, jan./fev.

BOWYER, J. L.; SHMULSKY, R.; HAYGREEN, J. G. (2003). **Forest products and wood science: an introduction**. 4. ed. Ames: Iowa State Press.

BRITISH STANDARD (2003). **BS EN 312: Particleboards – specifications**. London.

CAIXETA, R. P. (2000). **Propriedades da madeira de Eucalyptus: classificação e seleção de genótipos utilizando marcador molecular e análise multivariada**. 89 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2000.

CALEGARI, L. et al. (2007). Desempenho físico-mecânico de painéis fabricados com bambu (*Bambusa vulgaris* Schr.) em combinação com madeira. **Cerne**, Lavras, v. 13, n. 1, p. 57-63, jan./mar.

CALLISTER JR. W. D. (2002). **Ciência e Engenharia de Materiais**: uma introdução. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC.

_____. (2006). **Fundamentos da Ciência e Engenharia de Materiais**: uma abordagem integrada. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC.

CAMPOS, C. I. (2005). **Produção e caracterização de MDF a partir de fibras de madeira de reflorestamento e adesivos alternativos em diferentes teores**. 113 p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Instituto de Física de São Carlos, Instituto de Química de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

CAMPOS, C. I.; ROCCO LAHR, F. A. (2004). Estudo comparativo dos resultados de ensaio de tração perpendicular para MDF produzido em laboratório com fibras de pinus e de eucalipto utilizando ureia-formaldeído. **Matéria**, Rio de Janeiro. v. 9, n. 1, p. 32-34.

CARNEIRO, A. C. O. et al. (2004). Propriedades de chapas de flocos fabricadas com adesivo de ureiaformaldeído e de taninos de casca de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden ou de *Eucalyptus pellita* F. Muell. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 28, n. 5, p. 715-724.

CARNEIRO, M. G.; FERRAZ, E. S. B.; TOMAZELLO FILHO, M. (1984). Obtenção de composto madeira-plástico. Polimerização de metacrilato de metila em madeira de *Pinus strobus* var. *chiapensis* através de radiação gama. **IPEF**, Piracicaba, n. 28, p. 41-44.

CARNOS, B. (1988). **Madeira aglomerada**: conceito e utilização. Porto Alegre: SAGRA.

CERES. **Laboratório de Ciência e Tecnologia de Cereais**, Departamento de Ciência e Tecnologia de Alimentos, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. Disponível em: <<http://www.cca.ufsc.br/dcal/labs/ceres/aveia.html#carac>>. Acesso em: 16 jan. 2011.

CLOUTIER, A. (1998). Oriented Strand Board (OSB): raw material, manufacturing process, properties of wood-base fiber and particle materials. In: INTERNATIONAL SEMINAR ON SOLID WOOD PRODUCTS OF HIGH TECHNOLOGY, 1998, Belo

Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: SIF, p. 173-185.

COMISSÃO BRASILEIRA DE PESQUISA DE AVEIA. **30ª Reunião**. Disponível em: <<http://www6.ufrgs.br/agronomia/aveia>>. Acesso em: 22 jun. 2010.

COMMERCIAL STANDARD (1968). **CS 236-66**: Mat formed Wood particleboard. [s. l.].

DACOSTA, L. P. E. (2004). **Utilização de resíduos do processamento mecânico da madeira para fabricação de chapas de partículas aglomeradas**. 118 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004.

DACOSTA, L. P. E. et al. (2005) Qualidade das chapas de partículas aglomeradas fabricadas com resíduos do processamento mecânico da madeira de *Pinus elliottii* Engelm. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 15, n. 03, p. 311-322.

DEUTSCHES INSTITUT FUR NORMUNG (1982). **DIN 52362**: Plywood: building-veneer plywood. Berlin.

DIAS, F. M. (2005). **Aplicação de resina poliuretana à base de mamona na fabricação de painéis de madeira compensada e aglomerada**. 150 f. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Instituto de Física de São Carlos, Instituto de Química de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

_____. (2008). **Aplicação de resina poliuretana à base de mamona na fabricação de painéis de madeira aglomerada**. Produtos Derivados da Madeira: síntese dos trabalhos desenvolvidos no LaMEM-SET-EESC-USP. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, p. 73-92.

FARIA, P. E. (2007). **Estudo sobre a Furação de Compósito de Resina Epóxi Reforçado com Fibras de Vidro**. 204 f. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

FRANKLIN ADHESIVES AND POLYMERS. (2003). **Trinta princípios da colagem de madeira**. Disponível em: <<http://www.franklinadhesives.com>>. Acesso em: 09 fev. 2011.

GARCIA, C. H.; MORA, A. L. (2000). **A cultura de eucalipto no Brasil**. São Paulo: SBS.

HASELEIN, C. R.; PAULESKI, D. T. (2004). **Caderno didático da disciplina de tecnologia da madeira: parte II**. Santa Maria: Imprensa Universitária.

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

HILLIG, É. et al. (2006). Modelagem de misturas na fabricação de compósitos polímero-fibra, utilizando polietileno e serragem de *Pinus sp.* **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 16, n. 3, p. 343-351.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Estatísticas 2009**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 18 ago. 2010.

IWAKIRI, S. (1989). **A influência das variáveis de processamento sobre propriedades das chapas de partículas de diferentes espécies de Pinus**. 130 f. Tese (Doutorado) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1989.

_____. (1998). **Painéis de madeira**. Curitiba: FUPEF.

_____. (2003). Painéis de madeira: características tecnológicas e aplicações. **Revista da Madeira**, Curitiba, Edição especial, maio.

_____. (2005). **Painéis de madeira reconstituída**. Curitiba: FUPEF.

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

IWAKIRI, S.; PEREIRA, S. J.; NISGOSKI, S. (1999). Influência da umidade, pressão e tempo de prensagem na produção de chapas de partículas de madeira aglomerada. **Ciências Agrárias**, Curitiba, v. 18, n. 1, p. 29-36.

IWAKIRI, S. et al. (2000). Resíduos de serrarias na produção de painéis de madeira aglomerada de eucalipto. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 1, n. 1-2, p. 23-28.

_____. (2005). Produção de painéis aglomerados de alta densificação com uso de resina melamina-ureia-formaldeído. **Cerne**, Lavras, v. 11, n. 4, p. 323-328, out./dez.

JANKOWSKY, I. P. (1988). **Colagem de madeiras**. Piracicaba: ESALQ.

JESUS, J. M. H. (2000). **Estudo do adesivo poliuretano à base de mamona em madeira laminada colada (MLC)**. 106 f. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.

KELLY, M.W. (1977). A critical literature review of relationship between processing parameters and physical properties of particleboard. USDA Forest Service. **Forest Products Laboratory General Technical Report**, Madison, n. 10, p. 1-66.

KOJIMA, Y.; SUZUKI, S. (2011). Evaluating the durability of wood-based panels using internal bond strength results from accelerated aging treatments. **Journal Wood Science**, Japan, v. 57, p. 7–13.

KOLLMANN, F. P.; KUENZI, E. W.; STAMM, A. J. (1975). **Principles of Wood science and technology: wood based materials**. New York: Springer-Verlag.

LEE, H. H.; KANG, C. W. (1998). Development of rice hull insulation board using urea formaldehyde resin. **Mokchae Konghak**, China, v. 26, n. 4, p. 50-55.

LIMA, C. K. P. et al. (2007). Características anatômicas e química da madeira de clones de *Eucalyptus* e sua influência na colagem. **Cerne**, Lavras, v. 13, n. 2, p. 123-129.

MALINOVSKI, R. A. (2002). **Reflorestamento em áreas limítrofes de propriedades rurais em São José dos Pinhais (PR): análise de percepção e de viabilidade econômica**. 161 f. Dissertação (Mestrado) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

MALONEY, T. M. (1977). **Modern particleboard and dry-process fiberboard manufacturing**. San Francisco: Miller Freeman.

_____. (1993). **Modern particleboard and dry-process fiberboard**. San Francisco: Miller Freeman.

_____. (1996). The family of wood composite materials. **Forest Products Journal**, Madison, v. 46, n. 2, p. 19-26.

MARRA, A. A. (1992). **Technology of wood bonding: principles and practice**. New York: Van Nostrand Reinhold.

MATTOS, R. L. G.; GONÇALVES, R. M.; CHAGAS, F. B. (2008). Painéis de madeira no Brasil: panorama e perspectivas. **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, n.27, p.121-156.

MELO, R. R. et al. (2009). Propriedades físico-mecânicas de painéis aglomerados produzidos com diferentes proporções de madeira e casca de arroz. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 19, n. 4, p. 449-460, out./dez.

MENDENS, L. M.; ALBUQUERQUE, C. E. C.; IWAKIRI, S. A. (2003). A indústria brasileira de painéis de madeira. **Revista da Madeira**, Curitiba, n. 71, p. 12-20.

MENDES, L. M. (2001). ***Pinus spp.* na produção de painéis de partículas orientadas**. 156 f. Tese (Doutorado) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2001.

MENDES, R. F. (2008). **Utilização do bagaço de cana de alambique na produção de painéis aglomerados**. 104 f. Monografia (Graduação) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008.

MENDES, R. F.; MENDES, L. M.; ALMEIDA, N. F. Associação de eucalipto e pinus na produção de painéis aglomerados de bagaço de cana. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRAS, 12., 2010, Lavras. **Anais...** Lavras: [s. n.]. CD-ROM.

MENDES, R. F. et al. (2010). Painéis aglomerados produzidos com bagaço de cana em associação com madeira de eucalipto. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 38, n. 86, p. 285-295, jun.

MOIZÉS, F. A. (2007). **Painéis de Bambu, uso e aplicações: uma experiência didática nos cursos de Design em Bauru, São Paulo**. 113 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2007.

MONTGOMERY, D. C. (2005). **Design and analysis of experiments**. 6. ed. Arizona: John Wiley & Sons Inc.

MOSLEMI, A. A. (1974). **Particleboard**. London: Southern Illinois University Press.

NASCIMENTO, M. F. (2003). **CHP - chapas de partículas homogêneas**: madeiras do Nordeste do Brasil. 143 p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Instituto de Física de São Carlos, Instituto de Química de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

NOGUEIRA, M. C. J. (1991). **A. Indicações para o emprego de dezesseis Espécies de Eucalipto na Construção Civil**. 131 p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Instituto de Física de São Carlos, Instituto de Química de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 1991.

OKAMOTO, T. (2003). Recent developments in wood-plastic composites-extrusion of wood based materials. **Mokuzai Gakkaishi**, Tokyo, v. 49, n. 6, p. 401-407.

PEDRAZZI, C. (2005). **Qualidade de chapas de partículas de madeira aglomerada fabricadas com resíduo de uma indústria de celulose**. 137 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

PELISSARI, J. M. A. et al. (2010). Viabilidade de utilização de resíduo de “Jequitibá-vermelho” na produção de painéis homogêneos de madeira aglomerada. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRAS, 12., 2010, Lavras. **Anais...** Lavras: [s. n.]. CD-ROM.

PETERSON, R. W. (1964). Wood adhesives. **Forest Products Research Branch**, Ottawa, n. 1055.

PIERRE, F. C. (2010). **Caracterização físico-mecânica de painéis aglomerado de Eucalyptus grandis com adição de resíduos industriais madeireiros**. 122 p. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2010.

PIZZI, A. (1983). **Wood adhesives**: chemistry and technology. New York: Marcell Dekker.

_____. (1994). **Advanced wood adhesives technology**. Nova York: Marcell Dekker.

PIZZI, A.; MITTAL, K. L. (1994). **Handbook of adhesive technology**. New York:

Marcell Dekker.

RIBEIRO, T. S. (2008). **Produção de painéis compensados de Pinus taeda com resina ureia-formaldeído utilizando diferentes extensores**. 20 f. Monografia (Graduação) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2008.

ROWELL, R. M.; HAN, J. S.; ROWELL, J. S. (2000). Characterization and factors affecting fiber properties. In: FROLLINI, E.; LEÃO, A. L.; MATTOSO, L. H. C. (Ed.). **Natural polymers and agrofibers composites**. São Carlos: Embrapa Instrumentação Agropecuária. p. 115-134.

SÁ, J. P. G. (1995). Utilização da aveia na alimentação animal. **Circular**, Londrina - IAPAR (Instituto Agrônômico do Paraná), n. 87.

SALDANHA, L. K. (2004). **Alternativas tecnológicas para produção de chapas de partículas orientadas OSB**. 83 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

SAMLAIC, J. (1983). Os atuais problemas e as possibilidades dos adesivos para madeira. **Revista da Madeira**, Curitiba, n. 374, p. 7-10.

SANTOS, R. C. et al. (2008). Aproveitamento de resíduos da madeira de Candeia (*Eremanthus erythropappus*) para produção de painéis cimento-madeira. **Cerne**, Lavras, v. 14, n. 3, p. 241-250, jul./set.

_____. (2009). Chapas de partículas aglomeradas produzidas a partir de resíduos gerados após a extração do óleo da madeira de candeia (*Eremanthus erythropappus*). **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 37, n. 84, p. 437-446.

SCATOLINO, M. V. et al. (2010). Pesquisas desenvolvidas na uepam da ufla: utilização de resíduos variados na produção de painéis particulados. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRAS, 12., 2010, Lavras. **Anais...** Lavras: [s. n.]. CD-ROM.

SILVA, D. A. (2004). Florestas do Paraná: quadro desolador. **CREA-PR**, Curitiba, n. 31, p. 39-40, nov.

SILVA, G. A. et al. (2006). Efeito de algumas variáveis de processamento nas propriedades físicas de painéis de madeira de partículas alongadas. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 16, n. 1, p. 51-60.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA. **As plantações de eucalipto no Brasil**. Disponível em: <http://www.sbs.org.br/destaques_plantacoesnobrasil.htm>. Acesso em: 11 jan. 2011.

TAMANINI, C.; HAULY, M. C. O. (2004). Resíduos agroindustriais para produção biotecnológica de xilitol. **Ciências Agrárias**, Londrina, v. 25, n. 4, p. 315-330, out./dez.

TAMANINI, C. et al. (2004). Avaliação da casca de aveia para produção biotecnológica de xilitol. **Acta Scientiarum Technology**, Maringá, v. 26, n. 2, p.117-125.

THOLE, V.; WEISS, D. (1992). Suitability of annual plants as additives for gypsum-bonded particleboards. **Holz als Roh und Werkstoff**, München, v. 50, n. 6, p. 241-252.

TOSTES, A. S. et al. (2004). Colagem de chapas de madeira aglomerada com adesivo ureiaformaldeído (UF) modificado com tanino da casca de *Eucalyptus pellita* F. Mull. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 11, n. 2, p. 14-19.

TRIANOSKI, R. (2010). **Avaliação do potencial de espécies florestais alternativas, de rápido crescimento, para produção de painéis de madeira aglomerada**. 260 f. Dissertação (Mestrado) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

VARANDA, L. D. et al. (2012). *Eucalyptus* particleboards: addition of oat hulls. In: BRAZILIAN CONFERENCE ON COMPOSITE MATERIALS, 2012, Natal. **Anais...** Natal: [s. n.].

VICK, C. B. (1999). **Adhesive bonding of wood materials**. Madison: U.S. Department of Agriculture.

WEBER, C. (2011). **Estudo sobre viabilidade de uso de resíduos de compensados, MDF e MDP para produção de painéis aglomerados**. 87 f. Dissertação (Mestrado) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

WEBSTER, F. H. (1986). **Oats chemistry and technology**. Saint Paul: American Association of Cereal Chemists.

APÊNDICES

Aqui são apresentados os resultados obtidos para cada corpo de prova dos 72 painéis produzidos, em relação às propriedades físico-mecânicas, antes e após o envelhecimento artificial acelerado, como apresenta o Apêndice A.

Também são apresentados os resultados obtidos na análise granulométrica das partículas de *Eucalyptus grandis* e casca de aveia, como mostra o Apêndice B.

As Tabelas com os valores dos teores de umidade (das partículas e dos painéis) e as Tabelas dos p-valores da análise de variância ANOVA (para cada uma das propriedades físico-mecânicas) não são exibidas nos Apêndices, justamente por já terem sido apresentadas integralmente nos resultados e discussões.

**APÊNDICE A – Valores obtidos na caracterização físico-mecânica dos painéis,
antes e após o envelhecimento**

Tabela 27 - Valores das propriedades físicas dos painéis: condições experimentais
1, 2, 3 e 4 (Tabela 2).

Composição entre fatores	CP	D (kg/m³)	RC	IE - 2h (%)	AA - 2h (%)
100% <i>Eucalyptus grandis</i> 10% adesivo	A1	945	1,48	4,16	5,74
	A2	933	1,46	5,89	6,18
	A3	926	1,45	3,86	5,66
	A4	924	1,44	4,46	5,40
	A5	927	1,45	3,60	4,94
	A6	1049	1,64	3,58	3,32
	Média	951	1,49	4,26	5,21
	DP	49	0,08	0,87	1,01
	CV (%)	5,1	5,1	20,4	19,4
100% <i>Eucalyptus grandis</i> 12% adesivo	B1	1034	1,62	4,09	3,88
	B2	974	1,52	3,47	4,86
	B3	884	1,38	4,43	5,31
	B4	948	1,48	4,31	4,87
	B5	920	1,44	4,62	5,99
	B6	982	1,53	2,03	4,49
	Média	957	1,50	3,83	4,90
	DP	52	0,08	0,97	0,72
	CV (%)	5,5	5,5	25,2	14,7
100% <i>Eucalyptus grandis</i> 14% adesivo	Q1	881	1,38	2,70	4,82
	Q2	876	1,37	3,78	5,03
	Q3	1028	1,61	3,05	4,64
	Q4	917	1,43	2,07	4,12
	Q5	948	1,48	4,01	5,95
	Q6	925	1,44	4,44	6,09
	Média	929	1,45	3,34	5,11
	DP	56	0,09	0,89	0,77
	CV (%)	6,0	6,0	26,6	15,0
(85% <i>Eucalyptus grandis</i> - 15% Casca de aveia) 10% adesivo	E1	963	1,64	4,07	5,43
	E2	862	1,47	4,52	5,11
	E3	958	1,63	4,95	7,22
	E4	1018	1,73	4,09	4,26
	E5	861	1,46	4,23	8,75
	E6	984	1,67	3,52	4,69
	Média	941	1,60	4,23	5,91
	DP	65	0,11	0,48	1,72
	CV (%)	6,9	6,9	11,4	29,2

Tabela 28 - Valores das propriedades físicas dos painéis: condições experimentais 5, 6, 7 e 8 (Tabela 2).

Composição entre fatores	CP	D (kg/m ³)	RC	IE - 2h (%)	AA - 2h (%)
(85% <i>Eucalyptus grandis</i> - 15% Casca de aveia)	F1	854	1,45	3,03	6,10
	F2	976	1,66	4,04	5,13
	F3	961	1,64	4,48	4,32
	F4	1020	1,74	4,13	3,75
	F5	947	1,61	5,09	4,52
	F6	877	1,49	4,27	6,93
	Média	939	1,60	4,17	5,13
	DP	62	0,11	0,67	1,19
	CV (%)	6,6	6,6	16,2	23,3
(85% <i>Eucalyptus grandis</i> - 15% Casca de aveia)	R1	906	1,54	2,29	7,36
	R2	872	1,48	3,39	4,76
	R3	797	1,36	1,79	3,16
	R4	942	1,60	2,70	4,69
	R5	1027	1,75	2,24	6,10
	R6	1018	1,73	3,12	6,82
	Média	927	1,58	2,59	5,48
	DP	88	0,15	0,60	1,56
	CV (%)	9,5	9,5	23,0	28,5
(70% <i>Eucalyptus grandis</i> - 30% Casca de aveia)	I1	985	1,84	5,53	6,19
	I2	913	1,71	6,24	6,49
	I3	899	1,68	7,06	7,85
	I4	1039	1,94	3,81	4,02
	I5	853	1,59	4,52	7,53
	I6	988	1,85	5,85	4,18
	Média	946	1,77	5,50	6,04
	DP	69	0,13	1,18	1,63
	CV (%)	7,3	7,3	21,4	26,9
(70% <i>Eucalyptus grandis</i> - 30% Casca de aveia)	J1	904	1,69	5,46	6,67
	J2	798	1,49	6,00	8,50
	J3	1019	1,91	3,17	3,54
	J4	870	1,63	5,86	7,99
	J5	883	1,65	5,95	8,96
	J6	1003	1,87	3,70	4,21
	Média	913	1,71	5,02	6,64
	DP	84	0,16	1,26	2,29
	CV (%)	9,2	9,2	25,0	34,5

Tabela 29 - Valores das propriedades físicas dos painéis: condições experimentais 9, 10, 11 e 12 (Tabela 2).

Composição entre fatores	CP	D (kg/m³)	RC	IE - 2h (%)	AA - 2h (%)
(70% <i>Eucalyptus grandis</i> - 30% Casca de aveia) 14% adesivo	S1	956	1,79	3,53	3,81
	S2	931	1,74	3,77	4,50
	S3	832	1,56	3,11	4,97
	S4	1041	1,95	3,91	4,91
	S5	989	1,85	3,88	3,92
	S6	892	1,67	5,18	5,26
	Média	940	1,76	3,90	4,56
	DP	73	0,14	0,70	0,59
	CV (%)	7,8	7,8	17,9	13,0
100% Casca de aveia 10% adesivo	M1	982	3,39	2,38	5,87
	M2	1052	3,63	3,10	9,29
	M3	1014	3,50	4,57	6,85
	M4	972	3,35	5,02	6,91
	M5	1051	3,62	5,20	5,12
	M6	1025	3,54	5,08	6,55
	Média	1016	3,50	4,22	6,77
	DP	34	0,12	1,19	1,41
	CV (%)	3,3	3,3	28,2	20,8
100% Casca de aveia 12% adesivo	N1	890	3,07	5,55	9,11
	N2	986	3,40	4,58	7,40
	N3	929	3,20	3,89	7,25
	N4	950	3,28	5,22	7,44
	N5	999	3,45	4,26	6,91
	N6	1056	3,64	4,40	5,13
	Média	968	3,34	4,65	7,20
	DP	58	0,20	0,62	1,27
	CV (%)	6,0	6,0	13,4	17,7
100% Casca de aveia 14% adesivo	T1	987	3,40	2,49	4,96
	T2	929	3,20	1,52	3,77
	T3	1042	3,59	2,79	6,77
	T4	1018	3,51	1,96	4,15
	T5	1068	3,68	4,72	5,30
	T6	1005	3,47	3,35	5,88
	Média	1008	3,48	2,81	5,14
	DP	48	0,17	1,14	1,11
	CV (%)	4,8	4,8	40,5	21,5

Tabela 30 - Valores das propriedades físicas dos painéis, após o envelhecimento: condições experimentais 1, 2, 3 e 4 (Tabela 2).

Composição entre fatores	CP	D (kg/m ³)	RC	IE - 2h (%)	AA - 2h (%)
100% <i>Eucalyptus grandis</i> 10% adesivo	A1	804	1,26	10,61	14,29
	A2	785	1,23	5,16	14,80
	A3	767	1,20	7,19	14,98
	A4	876	1,37	6,94	10,27
	A5	781	1,22	6,63	11,22
	A6	801	1,25	8,19	11,11
	Média	802	1,25	7,45	12,78
	DP	39	0,06	1,83	2,13
	CV (%)	4,8	4,8	24,6	16,7
100% <i>Eucalyptus grandis</i> 12% adesivo	B1	716	1,12	5,30	9,64
	B2	880	1,38	6,20	9,94
	B3	747	1,17	7,08	11,11
	B4	863	1,35	11,43	26,88
	B5	861	1,34	4,73	10,09
	B6	822	1,28	8,03	20,04
	Média	815	1,27	7,13	14,62
	DP	68	0,11	2,42	7,20
	CV (%)	8,4	8,4	34,0	49,3
100% <i>Eucalyptus grandis</i> 14% adesivo	Q1	865	1,35	5,42	8,46
	Q2	775	1,21	10,30	16,60
	Q3	897	1,40	8,70	9,62
	Q4	855	1,34	8,61	10,85
	Q5	779	1,22	8,42	15,40
	Q6	876	1,37	8,95	13,09
	Média	841	1,31	8,40	12,34
	DP	52	0,08	1,61	3,25
	CV (%)	6,2	6,2	19,1	26,3
(85% <i>Eucalyptus grandis</i> - 15% Casca de aveia) 10% adesivo	E1	737	1,26	9,18	37,48
	E2	686	1,17	6,94	18,04
	E3	799	1,36	8,98	17,43
	E4	815	1,39	9,84	19,30
	E5	751	1,28	8,06	15,61
	E6	758	1,29	7,90	17,72
	Média	758	1,29	8,48	20,93
	DP	46	0,08	1,05	8,19
	CV (%)	6,1	6,1	12,3	39,1

Tabela 31 - Valores das propriedades físicas dos painéis, após o envelhecimento: condições experimentais 5, 6, 7 e 8 (Tabela 2).

Composição entre fatores	CP	D (kg/m ³)	RC	IE - 2h (%)	AA - 2h (%)
(85% <i>Eucalyptus grandis</i> - 15% Casca de aveia)	F1	848	1,44	9,06	21,46
	F2	814	1,39	5,67	16,02
	F3	784	1,33	9,22	16,52
	F4	753	1,28	8,54	23,17
	F5	788	1,34	8,81	16,22
	F6	849	1,44	7,86	21,21
	Média	806	1,37	8,19	19,10
	DP	38	0,06	1,33	3,19
	CV (%)	4,7	4,7	16,2	16,7
(85% <i>Eucalyptus grandis</i> - 15% Casca de aveia)	R1	770	1,31	11,02	25,49
	R2	865	1,47	9,61	22,16
	R3	750	1,28	7,84	12,06
	R4	903	1,54	8,73	22,71
	R5	962	1,64	12,50	41,43
	R6	876	1,49	12,42	26,12
	Média	854	1,45	10,35	24,99
	DP	81	0,14	1,94	9,51
	CV (%)	9,5	9,5	18,7	38,1
(70% <i>Eucalyptus grandis</i> - 30% Casca de aveia)	I1	751	1,40	11,73	18,21
	I2	695	1,30	10,50	35,71
	I3	746	1,39	13,28	57,89
	I4	839	1,57	10,15	24,57
	I5	760	1,42	12,85	39,68
	I6	766	1,43	9,81	23,13
	Média	759	1,42	11,39	33,20
	DP	47	0,09	1,46	14,55
	CV (%)	6,1	6,1	12,8	43,8
(70% <i>Eucalyptus grandis</i> - 30% Casca de aveia)	J1	849	1,59	13,97	42,66
	J2	815	1,52	11,63	37,91
	J3	784	1,47	14,59	33,40
	J4	860	1,61	12,86	36,05
	J5	782	1,46	11,66	36,93
	J6	742	1,39	10,79	27,55
	Média	805	1,51	12,58	35,75
	DP	45	0,08	1,48	5,03
	CV (%)	5,5	5,5	11,8	14,1

Tabela 32 - Valores das propriedades físicas dos painéis, após o envelhecimento: condições experimentais 9, 10, 11 e 12 (Tabela 2).

Composição entre fatores	CP	D (kg/m ³)	RC	IE - 2h (%)	AA - 2h (%)
(70% <i>Eucalyptus grandis</i> - 30% Casca de aveia) 14% adesivo	S1	895	1,67	12,21	23,51
	S2	873	1,63	11,25	19,15
	S3	756	1,41	11,94	25,39
	S4	899	1,68	12,24	16,64
	S5	886	1,66	12,15	30,83
	S6	860	1,61	12,04	14,29
	Média	862	1,61	11,97	21,63
	DP	54	0,10	0,37	6,12
	CV (%)	6,3	6,3	3,1	28,3
100% Casca de aveia 10% adesivo	M1	816	2,82	15,77	58,24
	M2	834	2,88	16,30	55,43
	M3	735	2,54	12,20	50,10
	M4	713	2,46	14,59	55,04
	M5	769	2,65	13,19	45,86
	M6	865	2,98	24,02	70,95
	Média	789	2,72	16,01	55,94
	DP	59	0,20	4,21	8,57
	CV (%)	7,5	7,5	26,3	15,3
100% Casca de aveia 12% adesivo	N1	745	2,57	14,74	40,80
	N2	821	2,83	15,96	52,12
	N3	839	2,89	16,57	53,32
	N4	838	2,89	13,95	58,91
	N5	837	2,89	13,73	65,02
	N6	870	3,00	15,83	58,33
	Média	825	2,84	15,13	54,75
	DP	42	0,14	1,16	8,24
	CV (%)	5,1	5,1	7,7	15,0
100% Casca de aveia 14% adesivo	T1	869	3,00	15,60	22,05
	T2	850	2,93	15,11	51,15
	T3	870	3,00	13,39	36,45
	T4	1065	3,67	15,25	28,70
	T5	927	3,19	17,73	39,62
	T6	984	3,39	15,71	23,05
	Média	927	3,20	15,46	33,50
	DP	83	0,29	1,39	11,15
	CV (%)	9,0	9,0	9,0	33,3

Tabela 33 - Valores das propriedades mecânicas dos painéis: condições experimentais 1, 2, 3 e 4 (Tabela 2).

Composição entre fatores	CP	MOE (MPa)	MOR (MPa)	AI (MPa)	AP_s (N)	AP_T (N)
100% <i>Eucalyptus grandis</i> 10% adesivo	A1	2121	17,0	1,52	900	1000
	A2	2865	23,4	1,68	1100	950
	A3	1959	13,9	1,11	1400	600
	A4	2281	16,6	2,37	450	1400
	A5	2275	16,6	1,59	500	1050
	A6	2593	21,5	2,74	1000	1000
	Média	2349	18,2	1,84	892	1000
	DP	328	3,5	0,60	364	255
	CV (%)	14,0	19,5	32,7	40,8	25,5
100% <i>Eucalyptus grandis</i> 12% adesivo	B1	2502	19,9	1,85	1800	1400
	B2	3082	22,2	3,48	700	1500
	B3	2140	16,0	1,91	650	2500
	B4	2356	15,2	3,00	850	800
	B5	2666	19,6	2,55	1000	1600
	B6	2738	19,6	2,55	1600	1550
	Média	2581	18,8	2,56	1100	1558
	DP	327	2,7	0,63	485	546
	CV (%)	12,7	14,2	24,5	44,1	35,1
100% <i>Eucalyptus grandis</i> 14% adesivo	Q1	2690	24,4	2,36	1100	2100
	Q2	2892	23,6	2,78	750	2000
	Q3	2765	19,5	2,79	1150	2400
	Q4	3262	24,7	2,67	1400	2300
	Q5	2842	22,4	2,54	1450	3200
	Q6	3441	29,7	1,88	1350	2100
	Média	2982	24,1	2,50	1200	2350
	DP	299	3,4	0,35	261	442
	CV (%)	10,0	14,0	13,8	21,7	18,8
(85% <i>Eucalyptus grandis</i> - 15% Casca de aveia) 10% adesivo	E1	1783	15,6	0,80	850	600
	E2	2724	22,0	2,41	1150	600
	E3	2743	19,0	1,67	400	1000
	E4	1907	12,6	1,64	800	1400
	E5	2502	17,7	2,08	900	950
	E6	2534	19,5	1,31	1350	1200
	Média	2366	17,8	1,65	908	958
	DP	417	3,3	0,57	325	320
	CV (%)	18	18,6	34,3	35,7	33,4

Tabela 34 - Valores das propriedades mecânicas dos painéis: condições experimentais 5, 6, 7 e 8 (Tabela 2).

Composição entre fatores	CP	MOE (MPa)	MOR (MPa)	AI (MPa)	AP_s (N)	AP_T (N)
(85% <i>Eucalyptus grandis</i> - 15% Casca de aveia)	F1	2372	18,3	1,99	700	1350
	F2	2382	16,6	2,07	1100	950
	F3	2352	18,9	1,08	1200	1200
	F4	1993	16,2	0,72	1200	650
	F5	2678	19,9	1,95	500	1500
	F6	2410	19,1	1,51	800	800
	Média	2364	18,2	1,55	917	1075
	DP	219	1,5	0,63	293	330
	CV (%)	9,3	8,0	40,4	31,9	30,7
(85% <i>Eucalyptus grandis</i> - 15% Casca de aveia)	R1	2759	24,0	1,81	650	1850
	R2	2777	18,1	1,41	1250	2000
	R3	2807	25,6	1,02	1100	1400
	R4	2772	22,4	2,55	1550	2000
	R5	2785	23,9	1,69	1250	2050
	R6	3593	30,3	2,51	700	2500
	Média	2916	24,1	1,83	1083	1967
	DP	332	4,0	0,60	349	354
	CV (%)	11,4	16,5	32,9	32,2	18,0
(70% <i>Eucalyptus grandis</i> - 30% Casca de aveia)	I1	2348	19,7	1,47	400	500
	I2	2644	25,4	1,49	450	750
	I3	2309	19,5	1,28	750	800
	I4	2425	18,4	2,40	950	1150
	I5	2368	19,7	1,71	450	1100
	I6	1957	16,8	2,13	900	1400
	Média	2342	19,9	1,74	650	950
	DP	223	2,9	0,43	247	326
	CV (%)	9,5	14,6	24,8	38,0	34,3
(70% <i>Eucalyptus grandis</i> - 30% Casca de aveia)	J1	2523	25,1	2,78	1100	700
	J2	1964	12,5	2,38	600	1100
	J3	2413	22,4	1,90	1150	400
	J4	2477	23,3	2,70	800	1100
	J5	2483	20,4	2,70	400	1400
	J6	2474	19,6	1,79	950	1000
	Média	2389	20,5	2,37	833	950
	DP	211	4,4	0,43	293	351
	CV (%)	8,8	21,5	18,3	35,1	36,9

Tabela 35 - Valores das propriedades mecânicas dos painéis: condições experimentais 9, 10, 11 e 12 (Tabela 2).

Composição entre fatores	CP	MOE (MPa)	MOR (MPa)	AI (MPa)	AP _s (N)	AP _T (N)
(70% <i>Eucalyptus grandis</i> - 30% Casca de aveia)	S1	2483	21,0	1,26	800	950
	S2	1906	17,0	1,97	1200	2000
	S3	2283	17,6	0,79	800	1600
	S4	3188	28,0	3,22	900	1800
	S5	2780	25,2	2,91	950	1600
	S6	2719	20,0	2,20	1350	2600
	Média	2560	21,5	2,06	1000	1758
	DP	442	4,3	0,93	226	543
	CV (%)	17,3	20,2	45,3	22,6	30,9
100% Casca de aveia	M1	1744	23,4	1,51	450	1400
	M2	2213	29,2	1,94	500	1000
	M3	2140	23,3	1,70	500	1000
	M4	1727	20,5	1,43	300	500
	M5	2174	30,2	1,66	400	1000
	M6	1654	20,6	1,33	550	1000
	Média	1942	24,5	1,60	450	983
	DP	259	4,2	0,22	89	286
	CV (%)	13,3	17,1	13,7	19,9	29,1
100% Casca de aveia	N1	2087	26,1	2,12	600	1100
	N2	2084	25,0	1,80	1000	1500
	N3	1960	24,7	2,38	600	1200
	N4	1859	23,5	1,80	550	1150
	N5	2039	18,8	1,76	800	1000
	N6	2442	31,2	2,11	600	1400
	Média	2079	24,9	1,99	692	1225
	DP	198	4,0	0,25	174	189
	CV (%)	9,5	16,1	12,6	25,2	15,4
100% Casca de aveia	T1	2111	25,9	1,89	700	1700
	T2	2272	30,6	1,60	1150	1700
	T3	2065	24,0	1,66	700	1100
	T4	2246	27,4	1,62	550	700
	T5	2107	23,7	0,87	650	1600
	T6	2226	30,2	1,50	700	800
	Média	2171	27,0	1,52	742	1267
	DP	87	3,0	0,60	208	459
	CV (%)	4,0	11,0	39,6	28,1	36,2

Tabela 36 - Valores das propriedades mecânicas dos painéis, após o envelhecimento: condições experimentais 1, 2, 3 e 4 (Tabela 2).

Composição entre fatores	CP	MOE (MPa)	MOR (MPa)	AI (MPa)	AP _s (N)	AP _T (N)
100% <i>Eucalyptus grandis</i> 10% adesivo	A1	808	8,9	0,67	250	200
	A2	1313	11,6	0,79	400	400
	A3	1178	8,3	0,78	650	450
	A4	1107	7,2	1,04	400	1250
	A5	1257	9,5	0,40	450	200
	A6	1583	14,0	0,71	350	200
	Média	1208	9,9	0,73	417	450
	DP	255	2,5	0,21	133	407
	CV (%)	21,1	24,9	28,3	31,9	90,5
100% <i>Eucalyptus grandis</i> 12% adesivo	B1	1105	11,1	0,40	800	300
	B2	1627	13,8	0,76	400	400
	B3	1336	9,7	0,60	950	250
	B4	1668	12,8	0,92	400	200
	B5	1426	8,2	0,89	800	350
	B6	1466	11,2	1,19	150	550
	Média	1438	11,1	0,79	583	342
	DP	205	2,0	0,27	311	124
	CV (%)	14,3	18,2	34,5	53,3	36,3
100% <i>Eucalyptus grandis</i> 14% adesivo	Q1	1892	23,8	1,31	650	400
	Q2	2550	22,8	1,47	1100	1200
	Q3	2570	21,0	3,40	1700	1000
	Q4	2870	24,9	2,91	1200	1000
	Q5	1854	17,8	3,09	1750	1200
	Q6	2537	23,4	2,99	1050	1000
	Média	2379	22,3	2,53	1242	967
	DP	411	2,5	0,90	419	294
	CV (%)	17,3	11,4	35,5	33,7	30,5
(85% <i>Eucalyptus grandis</i> - 15% Casca de aveia) 10% adesivo	E1	1082	9,6	0,36	450	300
	E2	1219	9,6	0,24	400	150
	E3	1099	11,1	0,44	350	400
	E4	954	6,3	0,46	350	200
	E5	1172	9,4	0,39	250	200
	E6	1070	9,0	0,46	250	100
	Média	1099	9,2	0,39	342	225
	DP	91	1,6	0,08	80	108
	CV (%)	8,3	17,2	21,3	23,4	48,2

Tabela 37 - Valores das propriedades mecânicas dos painéis, após o envelhecimento: condições experimentais 5, 6, 7 e 8 (Tabela 2).

Composição entre fatores	CP	MOE (MPa)	MOR (MPa)	AI (MPa)	AP_s (N)	AP_T (N)
(85% <i>Eucalyptus grandis</i> - 15% Casca de aveia) 12% adesivo	F1	1125	10,3	0,63	600	500
	F2	1314	9,0	0,63	250	300
	F3	1375	11,1	0,59	600	650
	F4	1057	8,2	0,42	450	150
	F5	818	9,5	0,42	500	300
	F6	1327	10,6	0,52	150	450
	Média	1169	9,8	0,53	425	392
	DP	213	1,1	0,27	186	177
	CV (%)	18,2	10,9	51,2	43,9	45,3
(85% <i>Eucalyptus grandis</i> - 15% Casca de aveia) 14% adesivo	R1	1851	18,1	0,75	750	300
	R2	2299	23,2	1,20	1100	850
	R3	2120	22,1	0,66	1400	400
	R4	1707	15,6	1,60	100	1400
	R5	1848	15,0	1,11	100	600
	R6	2052	20,8	1,13	550	1050
	Média	1980	19,1	1,07	667	767
	DP	217	3,4	0,34	527	417
	CV (%)	11,0	17,9	31,3	79,0	54,4
(70% <i>Eucalyptus grandis</i> - 30% Casca de aveia) 10% adesivo	I1	945	8,6	0,22	350	450
	I2	756	6,4	0,18	100	50
	I3	638	5,4	0,18	100	200
	I4	857	6,6	0,42	100	200
	I5	784	6,0	0,14	100	200
	I6	549	4,1	0,16	100	350
	Média	755	6,2	0,21	142	242
	DP	144	1,5	0,10	102	139
	CV (%)	19,0	24,3	47,5	72,0	57,7
(70% <i>Eucalyptus grandis</i> - 30% Casca de aveia) 12% adesivo	J1	830	6,7	0,56	100	300
	J2	757	6,7	0,34	150	600
	J3	1080	11,5	0,24	200	400
	J4	854	7,3	0,40	200	350
	J5	879	6,4	0,26	200	350
	J6	1085	8,0	0,22	200	150
	Média	914	7,8	0,33	175	358
	DP	137	1,9	0,13	42	146
	CV (%)	14,9	24,4	38,4	23,9	40,8

Tabela 38 - Valores das propriedades mecânicas dos painéis, após o envelhecimento: condições experimentais 9, 10, 11 e 12 (Tabela 2).

Composição entre fatores	CP	MOE (MPa)	MOR (MPa)	AI (MPa)	AP _s (N)	AP _T (N)
(70% <i>Eucalyptus grandis</i> - 30% Casca de aveia)	S1	1559	12,9	0,70	850	1250
	S2	1074	10,5	0,87	100	1350
	S3	1208	12,1	0,36	650	350
	S4	1411	14,2	0,58	100	1200
	S5	1565	17,5	1,03	400	350
	S6	1245	11,7	0,83	1200	200
	Média	1343	13,2	0,73	550	783
	DP	201	2,5	0,24	436	534
	CV (%)	14,9	18,7	32,7	79,3	68,2
100% Casca de aveia	M1	579	5,8	0,10	100	200
	M2	473	4,5	0,24	100	300
	M3	613	7,9	0,16	100	100
	M4	329	3,8	0,12	100	100
	M5	599	6,7	0,08	100	100
	M6	534	6,0	0,04	100	400
	Média	521	5,8	0,12	100	200
	DP	107	1,5	0,07	0	126
	CV (%)	20,6	25,5	56,3	0,0	63,2
100% Casca de aveia	N1	686	8,2	0,20	300	100
	N2	678	10,8	0,16	150	100
	N3	609	6,1	0,16	150	100
	N4	576	6,3	0,18	150	350
	N5	857	13,6	0,20	150	100
	N6	852	11,8	0,59	100	150
	Média	710	9,5	0,25	167	150
	DP	120	3,1	0,17	68	100
	CV (%)	16,9	32,3	68,3	41,0	66,7
100% Casca de aveia	T1	1081	13,3	0,40	250	900
	T2	1369	21,6	0,48	400	300
	T3	962	9,9	0,40	500	100
	T4	1290	20,1	1,17	250	100
	T5	1135	17,7	0,72	150	150
	T6	1272	12,8	0,93	200	1050
	Média	1185	15,9	0,68	292	433
	DP	152	4,6	0,34	132	429
	CV (%)	12,8	28,9	49,3	45,2	98,9

APÊNDICE B – Valores obtidos na análise granulométrica das partículas

Tabela 39 - Valores das análises granulométricas das partículas de *Eucalyptus grandis*.

<i>Eucalyptus grandis</i> - amostra 1 de 3				
Peneira (mesh)	Massa total (g)	Tara da peneira (g)	Massa retida (g)	Massa retida (%)
7	468,7	468,2	0,5	0,3
10	442,2	429,7	12,5	6,3
16	515,6	449,7	65,9	33,0
30	502,8	430,3	72,5	36,3
40	432,6	414,8	17,8	8,9
50	474,0	462,8	11,2	5,6
Finos < 50	450,2	430,6	19,6	9,8
Total:			200,0	100,0
<i>Eucalyptus grandis</i> - amostra 2 de 3				
7	468,7	468,2	0,5	0,3
10	443,4	429,7	13,7	6,9
16	517,4	449,7	67,7	33,9
30	502,9	430,3	72,6	36,3
40	432,1	414,8	17,3	8,7
50	473,5	462,8	10,7	5,4
Finos < 50	448,1	430,6	17,5	8,8
Total:			200,0	100,0
<i>Eucalyptus grandis</i> - amostra 3 de 3				
7	468,9	468,2	0,7	0,3
10	442,8	429,8	13	6,5
16	516,3	449,7	66,6	33,3
30	504,2	430,3	73,9	37,0
40	432,6	414,8	17,8	8,9
50	473,9	462,8	11,1	5,5
Finos < 50	447,5	430,6	16,9	8,4
Total:			200,0	100,0
<i>Eucalyptus grandis</i> – média (Tabela 5)				
7	-	-	0,6	0,3
10	-	-	13,1	6,5
16	-	-	66,7	33,4
30	-	-	73,0	36,5
40	-	-	17,6	8,8
50	-	-	11,0	5,5
Finos < 50	-	-	18,0	9,0
Total:			200,0	100,0

Tabela 40 - Valores das análises granulométricas das partículas de casca de aveia.

Casca de aveia - amostra 1 de 3				
Peneira (mesh)	Massa total (g)	Tara da peneira (g)	Massa retida (g)	Massa retida (%)
7	468,9	468,1	0,8	0,4
10	441,9	429,8	12,1	6,0
16	518,1	449,9	68,2	34,1
30	512,4	430,4	82	41,0
40	432,6	414,8	17,8	8,9
50	470,6	462,9	7,7	3,9
Finos < 50	441,8	430,4	11,4	5,7
Total:			200,0	100,0
Casca de aveia - amostra 2 de 3				
7	468,9	468,1	0,8	0,4
10	447,2	429,8	17,4	8,7
16	524,2	449,7	74,5	37,3
30	505,1	430,3	74,8	37,4
40	430,4	414,7	15,7	7,8
50	469,3	462,8	6,5	3,3
Finos < 50	440,6	430,3	10,3	5,2
Total:			200,0	100,0
Casca de aveia - amostra 3 de 3				
7	468,9	468,1	0,8	0,4
10	440,6	429,8	10,8	5,4
16	516,6	449,7	66,9	33,5
30	515,6	430,2	85,4	42,7
40	431,6	414,8	16,8	8,4
50	470,9	462,8	8,1	4,0
Finos < 50	441,5	430,3	11,2	5,6
Total:			200,0	100,0
Casca de aveia – média (Tabela 6)				
7	-	-	0,8	0,4
10	-	-	13,4	6,7
16	-	-	69,9	34,9
30	-	-	80,7	40,4
40	-	-	16,8	8,4
50	-	-	7,4	3,7
Finos < 50	-	-	11,0	5,5
Total:			200,0	100,0