



**PAINÉIS AGLOMERADOS DE BAGAÇO DE  
CANA DE AÇÚCAR: CARACTERIZAÇÃO  
VISANDO AO USO NA INDÚSTRIA MOVELEIRA**

**LAVRAS-MG  
2013**

**STEFÂNIA LIMA OLIVEIRA**

**PAINÉIS AGLOMERADOS DE BAGAÇO DE CANA DE AÇÚCAR:  
CARACTERIZAÇÃO VISANDO AO USO NA INDÚSTRIA MOVELEIRA**

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

Orientador

Dr. Lourival Marin Mendes

**LAVRAS - MG  
2013**

**Ficha Catalográfica Elaborada pela Divisão de Processos Técnicos da  
Biblioteca da UFLA**

Oliveira, Stefânia Lima.

Painéis aglomerados de bagaço de cana de açúcar: Caracterização visando ao uso na indústria moveleira / Stefânia Lima Oliveira. – Lavras : UFLA, 2013.

141 p. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2013.

Orientador: Lourival Marin Mendes.

Bibliografia.

1. Resíduo lignocelulósico. 2. Qualidade. 3. Mobiliário. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 674.836

**STEFÂNIA LIMA OLIVEIRA**

**PAINÉIS AGLOMERADOS DE BAGAÇO DE CANA DE AÇÚCAR:  
CARACTERIZAÇÃO VISANDO AO USO NA INDÚSTRIA MOVELEIRA**

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

APROVADA em 25 de fevereiro de 2013.

Dr. Lourival Marin Mendes - Universidade Federal de Lavras

Dra. Luciana Barbosa de Abreu - Universidade Federal de Lavras

Dr. Juliano Fiorelli - Universidade de São Paulo

Dr. Lourival Marin Mendes

Orientador

**LAVRAS – MG  
2013**

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por proteger e guiar os meus passos.

Aos meus queridos e amados pais, Cássia e Robson, pelo apoio, incentivo e amor de sempre.

Ao meu irmão Sávio, pelo carinho e amizade.

A minha mãe-avó Elza, pelo amor incondicional e proteção.

A minha prima-irmã Allê e minha tia-amiga Carla, pela amizade e companheirismo.

Ao professor e orientador Dr. Lourival Marin Mendes, pelos ensinamentos, orientação, compreensão e amizade.

Aos professores do comitê de orientação, Dr. Gustavo Henrique DenzinTonoli, Dr. Fábio Akira Mori e Dr. Juliano Fiorelli pelos ensinamentos e conselhos para a realização deste trabalho.

Ao professor Dr. Antônio Nazareno Guimarães Mendes, pela ajuda e incentivo.

Ao Laboratório da Embrapa Instrumentação São Carlos e à empresa Duratex Botucatu, pelo apoio durante a realização dos ensaios.

Aos meus amigos da UEPAM, pela ajuda e companheirismo.

Ao meu amigo Rafael, pelos ensinamentos, amizade, incentivo, paciência e confiança nos trabalhos realizados.

Ao meu amigo Wilson Melão, pela ajuda, esforço e amizade.

Aos meus amigos do programa em Ciência e Tecnologia da Madeira, em especial, Amélia Guimarães Carvalho, Marcela Gomes da Silva e Vinnicius Dordenoni Pizzol, pela convivência e amizade.

À Universidade Federal de Lavras, pela oportunidade concedida.

Aos professores do programa em Ciência e Tecnologia da Madeira, pelos ensinamentos transmitidos.

Ao CNPq, pela concessão da bolsa de estudos.

A todos que contribuíram para a realização deste trabalho com bons conselhos e incentivo.

## RESUMO

O setor moveleiro no Brasil apresentou crescimento e desenvolvimento significativo nos últimos anos, entretanto o uso de madeira maciça está cada vez mais raro, fazendo com que os painéis de madeira sejam a principal matéria-prima para a produção de móveis. No entanto, mesmo no caso dos painéis, a concorrência por matéria-prima está ficando cada vez mais difícil, o que leva à procura de novos materiais, sendo a utilização de resíduos lignocelulósicos a alternativa que vem ganhando mais destaque, principalmente o bagaço de cana, que é produzido em grande quantidade no Brasil. O objetivo deste trabalho consistiu em avaliar as propriedades físicas, mecânicas, químicas, microestruturais, de durabilidade e caracterização de superfície de painéis comerciais produzidos com bagaço de cana de açúcar, a fim de verificar a possibilidade de inserção desses painéis no processo produtivo de mobiliários. Foram obtidos painéis *MDP* (*Medium Density Particleboard*) comerciais de bagaço de cana oriundos da China e painéis *MDP* de pinus e eucalipto de empresas brasileiras, que serviram como padrão de comparação. De forma geral, observa-se que os painéis de bagaço apresentaram características físicas, mecânicas, química, microestruturais, de durabilidade e de caracterização de superfície próximas às obtidas pelos painéis de pinus e eucalipto, comumente utilizados na produção de móveis, o que nos permite concluir que os painéis de bagaço de cana apresentam grande potencial de utilização na indústria moveleira.

Palavras-chave: Painéis. Resíduo lignocelulósico. Caracterização. Bagaço de cana de açúcar. Indústria moveleira.

## ABSTRACT

The furniture sector in Brazil has experienced significant growth and development in recent years, however, the use of solid wood is increasingly rare, causing the wood panels are the main raw material for furniture production. However, even in the panels case, competition for raw materials is becoming increasingly difficult, leading to the search for new materials, and the use of lignocellulosic residues alternative that is gaining more featured, especially sugarcane bagasse which is produced in large quantities in Brazil. The objective of this study was to assess the properties: physical, mechanical, chemical, microstructural, durability and surface characterization of commercial panels produced with sugar cane bagasse, in order to verify the possibility of inserting these panels in the furniture production process. Panels MDP (Medium Density Particleboard) thought commercial sugarcane bagasse was obtained from China and MDP from pinus and eucalyptus from Brazilian companies, which served as a comparison standard. Generally, it is observed that the bagasse panels showed physical, mechanical, chemical, microstructural characteristics of durability and surface characterization close to those obtained by pinus and eucalyptus panels, commonly used in the furniture production, which allows concluding that the sugarcane bagasse panels show great potential use in the furniture industry.

Keywords: Panels. Lignocellulosic residue. Characterization.  
Sugar cane bagasse. Furniture industry.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Perfil de produção da indústria moveleira.....	22
Figura 2	Faturamento do Brasil em bilhões (R\$) .....	23
Figura 3	Concentração de empresas de móveis no Brasil no ano de 2011 .....	24
Figura 4	Cadeia Produtiva da Madeira .....	28
Figura 5	Esquema de retirada dos corpos de prova AA (absorção de água, inchamento em espessura e taxa de não retorno em espessura), DJ (dureza <i>janka</i> ), AS (arrancamento de parafuso de superfície), AT (arrancamento de parafuso de topo), C (compressão), FL (flexão), ENV (envelhecimento natural), FA (fadiga). Os menores desenhos dos corpos de prova são referentes aos ensaios de umidade, densidade aparente, ligação interna, perfil de densidade, MEV e emissão de formaldeído.....	49
Figura 6	Ensaio de deflexão de planos horizontais.....	52
Figura 7	Determinação do MOE dinâmico pelo <i>Stress Wave timer</i> no comprimento e na largura.....	53
Figura 8	Equipamento – Microscópio eletrônico de varredura .....	56
Figura 9	Equipamento para medir ângulo de contato .....	58
Figura 10	Durabilidade – Envelhecimento natural .....	59
Figura 11	Ensaio de combustibilidade.....	60
Figura 12	Imagens (100 $\mu$ m) de MEV de superfície dos painéis A: Pinus; B: Eucalipto; C: Bagaço .....	62
Figura 13	Imagens (100 $\mu$ m) de MEV do miolo dos painéis A: Pinus; B: Eucalipto; C: Bagaço.....	63
Figura 14	Imagens (20 $\mu$ m) de MEV do miolo dos painéis A: Pinus; B: Eucalipto; C: Bagaço.....	64

Figura 15	Valores médios para teor de sílica.....	64
Figura 16	Imagens de MEV dos painéis de pinus. ....	65
Figura 17	Imagens de MEV dos painéis de eucalipto. ....	65
Figura 18	Imagens de MEV dos painéis de bagaço.....	66
Figura 19	Valores médios de densidade aparente.....	67
Figura 20	Valores médios de umidade .....	68
Figura 21	Valores médios de absorção de água após duas e vinte e quatro horas .....	70
Figura 22	Valores médios de inchamento em espessura após duas e vinte e quatro horas e taxa de não retorno em espessura.....	72
Figura 23	Valores médios de ligação interna .....	74
Figura 24	Valores médios do módulo de elasticidade (MOE) à flexão estática em MPa .....	76
Figura 25	Valores médios de módulo de ruptura (MOR) à flexão estática em MPa .....	76
Figura 26	Valores médios de módulo de elasticidade (MOR) à compressão em MPa.....	78
Figura 27	Valores médios de módulo de ruptura (MOR) à compressão em MPa .....	79
Figura 28	Valores médios de dureza <i>janka</i> em MPa .....	80
Figura 29	Valores médios de flexão dinâmica em J .....	82
Figura 30	Valores médios de arrancamento de parafuso – topo em Kgf.....	83
Figura 31	Valores médios de arrancamento de parafuso – superfície em Kgf.....	83
Figura 32	Valores de deformação em função dos dias .....	87

Figura 33	Correlação entre o MOE e o MOEd na largura dos painéis de pinus .....	89
Figura 34	Correlação entre o MOE e o MOEd no comprimento dos painéis de pinus .....	89
Figura 35	Correlação entre o MOE e o MOEd médio dos painéis de pinus .....	90
Figura 36	Correlação entre o MOE e o MOEd na largura dos painéis de eucalipto .....	90
Figura 37	Correlação entre o MOE e o MOEd no comprimento dos painéis de eucalipto. ....	91
Figura 38	Correlação entre o MOE e o MOEd médio dos painéis de eucalipto .....	91
Figura 39	Correlação entre o MOE e o MOEd na largura dos painéis de bagaço .....	92
Figura 40	Correlação entre o MOE e o MOEd no comprimento dos painéis de bagaço .....	92
Figura 41	Correlação entre o MOE e o MOEd médio dos painéis de bagaço .....	93
Figura 42	Valores médios para teor de formol .....	95
Figura 43	Valores médios de Ra ( $\mu\text{m}$ ).....	97
Figura 44	Varição do ângulo de contato em função do tempo .....	99
Figura 45	Varição do ângulo de contato em função do tempo .....	99
Figura 46	Varição do ângulo de contato em função do tempo .....	100
Figura 47	Valores médios para distância percorrida pela gota .....	102
Figura 48	Perda de massa em função do tempo (min) para o teste de combustibilidade .....	107

Figura 49	Perda de massa em função da temperatura para o teste de combustibilidade .....	108
-----------	--	-----

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1	Principais fatores competitivos .....	19
Quadro 2	Números da indústria moveleira no Brasil .....	23
Quadro 3	Polos moveleiros: características da formação industrial.....	25

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Número de corpos de prova ensaiados por painel .....	50
Tabela 2	Médias mensais dos dados climatológicos .....	59
Tabela 3	Variação do módulo de elasticidade à flexão estática após ensaio de fadiga .....	85
Tabela 4	Variação do módulo de ruptura à flexão estática após ensaio de fadiga .....	85
Tabela 5	Variação da deformação do corpo de prova antes da aplicação da carga e uma semana após a aplicação da carga .....	88
Tabela 6	Variação da rugosidade dos tratamentos antes e após o envelhecimento natural .....	98
Tabela 7	Valores médios do ângulo de contato para cada líquido e tipo de painel .....	100
Tabela 8	Variação dos valores médios de ligação interna antes e após o envelhecimento natural .....	103
Tabela 9	Variação dos valores médios de MOE à flexão estática antes e após o envelhecimento natural .....	104
Tabela 10	Variação dos valores médios de MOR à flexão estática antes e após o envelhecimento natural .....	104
Tabela 11	Variação dos valores médios de espessura antes e após o envelhecimento natural .....	105
Tabela 12	Variação dos valores médios de densidade aparente antes e após o envelhecimento natural .....	106
Tabela 13	Densidade média, máxima e mínima do perfil de densidade .....	109
Tabela 14	Correlação de <i>Pearson</i> para as densidades média, máxima e mínima nos painéis de pinus .....	109

Tabela 15	Correlação de <i>Pearson</i> para as densidades média, máxima e mínima nos painéis de eucalipto .....	110
Tabela 16	Correlação de <i>Pearson</i> para as densidades média, máxima e mínima nos painéis de bagaço.....	110
Tabela 17	Correlação entre as propriedades físicas e as densidades média, mínima e máxima dos painéis de pinus .....	111
Tabela 18	Correlação entre as propriedades mecânicas e as densidades média, mínima e máxima dos painéis de pinus .....	111
Tabela 19	Correlação entre as propriedades físicas e as densidades média, mínima e máxima dos painéis de eucalipto .....	111
Tabela 20	Correlação entre as propriedades mecânicas e as densidades média, mínima e máxima dos painéis de eucalipto .....	112
Tabela 21	Correlação entre as propriedades físicas e as densidades média, mínima e máxima dos painéis de bagaço .....	112
Tabela 22	Correlação entre as propriedades mecânicas e as densidades média, mínima e máxima dos painéis de bagaço .....	112

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	15
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	18
2.1	Panorama do setor moveleiro internacional .....	18
2.2	Panorama do setor moveleiro nacional .....	20
2.3	Materiais mais utilizados .....	27
2.3.1	Painéis MDP ( <i>Medium Density Particleboard</i> ) .....	29
2.4	Fatores que afetam as características dos painéis aglomerados... 32	
2.4.1	Influência do material lignocelulósico .....	34
2.4.1.1	Bagaço de cana de açúcar .....	35
2.4.1.2	Painéis aglomerados de bagaço de cana de açúcar.....	37
2.4.2	Densidade do painel.....	41
2.4.3	Densidade do material lignocelulósico.....	43
2.4.4	Adesivos.....	44
2.5	Caracterização de painéis de partículas .....	45
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	48
3.1	Material e obtenção dos corpos de prova.....	48
3.2	Caracterização física .....	50
3.3	Caracterização mecânica .....	50
3.3.1	Resistência à fadiga .....	51
3.3.2	Fluência .....	51
3.3.3	MOE dinâmico.....	52
3.4	Caracterização química .....	54
3.4.1	Emissão de formaldeído.....	54
3.5	Caracterização microestrutural.....	55
3.5.1	Microscopia eletrônica de varredura.....	55
3.5.2	Microscopia eletrônica de varredura para sílica .....	56

3.6	Caracterização de superfície .....	56
3.6.1	Rugosidade .....	57
3.6.2	Ângulo de contato .....	57
3.6.3	Absorção de superfície .....	58
3.7	Durabilidade .....	58
3.7.1	Envelhecimento natural .....	58
3.8	Perfil de densidade .....	59
3.9	Teste de combustibilidade.....	60
3.10	Análise estatística .....	60
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	62
4.1	Caracterização microestrutural .....	62
4.1.1	Microscopia eletrônica de varredura.....	62
4.1.2	Microscopia eletrônica de varredura para sílica .....	64
4.2	Caracterização física .....	66
4.2.1	Densidade aparente .....	66
4.2.2	Umidade dos painéis.....	68
4.2.3	Absorção de água.....	69
4.2.4	Inchamento em espessura e taxa de não retorno em espessura ...	71
4.3	Caracterização mecânica .....	74
4.3.1	Ligação interna .....	74
4.3.2	Módulo de elasticidade (MOE) e módulo de ruptura (MOR) à flexão estática .....	75
4.3.3	Módulo de elasticidade (MOE) e módulo de ruptura (MOR) à compressão paralela .....	78
4.3.4	Dureza <i>Janka</i> .....	80
4.3.5	Flexão dinâmica.....	81
4.3.6	Arrancamento de parafuso – topo e superfície.....	82
4.3.7	Fadiga .....	85

4.3.8	Fluência .....	86
4.3.9	MOE dinâmico - <i>Stress Wave Timer</i> .....	88
4.4	Caracterização química .....	94
4.4.1	Emissão de formaldeído .....	94
4.5	Caracterização de superfície .....	96
4.5.1	Rugosidade .....	96
4.5.2	Ângulo de contato .....	98
4.5.3	Absorção de superfície .....	102
4.6	Durabilidade .....	103
4.6.1	Envelhecimento natural .....	103
4.7	Teste de combustibilidade.....	107
4.8	Perfil de densidade .....	108
5	CONCLUSÕES .....	116
	REFERÊNCIAS .....	118
	ANEXOS .....	129

## 1 INTRODUÇÃO

A indústria de móveis caracteriza-se pela união de diversos processos de produção, envolvendo diferentes matérias-primas e uma diversidade de produtos finais, e pode ser segmentada principalmente em função dos materiais com que os móveis são confeccionados (madeira, metal e outros), assim como de acordo com os usos a que são destinados (em especial, móveis para residência e para escritório).

O setor moveleiro no Brasil apresentou crescimento e desenvolvimento significativo nos últimos anos. Esse setor composto por pequenas, médias e grandes empresas tem investido em tecnologia, *design* e utilização de novos materiais.

A indústria brasileira faz uso de um grande volume de matéria-prima florestal, que se tiver sua exploração e utilização adequada causará um menor impacto ao meio ambiente, por se tratar de um recurso renovável. Porém, o uso da matéria-prima florestal na indústria moveleira já não ocorre como em tempos passados, quando para se ter qualidade era utilizada madeira maciça (TEIXEIRA, 2009).

Silva (2007) menciona que a madeira maciça foi a primeira matéria-prima utilizada na fabricação de móveis e que o uso desse material está cada vez mais raro, devido à redução da disponibilidade de madeiras de grandes dimensões. Para esse mesmo autor, os painéis de madeira reconstituída vêm ocupando o lugar de principal matéria-prima do setor moveleiro, possibilitando um melhor aproveitamento das madeiras. Entre 80% e 90% do volume produzido de painéis aglomerados são destinados à produção de móveis.

Conforme observado, o setor de painéis de madeira reconstituída possui um forte mercado. O setor moveleiro, como já mencionado, vislumbra a possibilidade de investir em *design*, o que caracteriza a criação de novos

produtos aliados a novos materiais. A utilização de resíduos vem sendo uma alternativa cada vez mais viável para o desenvolvimento de novos produtos.

Caraschi, Leão e Chamma (2009) relatam que as agroindústrias brasileiras produzem muitos resíduos que podem ser utilizados como materiais lignocelulósicos. A utilização desses resíduos traria várias vantagens, entre elas a valorização econômica de materiais antes descartados e a diminuição de CO<sub>2</sub> pela queima desses resíduos.

Dentre os resíduos agrícolas, o bagaço de cana é produzido em maior quantidade no Brasil. Segundo dados da Food and Agriculture Organization of the United Nations - FAO (2013), a quantidade de cana-açúcar no Brasil é de aproximadamente 734.000.000 MT. De acordo com o Centro de Tecnologia Canaveira - CTC (2012), em um processamento de 1 tonelada de cana de açúcar rende-se aproximadamente 280kg de bagaço.

Battistelle, Marcilio e Lahr (2009), Freire et al. (2011), Mendes et al. (2010), Mendes et al. (2012b), Pedreschi (2009) e Widyorini et al. (2005) estudaram a inserção desse resíduo nos painéis aglomerados e a sua qualidade em comparação a outros painéis, concluindo que o bagaço de cana de açúcar pode ser uma fonte de matéria-prima para a produção dos painéis.

A produção de painéis aglomerados com bagaço de cana de açúcar, além de agregar valor ao resíduo, poderá atender à crescente demanda por matéria-prima da indústria de painéis de madeira, além de possibilitar sua expansão, diminuir a utilização de madeira e, conseqüentemente a pressão sobre as florestas, e ainda reduzir os custos de produção dos painéis, tornando-os ainda mais competitivos no cenário econômico (MENDES; MENDES; ALMEIDA, 2010).

Segundo Kozlowskiet al. (1999), os painéis constituídos de materiais lignocelulósicos estão entre os materiais populares mais utilizados na decoração de interiores.

Com o elevado consumo de painéis reconstituídos de madeira pelas indústrias de móveis, a utilização de painéis confeccionados com resíduos no processo produtivo dos mobiliários torna-se altamente viável.

Nesse contexto, o objetivo deste trabalho consistiu em avaliar as propriedades físicas, mecânicas, química, microestruturais, de durabilidade e caracterização de superfície de painéis comerciais produzidos com bagaço de cana de açúcar, a fim de verificar a possibilidade de inserção desses painéis no processo produtivo de mobiliários.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Panorama do setor moveleiro internacional

A indústria mundial de móveis viveu grandes transformações durante a década de 1980. Entre as principais mudanças está o uso de equipamentos automatizados, que propiciaram aumento na produtividade, a utilização de novas técnicas de gestão e o emprego de novas matérias-primas (SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO A MICRO E PEQUENA EMPRESA - SEBRAE, 2008).

Para Gorini (1998) a introdução de novos equipamentos automatizados com base na microeletrônica e de novas técnicas de gestão empresariais concorreram para o incremento da produtividade na indústria de móveis e para a flexibilização dos processos de produção, ou seja, obtenção de muitos tipos de produto de uma mesma linha de produção, os quais passaram a ser produzidos em maiores escalas, perdendo o seu caráter artesanal.

As sete maiores economias do mundo (EUA - Estados Unidos da América), Itália, Alemanha, Japão, França, Canadá e Reino Unido) produzem juntas cerca de US\$131 bilhões em móveis (SINDICATO DAS INDÚSTRIAS DO MOBILIÁRIO E ARTEFATOS DE MADEIRA NO ESTADO DE MINAS GERAIS - SIMOV, 2011). Milano (2011) estima que a produção total de móveis no mundo seja de US\$347 bilhões, o que corresponde a 1% de todo o comércio mundial.

O Brasil ocupa a 13ª posição no *ranking* dos maiores produtores mundiais de móveis, e a 30ª posição no *ranking* de exportadores (SIMOV, 2011).

Os quatro maiores exportadores de móveis do mundo continuam sendo China, Itália, Alemanha e Polônia, destacando-se o crescente distanciamento da

China em relação à Itália, ocupando assim a posição de maior exportador mundial, realizando mais de US\$30 bilhões de negócios em 2010 (SIMOV, 2011).

Observa-se no Quadro 1 os principais fatores de competitividade que o maior importador e os maiores exportadores de móveis possuem como importantes características.

Quadro 1 Principais fatores competitivos

<b>País</b>	<b>Principal fator de competitividade</b>
<b>EUA</b>	Maior mercado interno do mundo
	Parque industrial de alta tecnologia
<b>Alemanha</b>	Possui consolidada indústria de máquinas e equipamentos que auxiliam na indústria moveleira
	Elevada escala produtiva
<b>China</b>	Baixo preço do produto final
<b>Itália</b>	Elevada estrutura industrial
	Alta tecnologia para produção de máquinas e equipamentos que auxiliam a indústria moveleira
	Padrão de <i>design</i> único

Fonte: Arruda (2009)

Amaral et al.(2010) relataram que os principais fatores que destacam os países exportadores de móveis são os investimentos em inovações tecnológicas e elevada escala de produção. Além disso, a consolidação da estrutura industrial e o *design* inovador são fatores importantes para competitividade desses países.

A indústria moveleira mundial, segundo Roese e Gitahy (2004) pode ser destacada da seguinte forma:

- a) as indústrias competem entre si através do *design*, estratégias de comercialização e *marketing*;
- b) a maioria é de estabelecimentos pequenos;
- c) a matéria-prima mais utilizada é o painel de madeira reconstituída, principalmente o MDF, que vem substituindo a madeira.

Entretanto, segundo o Sindimov (2007), o MDP é mundialmente mais utilizado na fabricação de móveis residenciais e comerciais de linhas retas, como portas, laterais, prateleiras, divisórias, tampos retos ou pós-formados, laterais e frentes de gavetas retas, enfim, em partes verticais e horizontais do móvel, sem restrição de uso;

- d) para a produção de móveis, a indústria moveleira necessita de outros setores industriais (plástico, metal, vidro, química e têxtil). Com o crescimento dessa indústria, o setor vem buscando parcerias com fornecedores para o desenvolvimento de matérias-primas inovadoras para a confecção dos móveis.

## **2.2 Panorama do setor moveleiro nacional**

Os estudos que tratam do setor moveleiro no Brasil ganharam maior destaque nos últimos anos, devido a dois fatores: (a) as mudanças ocorridas no setor através do processo de abertura comercial; e (b) as características da localização das fábricas, geralmente em regiões próximas, tornando o setor importante para as economias regionais, no que tange à geração de emprego e renda (KROTH; LOPES; PARRÉ, 2006).

Conforme mencionado por Arruda (2009), até a década de 30, culturalmente o país mantinha-se ainda nas tendências ecléticas tanto na arquitetura como na produção moveleira, enquanto que na Europa já ocorriam manifestações artísticas de vanguarda.

Coutinho et al. (2001) relatam que devido ao grande fluxo imigratório no início do século XX, surgiram pequenas oficinas de artesãos italianos em São Paulo e em municípios limítrofes, como Santo André, São Caetano e São Bernardo. Os autores consideraram esse momento como o início da indústria moveleira, atrelada à primeira fase do desenvolvimento industrial brasileiro,

onde a maior parte de sua produção procurava atender ao mercado popular em formação.

Segundo Casteião (2006) a participação do imigrante de origem urbana e com conhecimentos técnicos foi um fator importante que contribuiu para o desenvolvimento da indústria brasileira e conseqüentemente do *design*.

Muitas pequenas empresas de móveis surgiram no Brasil durante a Primeira Guerra Mundial buscando suprir a demanda interna, uma vez que as importações haviam sido interrompidas. Nessa época, empresas já instaladas aproveitaram para ampliar seu mercado e ganhar mais prestígio diante dos clientes que compravam produtos importados. Isso fez com que a produção de móveis no país tivesse um avanço importante (SEBRAE, 2008).

No entanto, a evolução do mobiliário nacional veio apenas no século XX, quando sofreu sua maior transformação, principalmente após a Semana de Arte Moderna de 1922, com o *design* influenciando as artes e, inclusive, o mobiliário (SEBRAE, 2008). Apesar de a maior transformação ter sido em 1922, Coelho e Berger (2004) afirmam que as mudanças sofridas pela indústria mundial de móveis na década de 1980, possibilitaram melhor qualidade dos produtos e maior padronização dos mesmos.

Casteião (2006) relata que a produção dos móveis seguiu os padrões Art-Déco e depois as criações dos arquitetos-*designers*. Através desse contexto histórico e cultural, o mobiliário nacional em madeira vem se estabelecendo e desenvolvendo constantemente, uma vez que os consumidores são exigentes e há uma tendência de cores, formas e tamanhos a ser seguida pelas empresas em diversas épocas.

Segundo Gorini (1998), a partir dessas transformações e da inserção de novas matérias-primas, a indústria de móveis caracteriza-se pela reunião de diversos processos de produção, envolvendo diferentes matérias-primas e uma diversidade de produtos finais, e pode ser segmentada principalmente em função

dos materiais com que os móveis são confeccionados (madeira, metal e outros), assim como de acordo com os usos a que são destinados (em especial, móveis para residência e para escritório). Além disso, devido aos aspectos técnicos e mercadológicos, as empresas, em geral, são especializadas em um ou dois tipos de móveis, como, por exemplo, de cozinha e banheiro, estofados, entre outros. Na Figura 1, encontra-se o perfil de produção da indústria moveleira nacional.

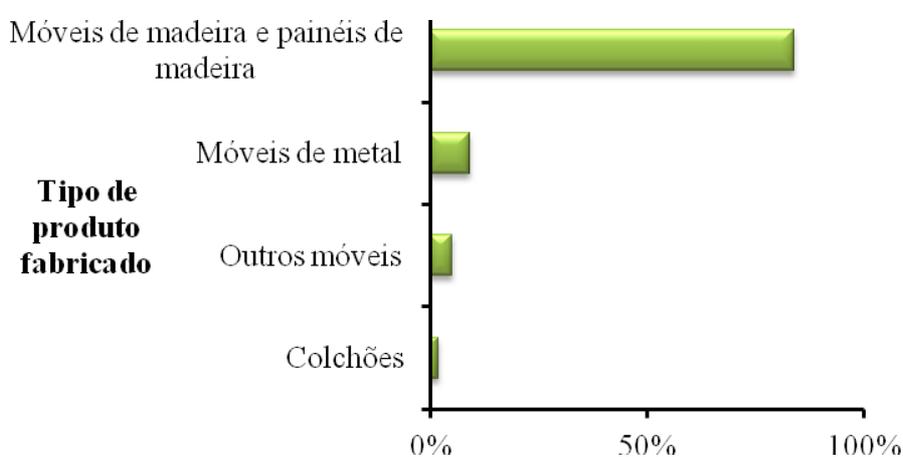


Figura 1 Perfil de produção da indústria moveleira  
Fonte: Brasil Móveis (2012) e Movergs / Iemi (2012)

Como se pode observar, os móveis de madeira apresentam a maior porcentagem de produção no país. Segundo Rosa et al. (2007), a indústria de móveis pode ser segmentada por categoria de uso: residencial, escritório e institucionais (utilizados em hospitais, escolas, lazer, restaurantes, hotéis e similares).

A maior produção de móveis de madeira pode ser explicada pelo fato de muitos consumidores mudarem para novas residências ou trocarem de mobiliário, estimulando as vendas e aumentando o número de lojas no país (SOUSA; SOARES; SILVA, 2010).

No Quadro 2 encontra-se os números da indústria moveleira no Brasil. E na Figura 2, observa-se o faturamento em bilhões de reais no decorrer dos anos de 2002 a 2011.

Quadro 2 Números da indústria moveleira no Brasil

<b>Números da indústria moveleira no Brasil</b>	
Indústrias	14,4 mil
Empregos	227,6 mil
Produção	309 milhões de peças
Vendas	R\$17 bilhões
Exportações	US\$1 bilhão
Investimentos	R\$330 milhões

Fonte: Arruda (2009)

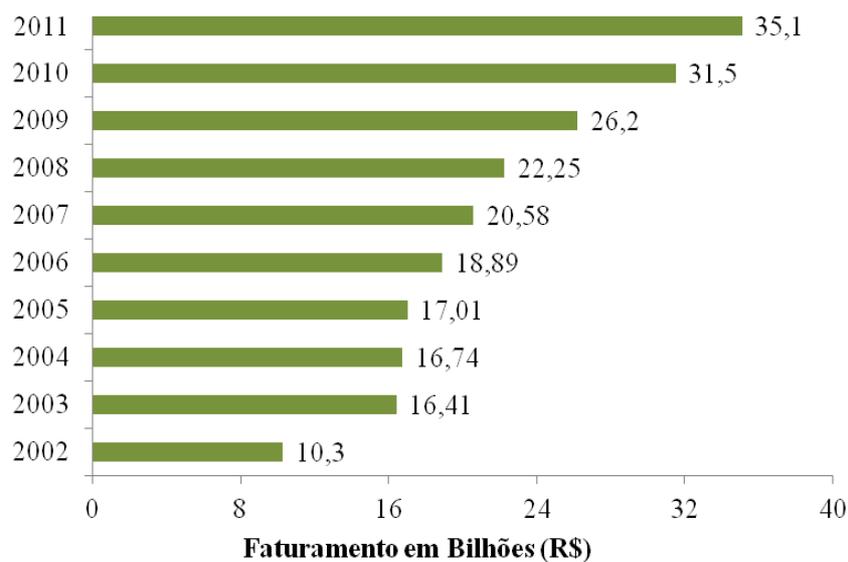


Figura 2 Faturamento do Brasil em bilhões (R\$)

Fonte: Adaptado de Brasil Móveis (2012) e Movergs / Iemi (2012)

O Brasil não apresenta destaque no cenário mundial à semelhança do que ocorre em outros setores da economia. Contudo, verificam-se duas questões cruciais para se inferir sobre seu *status* competitivo. Primeiramente, o mercado

interno não apresenta significativa dependência de produtos importados, uma vez que a demanda doméstica é atendida, em sua maioria, pela produção nacional. Outro ponto de destaque é o fato de o país estar atendendo satisfatoriamente o mercado interno, o que lhe confere acúmulo de conhecimento quanto à tecnologia e ao mercado, possibilitando em um futuro próximo, sua escalada rumo ao atendimento de mercados externos (AMARAL et al., 2010).

A maior concentração das empresas de móveis encontra-se na região centro-sul do país, distribuída em polos moveleiros como em Linhares (ES), Ubá (MG), Mirassol, Votuporanga e São Paulo (SP), Arapongas (PR), São Bento do Sul (SC) e Bento Gonçalves (RS). São Paulo concentra o maior número de empresas e a região Sul detém os maiores polos produtores/exportadores do país (BRASIL MÓVEIS, 2012). Na Figura 3 é possível observar a distribuição das empresas de móveis pelo país.

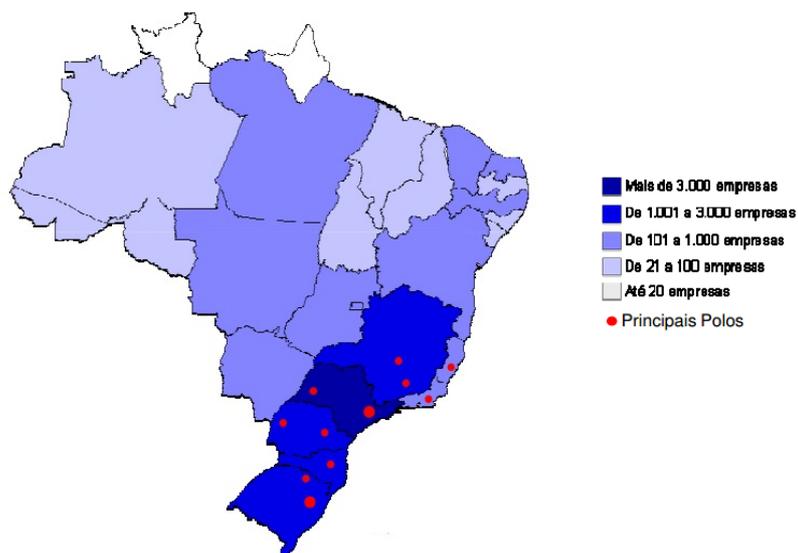


Figura 3 Concentração de empresas de móveis no Brasil no ano de 2011  
Fonte: Móveis Brasil (2012)

Casarotto Filho, Pereira e Cunha (2006) mencionam que diversas indústrias moveleiras instaladas em polos regionais geram desenvolvimento, ocasionando vantagens competitivas em economia, como exemplo a redução dos custos de transporte em matérias-primas e produtos finalizados, prontos para serem inseridos no mercado, além de propiciar o surgimento de matérias-primas e máquinas.

No Quadro 3 observa-se as características da formação industrial dos principais polos moveleiros do país.

Quadro 3 Polos moveleiros: características da formação industrial

<b>Polo Moveleiro</b>	<b>Origem</b>
Grande São Paulo (SP)	Marcenarias familiares (imigração italiana)
Bento Gonçalves (RS)	Manufatura de móveis de madeira e metal originados da fabricação de instrumentos musicais e telas metálicas
São Bento do Sul (SC)	Instalação nos anos 60/início dos 70, com apoio governamental
Ubá (MG)	Empresas atraídas pela instalação da empresa Móveis Itatiaia na década de 60
Arapongas (PR)	Iniciativa de empresários locais, com apoio governamental (em particular, do município)

Fonte: Adaptado de Santos, Pamplona e Ferreira (1998)

O polo moveleiro da grande São Paulo é considerado o maior e mais diversificado polo do país. É bastante heterogêneo, destacando-se pela produção de dois segmentos: móveis residenciais e móveis de escritório. Cerca de 80% do mercado nacional de móveis de escritório é dominado pelo Estado de São Paulo (AGUIAR, 2005).

De acordo com Movergs/Iemi (2012), Bento Gonçalves, localizado no Rio Grande do Sul, é o segundo maior produtor de móveis, representando em média 31% do valor da produção nacional, com 21% das empresas de móveis e 21% da mão de obra.

Abreu (2000) relata que os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina têm a produção concentrada em Bento Gonçalves e Flores da Cunha

(Rio Grande do Sul) e São Bento do Sul (Santa Catarina), com maior produção em móveis residenciais. Em Bento Gonçalves ocorre fabricação de móveis retilíneos seriados (de madeira aglomerada - *MDP*, chapa dura e MDF). Já em São Bento do Sul os móveis torneados de madeira maciça, especialmente pinus, são os mais produzidos.

O polo moveleiro de Ubá/MG está localizado na zona da mata mineira, com mais de 400 empresas produtoras de móveis e é o mais importante polo produtor de móveis de Minas Gerais (FERNANDES; OLIVEIRA JÚNIOR, 2002). O setor produz móveis de madeira, aço, tubulares, estofados, entre outros, gerando a maior parte dos postos de trabalho que integram o polo (PIRES, 2007).

O polo moveleiro de Araçatuba surgiu nos anos 1960 e está situado na região Norte do Paraná, próximo à cidade de Londrina. Atualmente é o principal polo moveleiro do Estado do Paraná e conta com cerca de 550 empresas. Araçatuba concentra o maior número de empresas do setor na região, com cerca de 180 indústrias que fabricam vários tipos de móveis e estofados. A principal característica do polo é a produção seriada de móveis residenciais populares, na grande maioria retilíneos, produzidos com painéis de madeira e destinados principalmente ao mercado interno (ARRUDA, 2009).

Para aumentar a competitividade entre as empresas, Gorini (1998) relata que existem quatro fatores principais da indústria moveleira: matéria-prima, tecnologia, mão-de-obra e *design*. Tais fatores relacionam-se com novas matérias-primas, *design*, especialização da produção, estratégias comerciais e de distribuição, entre outros. A dinâmica das inovações baseia-se, principalmente, naquelas que se referem ao produto, através do aprimoramento do *design* e da utilização de novos materiais.

### 2.3 Materiais mais utilizados

A madeira maciça foi a primeira matéria-prima utilizada na fabricação de móveis. O Brasil é detentor de imensas reservas florestais, com madeira abundante e diversificada. Os primeiros móveis eram muito rústicos, grandes e pesados, apresentando um estilo de arquitetura colonial, com influência europeia (SILVA, 2007).

Segundo esse mesmo autor, o uso dessa madeira está cada vez mais raro, sendo utilizada em componentes estruturais e combinadas com outros materiais. Sendo assim, os painéis de madeira reconstituída vêm se tornando a principal matéria-prima do setor moveleiro.

De acordo com Silva (2007), a maior utilização desses painéis ocorre em função da redução da disponibilidade de madeiras de grandes dimensões, além de possibilitar um melhor aproveitamento dessas madeiras, a uma idade mais jovem, utilizando, inclusive resíduos das indústrias e acarretando uma redução dos custos finais.

Na Figura 4 encontra-se a cadeia produtiva da madeira e de seus subprodutos. Observa-se que as toras de madeira também podem ser transformadas em combustível, como carvão e lenha, mas a destinação dessas toras para fins industriais têm sido maior (serrados, painéis e polpa). Para os painéis há uma ocorrência elevada de subprodutos, como os laminados, divididos em compensados laminados e sarrafeados e LVL e, os painéis particulados, aglomerados, fibras e minerais.

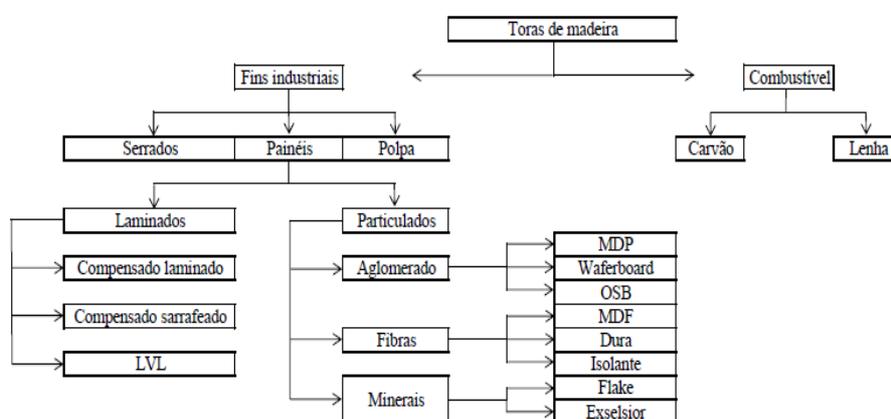


Figura 4 Cadeia Produtiva da Madeira  
Fonte: Adaptado de Silva (2007)

A maioria da madeira para a produção de painéis reconstituídos pertence aos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus*. Segundo Da Costa et al. (2004) esses gêneros predominam na área reflorestada brasileira. De acordo com a Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas - ABRAF (2012), as florestas plantadas em todo o país, com esses gêneros, atingiram 6.515.844 ha no ano de 2011.

As florestas plantadas no Brasil são a principal fonte de matéria-prima para aqueles setores industriais que se utilizam da madeira e que se caracterizam por produção em grande escala. Entre estes, os que absorvem a maior parte da produção florestal são os setores de celulose e papel, carvão vegetal e madeira processada mecanicamente, tanto serrarias quanto as indústrias de painéis à base de madeira (NAHUZ, 2004).

Basicamente, os materiais e as suas utilizações na indústria moveleira são (CORRÊA, 2004):

- a) painel aglomerado: utilizado em tampos de mesas, laterais de portas e de armários, *racks*, divisórias e laterais de estantes;
- b) painel compensado: utilizado em fundos de gaveta, armários, roupeiros, tampos de mesa, laterais de móveis, braços de sofá, fundos de armários e prateleiras;
- c) painel MDF: empregado em componentes frontais, internos e laterais de móveis, portas, fundos de gaveta, estantes, tampos de mesa e *racks*;
- d) chapa dura (*hardboard*): utilizada em fundos de gavetas, de armários e de *racks*, tampos de móveis, móveis infantis e divisórias;
- e) madeira maciça: utilizada em tampos de mesa, frontal e lateral de balcões, assento e estrutura de cadeiras, estruturas de camas, molduras, pés de mesa, estrutura de sofás, laterais de gavetas, embalagem, pés de cama, pés de *racks*, estrados e acabamento de móveis.

### **2.3.1 Painéis MDP (*Medium Density Particleboard*)**

Segundo a norma técnica NBR 14810 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS- ABNT, 2002) - chapas de madeira aglomerada - “chapa de madeira aglomerada ou chapa de partículas de madeira” variam em espessura de 3mm a 50mm, sendo constituído por pequenas partículas de madeira aglutinadas com resinas sintéticas, sob ação de pressão e calor. A geometria das partículas e sua homogeneidade, os tipos de adesivos, a densidade e os processos de fabricação podem ser modificados para produzir produtos adequados aos usos finais específicos. Durante o processo de fabricação, podem ainda ser incorporados aditivos para prover painéis de características especiais.

Painéis MDP são constituídos por partículas maiores dispostas ao centro e as mais finas nas superfícies externas e são aglutinadas e compactadas entre si com resina sintética através da ação conjunta de pressão e calor em prensa contínua.

Lara Palma (2009) cita que para a fabricação de painéis de partículas a matéria-prima é variável, isto é, pode-se utilizar toretes de pequeno diâmetro, resíduos provenientes do manejo florestal, resíduos provenientes da transformação mecânica da madeira (sobras de serrarias - serragem, costaneiras, refugos, etc.; sobras da indústria de compensados - rolo resto, lâminas, etc., sobras de madeira gerada de superfícies secas - maravalhas e refugos das indústrias de móveis, etc.) e resíduos de culturas agrícolas.

O princípio de fabricação de painéis aglomerados faz com que esse produto apresente uma série de vantagens em relação à madeira maciça, tais como (IWAKIRI, 2005):

- a) eliminação de efeitos de anisotropia da madeira, ou seja, as alterações dimensionais e resistência mecânica nas direções longitudinal e transversal do painel são similares;
- b) eliminação de fatores redutores da resistência da madeira como nós, inclinação da grã, lenhos juvenil e adulto, entre outros;
- c) possibilidades de adequações das propriedades físico-mecânicas dos painéis através do controle dos parâmetros de processo como adesivo, geometria de partículas, grau de densificação, entre outros;
- d) menores exigências em termos de matéria-prima como diâmetro, forma do fuste, defeitos, entre outros;
- e) menor custo de produção, relacionando principalmente a qualidade da madeira e mão de obra.

As utilizações desses painéis estão diretamente associadas às propriedades físicas e mecânicas dos mesmos. As restrições técnicas para o uso e a aplicação de diferentes tipos de painéis de madeira envolvem características como resistência, uso interior ou exterior, uniformidade da superfície, tolerância à usinagem, resistência à fixação de parafusos, entre outros (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE - ABIMCI, 2009).

Dentre as inúmeras variáveis do processo produtivo, a matéria-prima, a densidade do painel e o tipo de adesivo utilizado na sua produção, são de grande importância para adequação das propriedades do aglomerado para determinadas aplicações (SETUBAL, 2009).

De acordo com a Associação brasileira da indústria de painéis de madeira - ABIPA (2012) o painel MDP brasileiro é fornecido ao mercado sob quatro maneiras distintas:

- a) aglomerado cru: os painéis não recebem nenhum acabamento podendo ser revestidos com lâminas de madeira natural, com laminado plástico, PVC, entre outros, além de poder receber pintura ou impressão direta;
- b) aglomerado revestido com laminado de baixa-pressão (BP): uma lâmina celulósica é impregnada com resina melamínica que com alta temperatura e pressão é fundida aos painéis de madeira. Esse tipo de acabamento apresenta um fechamento de alta resistência a riscos e manchas nas superfícies e reduz a proliferação de micro-organismos;
- c) aglomerado revestido com *finish-foil (FF)*: uma lâmina celulósica envernizada é laminada sobre o MDP, por meio de processo de temperatura e pressão. Existem vários padrões como unicolors,

madeirados ou fantasias com diversas opções de acabamentos como *standard*, reenvernizável ou já com vernizes em alto brilho ou semifosco.

- d) aglomerado pintado: o painel pode ser pintado ou laqueado com diversas cores.

ABIPA (2011) relata que o mercado de painéis está em processo de crescimento. Para painéis aglomerados do tipo *MDP* o mercado interno possui forte tendência de evolução, uma vez que o crescimento econômico brasileiro está em desenvolvimento e há aumento de crédito do consumidor.

De acordo com a ABIPA (2012), no ano de 2011 houve uma capacidade nominal instalada em m<sup>3</sup> de *MDP* de 4.790.000, aproximadamente o dobro da capacidade do ano de 2005. Essa mesma fonte informou que a produção de *MDP* no ano de 2011 foi de aproximadamente 3.000.000 m<sup>3</sup>, para importação os valores foram em torno de 1.500 m<sup>3</sup>, para exportação próximo de 24.000 m<sup>3</sup>.

#### **2.4 Fatores que afetam as características dos painéis aglomerados**

Vários fatores contribuem para a conformação das propriedades e da qualidade final dos painéis. Dentre eles, podem ser destacados os inerentes à madeira tais como espécies, características anatômicas, densidade, teor de umidade, extrativo, pH; e os fatores inerentes ao processo tais como densidade dos painéis, razão de compactação, tipo e teores de adesivo, parafina, dimensão das partículas, umidade das partículas, tempo de fechamento da prensa, temperatura de prensagem e pressão específica (MALONEY, 1993; MOSLEMI, 1974).

De acordo com esses autores o fator de maior importância é a espécie de madeira ou de material lignocelulósico utilizado para a produção de painéis

aglomerados. Visto que diferentes tipos de matérias-primas influenciando o tipo de partícula durante o processamento interagem com todas as outras variáveis no processo, determinando as propriedades do painel.

Nos últimos anos, a pressão ambiental para aproveitamento de resíduos é cada vez maior, o que vem fazendo com que inúmeros pesquisadores estudem a utilização desses subprodutos como forma de maximizar o aproveitamento das matérias-primas. Uma das possíveis formas de aproveitamento de resíduos pode ser realizada a partir de sua adição parcial e/ou total em painéis aglomerados (MELO, 2009).

Segundo Caraschi, Leão e Chamma (2009), as agroindústrias brasileiras produzem muitos resíduos que podem ser utilizados para produção de painéis, desde que se adéquem às normas técnicas vigentes, de modo a serem resistentes. A utilização desses resíduos traria várias vantagens, entre elas a valorização econômica de materiais antes descartados, a diminuição dos riscos de danos ambientais devido ao descarte em locais inadequados e a diminuição de CO<sub>2</sub> pela queima desses resíduos.

Nesse contexto, o aproveitamento dos resíduos gerados pela agroindústria brasileira se mostra como alternativa para atender à demanda de matéria-prima das indústrias de painéis aglomerados, apresentando-se com vários tipos de resíduos lignocelulósicos com potencialidades para aproveitamento, dentre os quais: sabugo de milho, casca de arroz, casca de café, casca de amendoim, caule de bananeira, casca de coco, caule de mandioca, casca de mamona, bagaço de cana, entre outros (MENDES et al., 2010).

Nesse caso, o resíduo além de sofrer uma agregação de valor, poderá atender à crescente demanda da indústria de painéis de madeira, além de possibilitar sua expansão, diminuir a utilização de madeira e conseqüentemente a pressão sobre as florestas, e ainda reduzir os custos de produção dos painéis, tornando-os ainda mais competitivos no cenário econômico.

#### **2.4.1 Influência do material lignocelulósico**

Segundo Melo et al. (2009), os painéis aglomerados podem ser manufaturados a partir de qualquer material lignocelulósico, desde que estes lhe confirmem resistência física, mecânica e biológica, porém há uma limitação na escolha do material, uma vez que este influencia a qualidade final do produto.

As espécies apresentam grande variabilidade na sua estrutura anatômica. A influência da anatomia está relacionada principalmente à sua estrutura, quanto às diferenças dos seus elementos celulares, como dimensão, disposição e frequência das cavidades celulares, que por sua vez estão relacionadas com a porosidade e permeabilidade do material (IWAKIRI, 2005). Assim como também, a anatomia pode afetar a compressão das partículas, interferindo na resistência à compactação sob condições de pressão e temperatura e necessitando de estudos do melhor ciclo de prensagem para produção de painéis aglomerados.

Outro fator que influencia o desempenho dos painéis é a constituição química da matéria-prima, a qual esta relacionada, principalmente, à exposição de áreas de maior ou menor concentração de extrativos na superfície a ser colada, assim como a relação entre maior quantidade de hemicelulose e maior absorção de água do material (IWAKIRI, 2005).

De acordo com CTC (2012) o bagaço de cana de açúcar apresenta teores de 26-46% de celulose, 19-33% de hemiceluloses e 14-23% de lignina. Os extrativos presentes no material também podem interferir na produção de painéis, afetando as reações de polimerização do adesivo (LIMA et al.,2007), influenciando na qualidade dos painéis.

Belini (2012) menciona que a diferença entre os componentes químicos do bagaço de cana de açúcar e da madeira de eucalipto é encontrada no teor de cinzas, apresentando o bagaço de cana com valores entre 0,7 (ROWEL;

KEANY, 1991) e 5% (CTC, 2012). Para o eucalipto o teor de cinzas raramente chega a 1% (FRIZZO; SILVA, 2001).

O conteúdo de cinzas não afeta diretamente a performance da ligação adesiva. No entanto, poderá afetar o pH ou as características de usinabilidade do material, devido à presença de minerais como a sílica e seu efeito ao desgaste excessivo das peças cortantes (IWAKIRI, 2005).

Em se tratando de colagem, é importante considerar a influência do pH tanto da matéria-prima como do adesivo. Este não deve ter os limites de pH ultrapassando a faixa de 2,5 a 11, pois podem resultar em degradação das fibras. Além disso, um pH muito baixo pode provocar uma formação excessiva de espuma na mistura, prejudicando sensivelmente a aplicação do adesivo (IWAKIRI, 2005). Albin (1975) relata que o pH interfere também na fixação de preservantes químicos e na aplicação de tintas e vernizes.

#### **2.4.1.1 Bagaço de cana de açúcar**

A cana de açúcar foi introduzida no Brasil logo após o descobrimento, iniciando seu plantio em Pernambuco e, em 1532, em São Paulo. Inicialmente, a cana destinava-se basicamente à produção de açúcar. Com o advento do Programa Nacional do Álcool - Proálcool, em 1975, a sua utilização como fonte de matéria-prima para produção de álcool combustível assumiu importância considerável (BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL- BNDES, 1995).

É uma gramínea da mesma família do capim e bambu que se destacam, principalmente, por proporcionar um aproveitamento total no seu processamento industrial (MARAFAANTE, 1993).

De acordo com Martins (2009), ela é pertencente à família das *Poáceas*, gênero *Saccharum*, com nome botânico *Saccharum* spp. É composta por duas

partes: uma subterrânea constituída pelos rizomas e pelas raízes e, a outra parte, aérea, pelo colmo, folhas e flores.

Em relação à cultura da cana de açúcar, o Brasil se enquadra como o principal produtor mundial, com o equivalente a 9,6 milhões de hectares plantados (FAO, 2013), representando 3,5% da área agricultável do país, no qual, os Estados do centro-sul movimentam cerca de 70% da produção (FIORELLI et al., 2011).

Os principais resíduos resultantes do processo produtivo da cana de açúcar são: a palha, o bagaço, cinzas, torta de filtro e o vinhoto ou vinhaça (DANTAS FILHO, 2009).

O bagaço possui entre 48-52% de umidade, 2-3% de sólidos solúveis e 46-48% de sólidos insolúveis (fibras e demais elementos anatômicos) (CTC, 2012).

Observa-se uma expansão significativa na quantidade de bagaço de cana de açúcar produzido. Esse subproduto pode ser caracterizado como um conjunto de fibras emaranhadas de celulose e tem sido produzido cada vez em maior quantidade (MENDES; MENDES; ALMEIDA, 2010).

Uma das alternativas encontradas para minimizar esse excedente veio da empresa Coca-Cola que produziu uma “garrafa-verde”, acompanhada de um selo no rótulo demonstrando que é um material mais ecológico. Na composição da garrafa PET, 30% é composto por etanol de bagaço de cana de açúcar. Outra empresa denominada *Roots Biopack* produziu embalagens utilizando bagaço de cana, sendo então testadas de acordo com as normas de segurança alimentar.

A unidade de Proteção de Cultivos da BASF lançou no ano de 2012 uma embalagem de defensivo agrícola à base de etanol produzido a partir da cana de açúcar. Além disso, o grupo espanhol *SPhere* lançou ao mercado o primeiro sacode embalagem feito de cana de açúcar.

No entanto, apesar dos diferentes usos que vem ganhando o bagaço de cana, a quantidade produzida é muito grande, fazendo que novas pesquisas e aplicações sejam avaliadas.

#### **2.4.1.2 Painéis aglomerados de bagaço de cana de açúcar**

Alguns trabalhos já foram desenvolvidos com a utilização do bagaço de cana para a produção de painéis aglomerados, contudo eles não avaliaram testes específicos para a aplicação para móveis. Na sequência são descritos alguns estudos realizados com painéis de bagaço de cana.

Okino et al. (1997) modificaram quimicamente as partículas de bagaço de cana com anidrido acético antes da produção dos painéis aglomerados. Foram confeccionados painéis com partículas sem tratamento e com tratamento, com dois tipos de adesivos (ureia-formaldeído e o tanino-paraformaldeído) e dois teores (8 e 12%). Nos painéis com partículas acetiladas para o ensaio de absorção de água e inchamento em espessura, houve uma diminuição dos valores médios. O adesivo tanino-paraformaldeído nos painéis com partículas acetiladas demonstrou menor absorção de água e inchamento em espessura, assim como o adesivo ureia-formaldeído no teor de 12%. Para a avaliação do MOR (módulo de ruptura), os painéis com partículas sem tratamento apresentaram maiores valores, assim como os painéis com tanino. Para os valores de MOE, os painéis com partículas acetiladas apresentaram valores inferiores aos painéis com partículas sem tratamento. Na ligação interna, os painéis com partículas sem tratamento apresentaram os maiores valores, exceto para o uso de ureia a 8%.

Teixeira, Costa e Santana (1997) realizaram teste acelerado de ataque de fungos em painéis aglomerados laboratoriais de bagaço de cana utilizado como resina a ureia-formaldeído, fenol-formaldeído e tanino. Os fungos utilizados

foram o *Pycnoporussanguineus* (Pers. ex Fr.) Murr., causador de podridão branca e o *Gloeophyllumtrabeum* (Pers. ex Fr.) Murr., causador de podridão parda. Os painéis foram classificados como moderadamente resistentes ao ataque de fungos. Os autores não encontraram diferença estatística entre os diferentes tipos de adesivos utilizados na produção dos painéis.

Pedreschi (2009) confeccionou painéis de bagaço de cana de açúcar homogêneos e em camadas (20/60/20 – face/miolo/face), com granulometria menor nas faces, e utilizando os adesivos ureia-formaldeído (UF) e melamina-formaldeído (MUF) em diferentes teores e tipos na face e no miolo (9% e 12%). Na propriedade absorção de água, o adesivo MUF obteve melhores resultados quando aplicado no miolo e, para o inchamento em espessura o tratamento com 9% de adesivo MUF nas faces apresentou melhores valores. Para as propriedades mecânicas, o adesivo MUF foi superior ao adesivo UF.

Battistelle, Marcilio e Lahr (2009) confeccionaram painéis aglomerados de bagaço de cana de açúcar e fibras da folha caulinar do bambu utilizando 12% de adesivo ureia-formaldeído. Os tratamentos foram 100, 75, 50 e 25% de bagaço em associações com 75, 50 e 25% de fibras da folha caulinar do bambuda espécie *Dendrocalamus giganteus*. Para o tratamento com 100% de bagaço de cana de açúcar foi encontrado o maior valor médio absoluto (1167,0 MPa) para o módulo de elasticidade (MOE) e também para o módulo de ruptura (MOR) (9,83 MPa). Entretanto, o tratamento com 100% de fibras da folha do bambu apresentou valores bem próximos para MOE (1028,0 MPa) e para MOR (9,30 MPa).

Mendes et al. (2009) avaliaram o efeito do tipo de adesivo e o seu conteúdo em diferentes aglomerados de bagaço de cana de açúcar utilizando adesivos ureia-formaldeído e fenol-formaldeído nos teores de 6, 9 e 12%. Para as propriedades físicas de absorção de água e inchamento em espessura, os resultados demonstraram que o tipo de adesivo não tem efeito significativo,

entretanto o teor de adesivo foi significativo. Para as propriedades mecânicas, o tipo e o teor de adesivo não foram significativos sobre módulo de elasticidade, porém tanto o tipo quanto o teor apresentaram efeito significativo sobre o módulo de ruptura, sendo o adesivo ureia-formaldeído superior ao adesivo fenol-formaldeído e os teores de 9 e 12% superiores ao teor de 6%.

Barros Filho (2009) manufactureou painéis utilizando bagaço de cana de alambique e da usina sucroalcooleira. Para a caracterização do bagaço foram determinados o teor de umidade, teor de cinzas, teor de extrativos solúveis em água, teor de extrativos orgânicos solúveis em etanol/cicloexano, teor de lignina e densidade. Foram confeccionados painéis com 100 e 50% de resíduo de usina, misturados a 50% de pinus e eucalipto, e 100% de resíduos provenientes de alambique. Os adesivos utilizados foram ureia-formaldeído e a melamina-formaldeído. Os painéis produzidos com bagaço de alambique apresentaram maiores valores médios de absorção de água que os obtidos pelos painéis com bagaço de usina. Segundo o autor, o bagaço de alambique apresenta maior quantidade de açúcar, uma substância hidrofílica. Para MOE e MOR, os painéis produzidos com bagaço de usina puro apresentaram valores médios superiores aos dos painéis produzidos com bagaço de usina misturado a outras partículas, devido ao adesivo melamina-formaldeído. Os valores médios de ligação interna encontrados para os painéis produzidos com bagaço de usina misturado a outras partículas são superiores aos dos painéis com bagaço de usina puro.

Mendes et al. (2010) avaliaram o efeito da percentagem de associação de bagaço de cana (25, 50 e 75%) com a madeira de eucalipto em diferentes tipos de adesivos (UF e FF) e teores (6, 9 e 12%) na produção de painéis aglomerados. Os autores concluíram que o tratamento que obteve melhores resultados foi UF a 12% e 75% de bagaço de cana, atendendo aos valores estipulados pela norma CS 236-66 (COMMERCIAL STANDARD, 1968), com exceção do módulo de elasticidade. Entretanto os painéis produzidos com UF a

6% e 75% de bagaço de cana atenderam também a norma em todas as propriedades, com exceção do módulo de elasticidade, sendo essa a alternativa economicamente mais viável.

Mendes, Mendes e Almeida (2010) avaliaram a associação de madeira de eucalipto e pinus na produção de painéis aglomerados de bagaço de cana provenientes de alambique utilizando 6% de ureia-formaldeído. Foram confeccionados painéis com 100% de bagaço, 50% de bagaço e 50% de pinus ou 50% de eucalipto. Para a propriedade de absorção de água, os painéis com 50% de bagaço e 50% de eucalipto apresentaram os melhores resultados. Os tratamentos utilizando UF a 6% e 12% e 75% de bagaço de cana, atendendo aos valores estipulados pela norma CS 236-66, com exceção do MOE.

Tabarsa, Ashorie Gholamzadeh (2011) avaliaram algumas propriedades físicas e mecânicas em painéis aglomerados de bagaço de cana com teor de adesivo ureia-formaldeído de 11% para a face e 9% para o miolo em comparação aos painéis com álamo e partículas de folhosas. Para as propriedades mecânicas, os autores encontraram valores médios de 2120 MPa e 20,5 MPa para MOE e MOR, respectivamente. Os valores de inchamento em espessura após duas e vinte e quatro horas de imersão para os painéis de bagaço variaram de 15,1 para 18,1% e 22,6 para 24,5%. O valor médio para o Ra foi de 12,3  $\mu\text{m}$ . Os autores concluíram que os painéis de bagaço apresentaram desempenho físico e mecânico superior aos painéis aglomerados manufaturados com álamo e partículas de folhosas.

Mendes et al. (2012b) manufaturaram painéis de bagaço de cana de açúcar e *Pinus* spp. nas porcentagens de 75, 50 e 25%, utilizando como adesivo a ureia-formaldeído e o fenol-formaldeído nos teores de 6, 9 e 12%. Utilizou-se também 1% de parafina para todos os tratamentos. Para as propriedades físicas foram observados que o aumento de bagaço de cana de açúcar promove uma maior absorção de água e também um maior inchamento em espessura.

Utilizando adesivo UF a 6% e 12% e 75% de bagaço de cana obtiveram os melhores resultados, atendendo aos valores estipulados pela norma CS 236-66, com exceção do MOE.

Sartori et al. (2012) desenvolveram painéis em madeira de reflorestamento e de partículas de bagaço de cana de açúcar com resina poliuretana bicomponente à base de óleo de mamona. Para a caracterização mecânica, o módulo de elasticidade apresentou valor médio dentro do que é estipulado pela norma ANSI 208.1 (AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE - ANSI, 1999) e o módulo de ruptura foi superior. Para tração perpendicular, os painéis apresentaram valores superiores àqueles recomendados pela NBR 14810-2:2006 (ABNT, 2006b) e ANSI 208.1 (ANSI, 1999). Os autores afirmam que a resina bicomponente à base de óleo de mamona se apresenta como potencial adesivo para fabricação de painéis de partículas de bagaço de cana de açúcar.

Mendes et al. (2012a) avaliaram a determinação do módulo de elasticidade de painéis aglomerados de bagaço de cana por *stress wave timer*. Os adesivos utilizados foram melamina-ureia-formaldeído e ureia-formaldeído em painéis homogêneos e em camadas. Os autores concluíram que o tipo de material utilizado é o que exerce maior influência sobre a determinação do MOEd, sendo o bagaço de cana o que apresentou as melhores correlações.

De forma geral, os estudos citados mostram que a matéria-prima bagaço de cana de açúcar é bastante promissora, e que tende a atender aos requisitos exigidos em norma para painéis comerciais.

#### **2.4.2 Densidade do painel**

Iwakiri (2005) menciona que os painéis aglomerados podem ser classificados de acordo com a sua densidade. Painéis de baixa densidade

apresentam valores até  $0,59\text{g/cm}^3$ , média densidade com valores de  $0,59$  a  $0,80\text{g/cm}^3$  e alta densidade acima de  $0,80\text{g/cm}^3$ .

A densidade do painel influencia de forma significativa as propriedades mecânicas e físicas. De acordo com Kelly (1977) os painéis com densidade superior possuem estabilidade dimensional inferior por apresentarem maior inchamento em espessura, porém, sua resistência mecânica é mais elevada. Esse mesmo autor explica que esse acontecimento é devido à maior quantidade de partículas e à maior densificação do painel, o que os relaciona ao inchamento da madeira e liberação das tensões de compressão provenientes da prensagem. De acordo com Vital, Haselein e Della Lucia (1992), partículas mais finas distribuem melhor as tensões, além de produzir menor quantidade de espaços vazios no interior dos painéis, produzindo painéis mais resistentes.

Iwakiriet al. (2005) produziram painéis aglomerados com densidade nominal de  $0,90\text{ g/cm}^3$  e  $0,65\text{g/cm}^3$  utilizando teores de 8, 12 e 15% de resina MUF. Esses autores obtiveram valores inferiores para os testes de absorção de água e inchamento em espessura com o aumento da densidade e do teor de resina. Para os ensaios de módulo de ruptura, módulo de elasticidade e ligação interna, o aumento na densidade do painel aumentou significativamente os valores dessas propriedades. Maloney (1993) relata que os valores inferiores de absorção de água dos painéis mais densos é devido à estrutura mais fechada do próprio painel, consequência das partículas estarem mais densificadas durante o processo de prensagem.

Mendes et al. (2010) relatam que a baixa densidade do material lignocelulósico significa um maior número de partículas na formação do colchão do painel, que depois da prensagem e aliado ao amolecimento da lignina do material, devido à aplicação de temperatura, faz com que as partículas passem a ter um maior contato entre elas, apresentando dessa forma maior resistência à flexão.

### 2.4.3 Densidade do material lignocelulósico

Kelly (1977) relata que a densidade do material é o fator que mais afeta a utilização de uma espécie para a fabricação de painéis. Para que a matéria-prima possa ser utilizada na confecção de painéis aglomerados, essa deve apresentar baixa densidade para que a razão de compactação, relação entre a densidade do painel e a densidade do material, esteja entre 1,3 a 1,6 e para que ocorra a densificação necessária para a formação do painel.

De acordo com Maloney (1993), a razão de compactação é um parâmetro de grande importância na estabilidade dimensional e na resistência mecânica do painel aglomerado. Painéis com maior razão de compactação terão propriedades mecânicas superiores, mas com menor estabilidade dimensional.

Partículas de espécies de materiais mais densos, quando compactadas durante a prensagem, produzem uma baixa razão de compactação, prejudicando as propriedades do painel, necessitando assim, alterar outras variáveis do processamento, como aumentar a proporção de adesivo, o que aumenta o custo de produção (MENDES, 2001).

De acordo com Kelly (1977), Moslemi (1974), Maloney (1993) e Tsoumis (1991), painéis com a mesma densidade nominal confeccionados com matéria-prima de baixa densidade, quando comparados aos painéis manufaturados com material de alta densidade, geralmente apresentam maiores valores de flexão e ligação interna, devido à maior razão de compactação.

Sob o ponto de vista tecnológico, a utilização de diferentes materiais lignocelulósicos altera algumas variáveis de processamento, influenciando nas propriedades dos painéis. Devido às possíveis variações nos valores da densidade da madeira entre as espécies, variáveis como a razão de compactação, a área superficial das partículas e a disponibilidade de adesivo por unidade de

área das partículas são variáveis que refletem as propriedades físico-mecânicas dos painéis (IWAKIRI; KEINERTJÚNIOR, 1990).

#### **2.4.4 Adesivos**

De acordo com Vick (1999), os adesivos podem ser divididos em termoplásticos e termofixos. Nos adesivos termoplásticos a mudança física para a forma sólida pode acontecer pela perda de solvente por evaporação e dispersão sobre a madeira, ou pela redução de temperatura do adesivo na superfície. Já os adesivos termofixos alcançam a forma sólida através da polimerização química, sofrendo modificações químicas e físicas irreversíveis com o aumento da temperatura, tornando-se rígido e insolúvel.

Como regra geral, todas as propriedades dos painéis aglomerados melhoram de maneira proporcional com o aumento do conteúdo de adesivo, em especial a resistência à tração perpendicular, porém o custo de produção aumenta consideravelmente (MALONEY, 1993).

Devido principalmente ao baixo custo, versatilidade e facilidade de aplicação, os adesivos de ureia-formaldeído são amplamente utilizados na fabricação dos painéis de aglomerado. As propriedades oferecidas por essas resinas são adequadas para a adesão entre as partículas de produtos para uso interior (MOSLEMI, 1974). Já as resinas fenol-formaldeído e melamina-formaldeído apresentam elevada resistência à umidade, sendo muito utilizadas em painéis para uso externo.

Schmidt et al. (1978) relatam que o tipo e a proporção de adesivos utilizados na produção de painéis reconstituídos de madeira influenciam na sua susceptibilidade ao ataque de micro-organismos. Entre os fungos responsáveis pelo apodrecimento dos materiais lignocelulósicos, destaca-se a classe dos basidiomicetos, na qual se encontram os fungos responsáveis pela chamada

podridão parda e podridão branca, que possuem características enzimáticas próprias, quanto à deterioração dos constituintes químicos (ZABEL; MORRELL, 1992).

Um dos problemas encontrados nos painéis reconstituídos de madeira é a emissão de formaldeído o qual é caracterizado por ser um gás incolor com um forte odor irritante, muito solúvel em água, produzindo um hidrato e possuindo alta reatividade química. Apesar da maioria dos painéis apresentar revestimento, durante a sua utilização o formaldeído pode ser emitido possibilitando irritação ao trato respiratório, olhos e pele em pessoas, potencializada quando em ambientes fechados (IWAKIRI, 2005; KHODER et al. 2000).

## **2.5 Caracterização de painéis de partículas**

A utilização de novas matérias-primas e a possibilidade de inseri-las em novos produtos favorece a realização de ensaios específicos para cada tipo de material. Esses testes, submetendo os corpos de prova a experiências que simulem esforços extremos em condições reais, possibilitam o conhecimento das propriedades do material, que poderá torná-lo adequado ou não ao uso, gerando um padrão de qualidade superior.

Os ensaios realizados, a princípio na matéria-prima e, posteriormente no produto acabado, são a base para um produto final de qualidade e dentro das normas pré-estabelecidas.

Neste trabalho, a caracterização dos painéis aglomerados de bagaço de cana foi conduzida de forma a submetê-los a diversos ensaios que simulassem sua utilização diária em móveis de uso geral.

A caracterização física do material foi estudada a fim de verificar e comparar sua relação com possíveis incidentes drásticos envolvendo água, e como este se comportaria em tal situação. Dentro desse contexto, foi realizado

em paralelo o ensaio de absorção de superfície, que simula a derrubada de um líquido em uma mesa produzida com painéis de madeira.

Outro item de grande importância é a rugosidade dos painéis. Esse teste visa verificar a superfície do painel e permite a correlação com outros testes realizados, além de interferir no acabamento dos mesmos, o que, consequentemente, afeta o *design* dos móveis.

Os testes mecânicos envolvem diversos ensaios, o que visa caracterizar algumas propriedades como o módulo de elasticidade e módulo de ruptura, à flexão e à compressão.

Outro tipo de ensaio mecânico é a dureza *janka*, que fornece a resistência à penetração de outros corpos. Essa característica é muito importante em termos de trabalhabilidade dos móveis.

Já o ensaio de flexão dinâmica, simula um impacto forte que o material possa vir a sofrer, verificando a quantidade de energia requerida para o seu rompimento. Nos móveis, pode-se aproximá-lo de um elevado impacto em tampos de mesas.

Ainda se tratando de ensaios mecânicos, Da Costa et al. (2004) afirma que arrancamento de parafuso é uma propriedade importante, principalmente em painéis utilizados na indústria moveleira. Esse parâmetro nos permite observar na prática se a fixação é adequada para guarda-roupas, estantes, homes, etc.

Para compreender a resistência dos painéis a diversos esforços consecutivos, o ensaio de fadiga promove a verificação da perda de resistência a ensaios cíclicos. Este pode ser vinculado ao assento de sofás, cadeiras, móveis que são utilizados sucessivamente. Em contrapartida, o ensaio de fluência permite verificar a deformação sofrida por um mobiliário durante o tempo que estiver carregado com peso.

Para verificar a durabilidade desses painéis, foi realizado o ensaio de envelhecimento natural, submetendo os corpos de prova a condições extremas

de chuva e sol. Esse ensaio possibilita verificar a perda de resistência dos móveis com o passar do tempo se submetidos a condições não adequadas e condizentes a seu uso.

Para a produção de móveis, a emissão de formaldeído em painéis de madeira é um entrave. Com o intuito de verificar qual a condição real desses painéis aglomerados de bagaço, o ensaio visa verificar se não há excedente quando comparado aos painéis que já se encontram em processo produtivo.

Sendo assim, a caracterização dos painéis aglomerados de bagaço de cana realizada neste trabalho, promoverá um melhor entendimento a cerca desse material.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Material e obtenção dos corpos de prova

Foram adquiridos cinco painéis *MDP* industriais para uso interno de eucalipto e pinus de duas empresas nacionais e cinco painéis *MDP* industriais para uso interno de bagaço de cana importados da China.

Esses painéis foram encaminhados a Unidade Experimental de Produção de Painéis de Madeira – UEPAM – localizada na Universidade Federal de Lavras, em Lavras/MG, onde foram retirados corpos de prova (conforme Figura 5) com auxílio de uma serra circular esquadrejadeira. Posteriormente, os corpos de prova foram acondicionados em sala de climatização com condições de umidade e temperatura controladas ( $20 \pm 2^\circ \text{C}$  e  $65 \pm 5\%$  de UR) até massa constante.

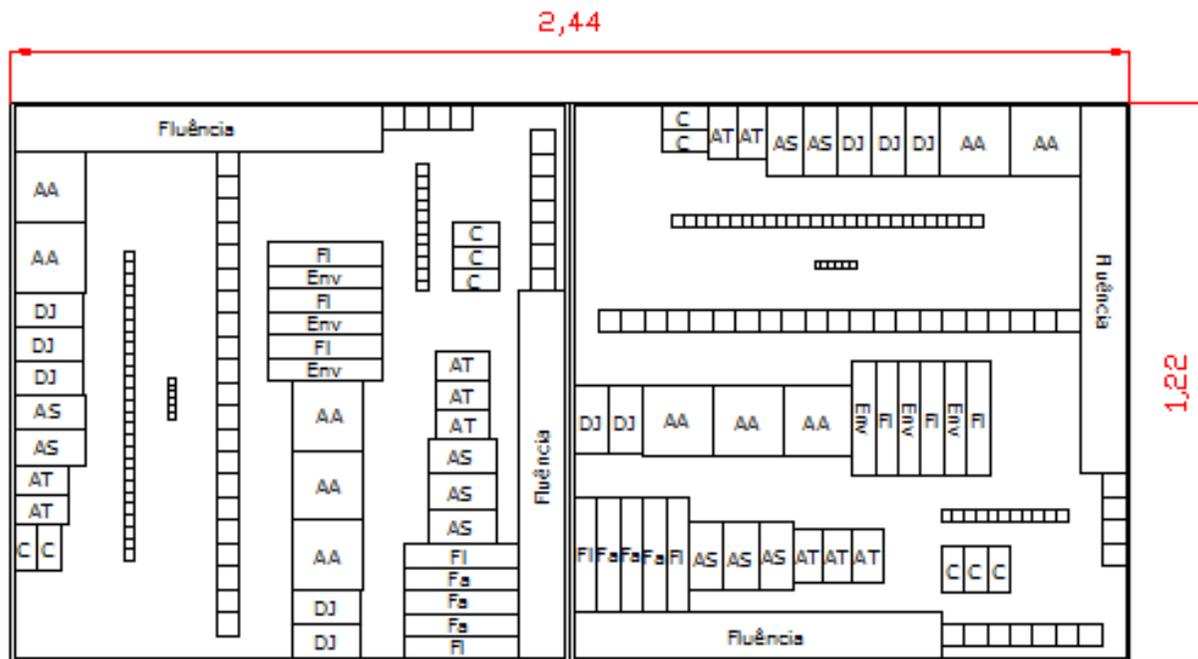


Figura 5 Esquema de retirada dos corpos de prova AA (absorção de água, inchamento em espessura e taxa de não retorno em espessura), DJ (dureza *janka*), AS (arrancamento de parafuso de superfície), AT (arrancamento de parafuso de topo), C (compressão), FL (flexão), ENV (envelhecimento natural), FA (fadiga). Os menores desenhos dos corpos de prova são referentes aos ensaios de umidade, densidade aparente, ligação interna, perfil de densidade, MEV (microscopia eletrônica de varredura) e emissão de formaldeído

Tabela 1 Número de corpos de prova ensaiados por painel

Ensaio	Quantidade de cp's (por tipo de painel)
AA2h; AA 24h	50
IE2h; IE24h	50
TNRE	50
Umidade	50
Densidade aparente	50
Flexão estática	50
Flexão dinâmica	10
Compressão paralela	50
Ligação interna	50
Arrancamento de parafuso Superfície	50
Arrancamento de parafuso Topo	50
Dureza <i>janka</i>	50
Perfil de densidade	50
Microscopia eletrônica de varredura	6
Envelhecimento natural Flexão	30
Envelhecimento natural Ligação Interna	30
Fadiga	10
Fluência	10
MOE dinâmico	5
Absorção de superfície	10

### 3.2 Caracterização física

Para a caracterização física foram realizados os testes de absorção de água (AA) e inchamento em espessura (IE) após duas, e vinte e quatro horas de imersão e de taxa de não retorno em espessura (TNRE), de acordo com a norma ASTM D-1037 (AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM, 2002). Para a obtenção do teor de umidade e densidade aparente foi utilizada a norma NBR 14810-3 (ABNT, 2006c).

### 3.3 Caracterização mecânica

Para a caracterização mecânica dos painéis foram realizados os ensaios de flexão estática (Módulo de elasticidade e de ruptura), flexão dinâmica, compressão (Módulo de elasticidade e de ruptura), ligação interna, arrancamento de parafuso no topo e na face e dureza *janka*, de acordo com a norma NBR 14810-3 (ABNT, 2006c).

Esses ensaios foram realizados em máquina universal de ensaio da marca *TIME GROUP* com capacidade de 2 (duas) toneladas, dotada de sistema computadorizado para controle das variáveis de ensaio e coleta dos dados, instalada na Unidade Experimental de Painéis de Madeira na Universidade Federal de Lavras.

### **3.3.1 Resistência à fadiga**

O ensaio de resistência à fadiga foi realizado de acordo com a metodologia adaptada de Del Menezzi et al. (2011). Foram utilizados corpos de prova nas dimensões de 250x50mm e para cada tratamento foram utilizadas dez repetições. O ciclo de carregamento foi de 20.000 ciclos. O ensaio teve duração de 12,2h para cada corpo de prova. A carga do atuador em cada ciclo foi de 120N, sendo a duração do ciclo de 2,2 segundos (2 segundos de duração da carga e 0,2 segundo de tempo de aplicação e retorno do atuador). A frequência foi de 0,45 Hz. Posteriormente a esse ensaio, os corpos de prova foram submetidos ao ensaio de flexão estática para a determinação do MOE e MOR, e posterior confronto com os dados obtidos pelo ensaio de flexão estática.

### **3.3.2 Fluência**

Para o ensaio de fluência foi utilizada a norma NBR 13961 (ABNT, 2003) adaptada. Os corpos de prova foram obtidos nas dimensões de 800x100mm e foram carregados com a carga máxima (30 kg) uniformemente distribuída na maior parte do corpo de prova, conforme Figura 6, durante o período de uma semana. A deflexão do plano foi medida no ponto médio do seu comprimento. A medição teve exatidão de 0,1 mm e foi feita:

- a) antes da aplicação da carga;

- b) após a aplicação da carga;
- c) todos os dias consecutivos, durante uma semana;
- d) uma semana após a aplicação da carga, com o plano carregado;
- e) depois da remoção da carga.

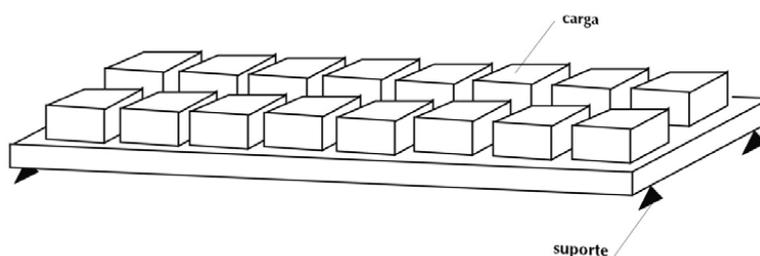


Figura 6 Ensaio de deflexão de painéis horizontais

### 3.3.3 MOE dinâmico

Para a obtenção do MOE dinâmico foi utilizado o equipamento *Stress Wave Timer*, que indica o tempo de propagação da onda entre os dois transdutores do equipamento. Esse ensaio foi realizado em cada painel inteiro. Em cada painel foram realizadas três leituras no comprimento e três pontos na largura, conforme Figura 7.

O módulo de elasticidade dinâmico foi determinado conforme as equações 1 e 2.

$$\text{MOEd} = d \times V^2 \times 1/g \quad (1)$$

onde:

MOEd = Módulo de elasticidade dinâmico (Kgf/cm<sup>2</sup>);

d = Massa específica do painel (Kg/m<sup>3</sup>);

g = Aceleração da gravidade (9,804m/s<sup>2</sup>);

V = Velocidade da onda longitudinal (cm/s).

A velocidade foi obtida através da equação 2.

$$V = d/t \quad (2)$$

onde:

V= Velocidade (cm/s);

D = distância entre os transdutores (cm);

t = tempo de propagação da onda de tensão (s).

O módulo de elasticidade obtido pelo método de *stress wave timer* foi confrontado com os valores de módulo de elasticidade à flexão estática, o qual foi determinado de acordo com a norma NBR 14810-3 (ABNT, 2006c). Os dados foram avaliados utilizando análise de variância e de regressão, ambos a 5% de significância.

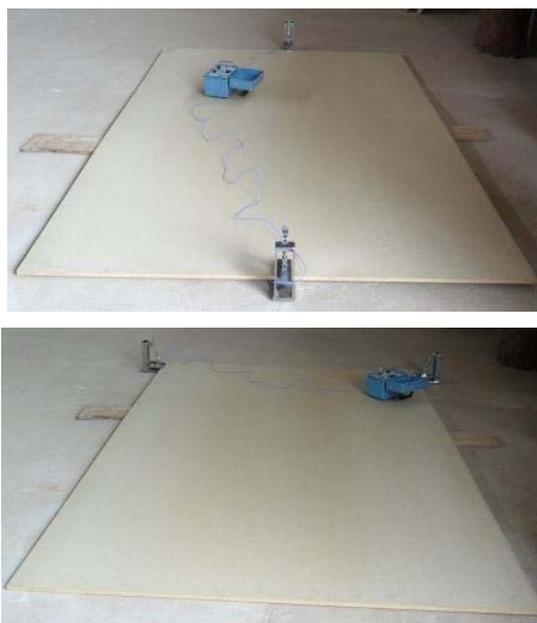


Figura 7 Determinação do MOE dinâmico pelo *Stress Wave timer* no comprimento e na largura

### 3.4 Caracterização química

Para a caracterização química dos painéis de pinus, eucalipto e bagaço de cana foi procedido o ensaio para determinar a emissão de formaldeído.

#### 3.4.1 Emissão de formaldeído

A determinação da emissão de formaldeído foi realizada seguindo as determinações da norma NBR 14810-3 (ABNT, 2006c) no laboratório da empresa Duratex S.A., localizada em Botucatu, São Paulo. Foi utilizado o método perforator que consiste em remover o formaldeído do produto de madeira reconstituída por um extrator (perforator) por extração à solvente.

Foram utilizados corpos de prova nas dimensões de 25 x 25 mm. A soma dos pesos desses corpos de prova foi próxima de 100 gramas. Esses foram acondicionados, juntamente com o Tolueno (600 ml), em um recipiente abaulado e aquecido por uma manta aquecedora até a evaporação. O vapor do tolueno permitiu que o formaldeído fosse arrastado e emergido pelo equipamento, em uma porção de água deionizada (1000 ml) após sua condensação. O formaldeído migrou para a água e o solvente foi descartado. O extrato aquoso foi removido e avolumado para um balão volumétrico de 2000 ml e, posteriormente foi determinada a quantidade de formaldeído presente no produto.

Também foi realizado um experimento, denominado experimento em branco, sem os corpos de prova, onde utilizou-se tolueno limpo, proveniente do mesmo frasco da análise descrita acima. Posteriormente foi realizado a titulação para a determinação quantitativa do formaldeído.

Para a realização da titulação, foram transferidos, primeiramente, 100 ml da solução contendo formaldeído do balão volumétrico para um frasco de *Erlenmeyer* de 250 ml, e foram adicionados 50 ml de solução padronizada de iodo e 20 ml de solução padronizada de hidróxido de sódio.

Esse frasco foi fechado e permaneceu em repouso em ambiente escuro durante 15 minutos. Posteriormente foi aberto e adicionado 10 ml de ácido sulfúrico. O iodo em excesso foi retitulado com a solução padronizada de tiosulfato de sódio, usando a solução de amido como indicador.

O cálculo da emissão de formaldeído foi realizado através da equação 3:

$$EF = (3 \cdot (V_0 - V_1) \cdot (100 + H)) / (M) \quad (3)$$

onde:

EF: emissão de formaldeído, em miligramas de HCOH por 100 gramas de amostras seca;

V0: consumo da solução padronizada de tiosulfato de sódio a 0,01 do experimento em branco (simulado), em mililitros;

V1: consumo da solução padronizada de tiosulfato de sódio a 0,01 no experimento de extração, em mililitros;

H: teor de umidade da amostra, em porcentagem;

M: massa dos corpos de prova antes da extração, com resolução de 0,1 grama.

### **3.5 Caracterização microestrutural**

Para a caracterização microestrutural dos três tipos de painéis foi realizada a avaliação por microscopia eletrônica de varredura para imagem e sílica.

#### **3.5.1 Microscopia eletrônica de varredura**

A avaliação por microscopia eletrônica de varredura (MEV) foi realizada no Laboratório de Fitopatologia na Universidade Federal de

Lavras. Para tanto foi utilizado um microscópio eletrônico de varredura da marca Zeiss Modelo DSM 940A.

As imagens foram obtidas nas faces e nas laterais das amostras de cada tipo de painel. Essas avaliações permitiram observar a estrutura das partículas, correlacionando com a rugosidade dos painéis.

### 3.5.2 Microscopia eletrônica de varredura para sílica

Para a determinação do teor de sílica foi realizada uma avaliação por microscopia eletrônica de varredura (MEV) no Laboratório de Fitopatologia na Universidade Federal de Lavras, utilizando um microscópio eletrônico de varredura da marca Zeiss Modelo DSM 940A com caracterização por análise elementar em EDS (*Energy Dispersive Spectroscopy*).



Figura 8 Equipamento – Microscópio eletrônico de varredura

### 3.6 Caracterização de superfície

Para a caracterização de superfície dos painéis de pinus, eucalipto e bagaço de cana foram determinados a rugosidade, ângulo de contato e absorção de superfície.

### 3.6.1 Rugosidade

O teste de rugosidade foi realizado no Laboratório de Ciência e Tecnologia da Madeira, na Universidade Federal de Lavras. Os gráficos dos perfis de rugosidade foram obtidos mediante um *software* que acompanha o equipamento.

Foram realizadas três leituras em cada corpo de prova de cada tratamento (bagaço de cana, pinus e eucalipto). Esses corpos de prova foram previamente marcados em três pontos para medição.

Para cada medição o programa disponibiliza o  $R_a$  encontrado, onde  $R_a$  é o parâmetro internacional de aspereza. É a média aritmética dos afastamentos do perfil em relação à linha média.

$$R_a = \frac{1}{L} \int_0^L |y(x)| dx \quad (4)$$

### 3.6.2 Ângulo de contato

O ensaio para a obtenção do ângulo de contato foi realizado na Embrapa Instrumentação em São Carlos/SP utilizando o equipamento Medidor de ângulo de contato *KSV Instruments Ltda.*, modelo CAM 101. Foram utilizados corpos de prova nas dimensões de 25x25mm. Para cada tratamento foram utilizadas três repetições com a formação de três a cinco gotas em cada. Os reagentes utilizados foram água destilada, etileno glicol e ácido oleico, devido à diferença de polaridade existente entre eles.



Figura 9 Equipamento para medir ângulo de contato

### **3.6.3 Absorção de superfície**

Para a realização desse teste foram seguidos os procedimentos descritos pela norma EN 382-1 (EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION, 1993c) para particulados, adaptando o aparato mencionado por essa norma.

O aparato adaptado possui uma angulação de posicionamento do corpo de prova de  $80^\circ$  e a distância de queda da gota de 6cm. Segundo Sá et al. (2010), essa adaptação promove um menor coeficiente de variação estatístico para o teste.

O tolueno foi o reagente utilizado para determinar o escorrimento da gota.

## **3.7 Durabilidade**

Para determinar a durabilidade dos painéis foi realizado o ensaio de envelhecimento natural.

### **3.7.1 Envelhecimento natural**

Esse ensaio foi realizado na Universidade Federal de Lavras, na Unidade Experimental de Produção de Painéis de Madeira – UEPAM,

utilizando uma mesa inclinada a 30° voltada para o norte magnético. Os corpos de prova foram expostos ao tempo por quatro meses e os dados climatológicos foram monitorados diariamente, conforme pode ser observado na Tabela 2. Posteriormente, foram realizados os ensaios mecânicos de flexão e ligação interna, sendo os dados confrontados com as médias obtidas para cada painel sem o envelhecimento, proporcionando assim avaliar a perda de resistência de cada tipo de painel.

Tabela 2 Médias mensais dos dados climatológicos

Parâmetros	jun	jul	ago	set	out	Média
	2012					
Precipitação acumulada (mm)	83	13	0,25	13	0	22
Umidade relativa do ar (%)	95	84	82	68	66	79
Temperatura mínima (°C)	12	10	11	12	13	12
Temperatura máxima (°C)	25	24	25	29	30	27
Temperatura média (°C)	20	18	19	24	23	21



Figura 10 Durabilidade – Envelhecimento natural

### 3.8 Perfil de densidade

A realização do perfil de densidade seguiu os requisitos descritos pela norma NBR 14810-3 (ABNT, 2006c) utilizando corpos de prova nas dimensões de 50x50mm.

Esse ensaio foi realizado no laboratório da indústria Duratex S.A. com a utilização do equipamento DPX 200, com a capacidade de realizar leituras ponto a ponto, através de bloqueios de raio X.

Os dados foram avaliados utilizando correlação de *Pearson* a 1% e 5% de significância.

### 3.9 Teste de combustibilidade

Para o teste de combustibilidade foi utilizada a metodologia proposta por Paula et al. (2011) e Quirino e Brito (1991). Foi utilizado um dispositivo composto por um combustor fabricado em chapa de ferro galvanizada, uma base de alumínio e madeira, um controlador de temperatura, uma balança com precisão de 5 mg e um anteparo de alumínio que envolve o combustor para protegê-lo da interferência do ar durante a combustão.

As bases e o combustor foram colocados sobre a balança de precisão. O combustor recebeu os corpos de prova e a ignição ocorreu com a combustão de 10g de álcool que foram depositados em uma placa de Petri sobre a base de alumínio e abaixo da grelha. O aparato foi posteriormente colocado, e finalmente, o medidor de temperatura.

A massa do painel e a temperatura do sistema foram coletadas a cada minuto. O teste de combustibilidade foi realizado em duplicatas utilizando a curva média para cada tratamento.



Figura 11 Ensaio de combustibilidade

### 3.10 Análise estatística

Para a análise dos dados obtidos foi utilizado o *software* estatístico Sisvar. Para a caracterização física e mecânica, fadiga, fluência, teste de

combustibilidade, rugosidade, absorção de superfície e envelhecimento natural, foi procedida a análise de variância a 5% de significância, com posterior teste de média de Tukey, também a 5% de significância com auxílio do programa estatístico

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Caracterização microestrutural

Para a caracterização microestrutural dos três tipos de painéis foi realizada a avaliação por microscopia eletrônica de varredura para imagem e sílica.

#### 4.1.1 Microscopia eletrônica de varredura

Na Figura 12 encontra-se as imagens de MEV das faces dos painéis de *pinus*, *eucalipto* e bagaço de cana e nas Figuras 13 e 14 encontra-se as imagens de MEV do miolo dos painéis de pinus, eucalipto e bagaço de cana.

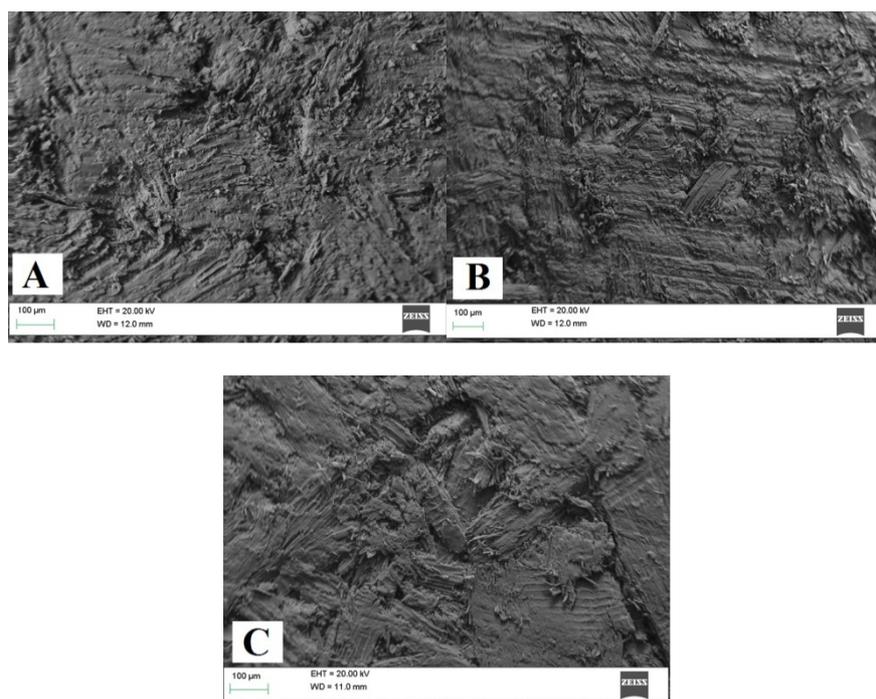


Figura 12 Imagens (100µm) de MEV de superfície dos painéis A: Pinus; B: Eucalipto; C: Bagaço

Observa-se que os painéis de bagaço de cana (Figura 12) apresentaram uma menor homogeneização das partículas, assim como

também partículas aparentemente com dimensões maiores, fato este que afetou a rugosidade da superfície dos painéis (Tabela 9). Em se tratando de móveis, essa característica não é tão desejada, visto que pode afetar o acabamento do painel.

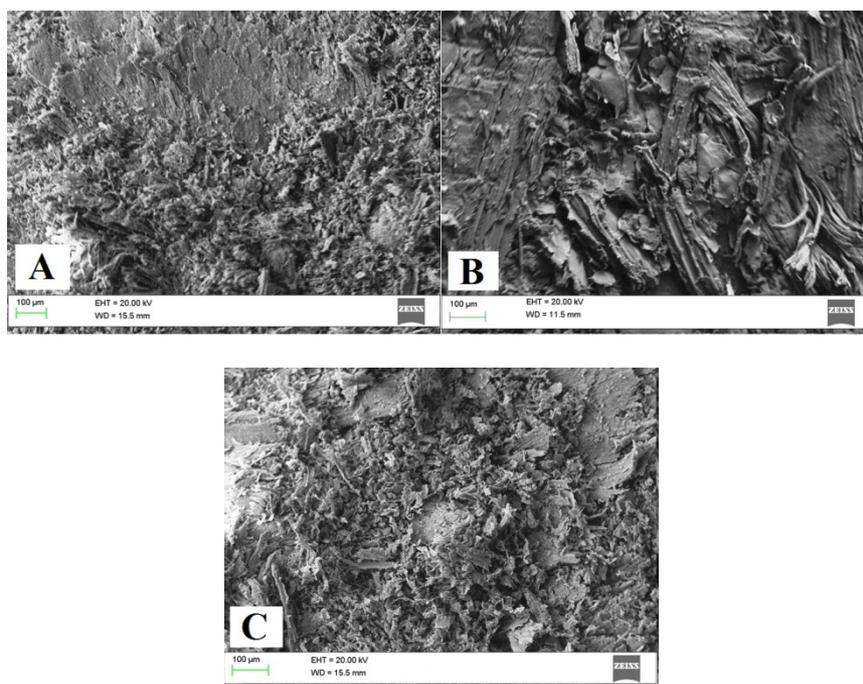
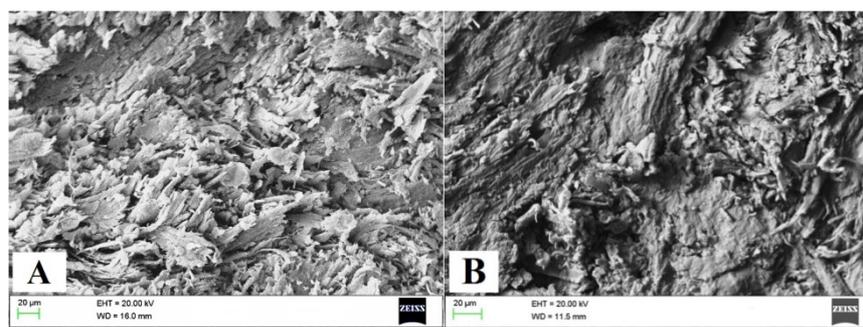


Figura 13 Imagens (100µm) de MEV do miolo dos painéis A: Pinus; B: Eucalipto; C: Bagaço



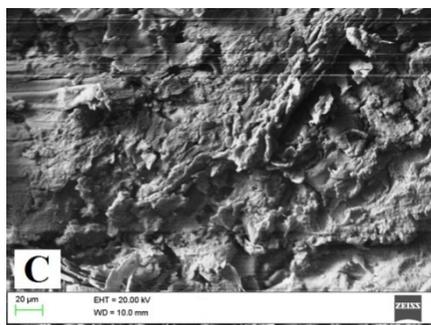


Figura 14 Imagens (20µm) de MEV do miolo dos painéis A: Pinus; B: Eucalipto; C: Bagaço

Ao analisar as Figuras 13 e 14 observa-se aparentemente uma maior compactação das partículas dos painéis de bagaço de cana, o que era o esperado, devido basicamente à menor densidade do material, o que de forma geral proporcionou a diminuição da quantidade de espaços vazios. Observa-se também certa diferença entre os painéis de pinus e eucalipto, com as maiores partículas nos painéis de eucalipto.

#### 4.1.2 Microscopia eletrônica de varredura para sílica

Na Figura 15 encontra-se os valores médios para teor de sílica dos painéis de *pinus*, *eucalipto* e bagaço.

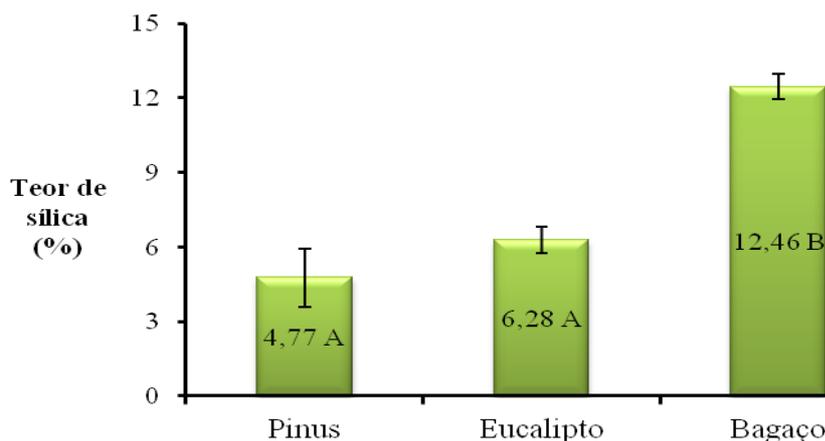


Figura 15 Valores médios para teor de sílica. Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância

Os painéis aglomerados produzidos com bagaço de cana apresentaram o maior valor médio de teor de sílica, diferenciando-se estatisticamente dos outros dois tipos de painéis. Não houve diferença significativa entre os painéis de pinus e eucalipto.

Esse valor está correlacionado com a questão da usinabilidade dos painéis para a produção de móveis, sendo que, quanto menor a quantidade de sílica, menor o desgaste das ferramentas para o processamento dos painéis.

Dessa forma, a utilização de painéis aglomerados de bagaço de cana, apesar de poder proporcionar características físicas e mecânicas adequadas, (sempre) apresentará esse inconveniente.

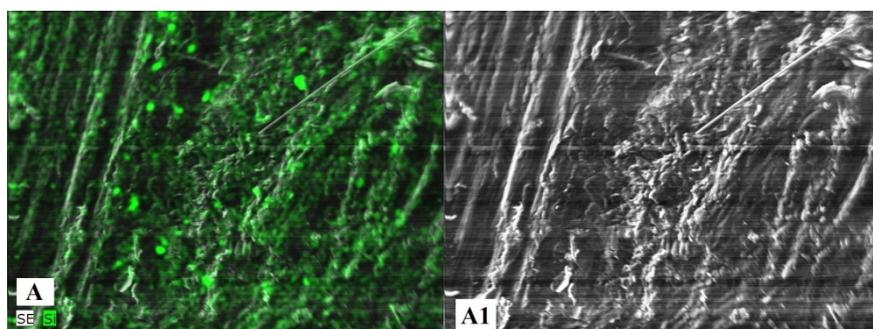


Figura 16 Imagens de MEV dos painéis de pinus

A: Imagem do corpo de prova com destaque em verde para os pontos com sílica.  
A1: Imagem de MEV do corpo de prova.

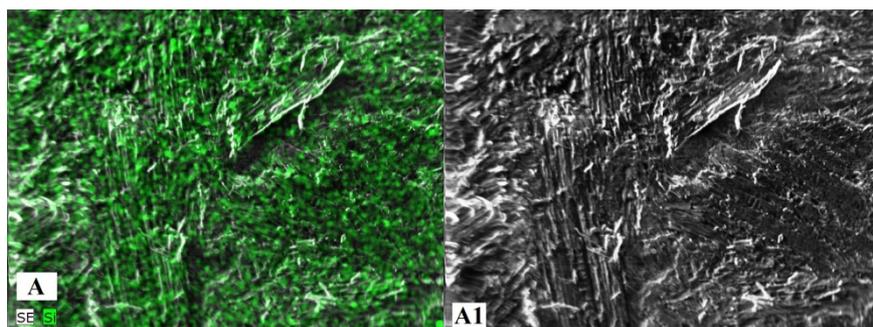


Figura 17 Imagens de MEV dos painéis de eucalipto

A: Imagem do corpo de prova com destaque em verde para os pontos com sílica.  
A1: Imagem de MEV do corpo de prova.

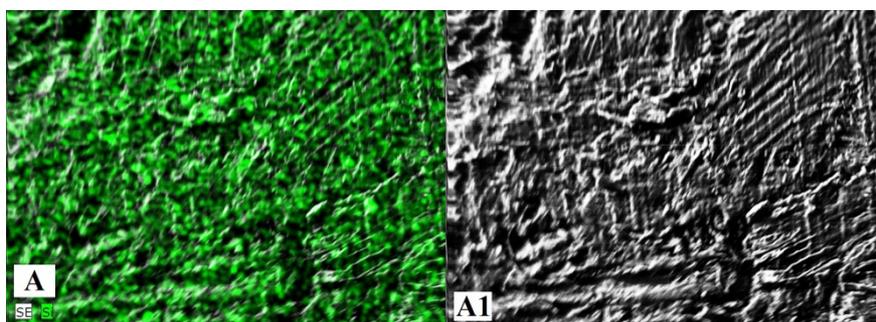


Figura 18 Imagens de MEV dos painéis de bagaço

A: Imagem do corpo de prova com destaque em verde para os pontos com sílica.  
A1: Imagem de MEV do corpo de prova.

Belini et al. (2012), avaliando a quantidade de sílica presente em painéis de fibras de *eucalipto* produzidos com a substituição das fibras por partículas de bagaço de cana e com o adesivo ureia-formaldeído, obtiveram para os painéis produzidos apenas com partículas de bagaço de cana valor médio de 3,05%, valor bastante inferior ao encontrado neste estudo.

## 4.2 Caracterização física

Para a caracterização física foram realizados os testes de densidade aparente, umidade, absorção de água (AA) e inchamento em espessura (IE) após duas, e vinte e quatro horas de imersão e de taxa de não retorno em espessura (TNRE).

### 4.2.1 Densidade aparente

Na Figura 19 estão apresentados os valores médios da densidade aparente dos painéis industriais *MDP* de pinus, eucalipto e bagaço de cana de açúcar.

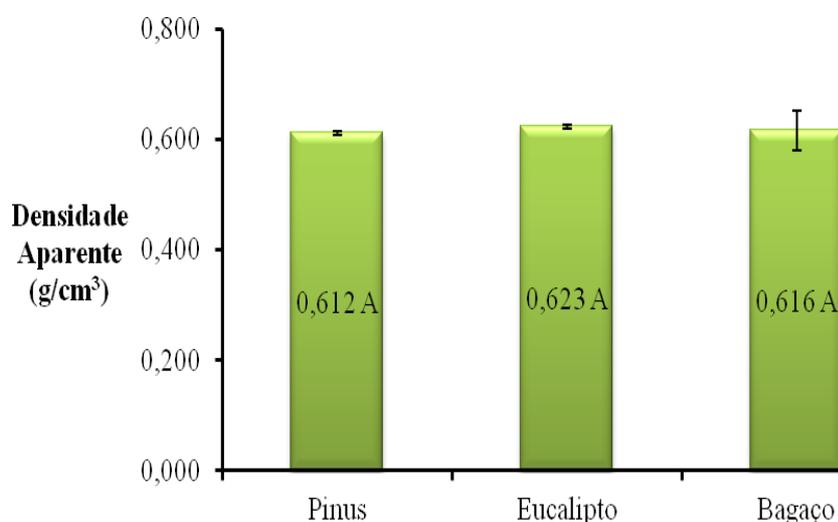


Figura 19 Valores médios de densidade aparente  
Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância.

Os valores médios de densidade aparente encontrados para pinus, eucalipto e bagaço foram correspondentes a 0,612; 0,623 e 0,616 g/cm<sup>3</sup>, respectivamente, sendo classificados como painéis de média densidade, que se referem aos painéis com densidade aparente entre 0,60 e 0,80 g/cm<sup>3</sup> NBR 14810 (ABNT, 2006). Observa-se que não houve diferença estatística entre as densidades dos painéis industriais.

Mendes et al. (2008) encontraram valores médios de densidade aparente em painéis industriais de 0,683 g/cm<sup>3</sup> para pinus, 0,655 g/cm<sup>3</sup> para eucalipto e 0,669 g/cm<sup>3</sup> para bagaço de cana. Os autores também não observaram diferença estatística entre os tratamentos.

Apesar de não ter sido observada diferença estatística, o resíduo bagaço de cana apresenta densidade inferior quando comparado a matéria-prima de pinus e eucalipto. Mendes et al. (2012b) ao avaliarem a utilização do bagaço de cana para produção de painéis aglomerados encontraram valor médio de densidade básica do bagaço de 0,098 g/cm<sup>3</sup>. Enquanto que Barros Filho (2009) obteve valor médio de 0,096 g/cm<sup>3</sup> para o bagaço de usina e 0,099 g/cm<sup>3</sup> para o bagaço de alambique.

Essa relação entre a densidade do painel e a densidade da matéria-prima, definida como razão de compactação, pode influenciar diretamente as propriedades físico-mecânicas dos painéis aglomerados (MALONEY, 1993; TSOUMIS, 1991).

#### 4.2.2 Umidade dos painéis

Observa-se na Figura 20 os valores médios de umidade para os painéis de pinus, eucalipto e bagaço.

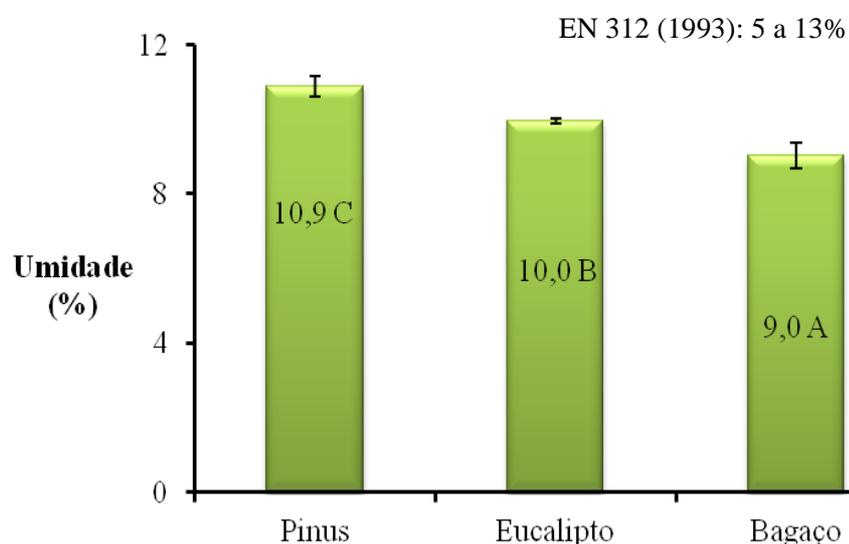


Figura 20 Valores médios de umidade  
Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância.

De acordo com os resultados obtidos, nota-se que houve diferença estatística entre todos os tratamentos. Os painéis de pinus apresentaram o maior valor médio de umidade, seguido dos painéis de eucalipto e por último os painéis de bagaço de cana.

O fato dos painéis de bagaço de cana apresentarem o menor valor médio de umidade pode estar associado a dois fatores: o primeiro em relação ao tipo de aditivos utilizados para produção dos painéis, como por exemplo a formulação química do adesivo ureia-formaldeído utilizado na produção dos

painéis aglomerados de bagaço de cana; e o segundo fator pode estar relacionado a própria constituição química das matérias-primas, sendo que o bagaço de cana apresenta, de maneira geral, maiores valores de extrativos que a madeira, constituinte químico que pode vir a promover a diminuição da umidade dos painéis (MALONEY, 1993; IWAKIRI, 2005).

Barros Filho (2009), avaliando a constituição química de bagaço de alambique e de usina para produção de painéis aglomerados obteve valores médios de extrativos de 11,1 e 9,1%, respectivamente. Valores esses acima dos comumente encontrados para madeira de coníferas e folhosas que variam entre  $5\pm 3\%$  e  $3\pm 2\%$ , respectivamente (KLOCK et al., 2005).

Melo et al. (2009) avaliaram as propriedades físico-mecânicas de painéis aglomerados produzidos com diferentes proporções de madeira (*Eucalyptus grandis*) e casca de arroz. Os valores encontrados para a umidade dos tratamentos variou de 8,3% a 8,6%.

A norma de comercialização EN 312 (EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION, 1993b) estipula como valores adequados de umidade dos painéis a faixa de 5 a 13%. Sendo assim, todos os tratamentos estão de acordo com o intervalo determinado.

#### **4.2.3 Absorção de água**

Os valores médios de absorção de água após duas (AA2h) e vinte e quatro horas (AA24h) estão dispostos na Figura 21.

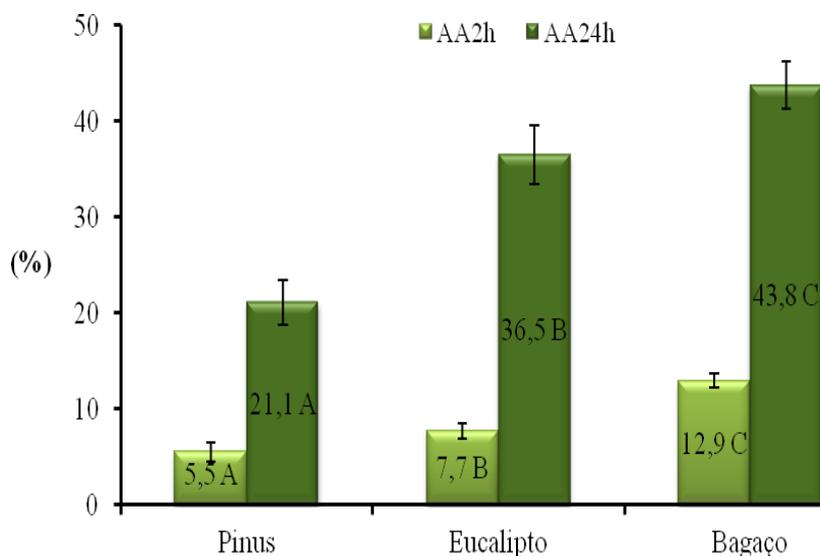


Figura 21 Valores médios de absorção de água após duas e vinte e quatro horas

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância.

Tanto para a propriedade absorção de água após duas horas quanto após vinte e quatro horas de imersão, observa-se que todos os tratamentos apresentaram valores médios distintos estatisticamente. Em ambos os casos, os painéis de pinus apresentaram o menor valor médio de absorção, enquanto os painéis de bagaço de cana foram os que apresentaram os maiores valores médios de AA2h e AA24h.

O motivo dos painéis de bagaço apresentar o maior valor médio de absorção de água pode ser explicado pela baixa densidade do material em relação as madeira de eucalipto e pinus, necessitando assim de maior quantidade de partículas por área para a formação do colchão de um painel de densidade aparente pré-determinada, o que aumenta a disponibilidade de sítios de sorção e conseqüentemente, os valores de absorção de água.

No entanto, a princípio isso pode parecer contraditório com os valores obtidos para a umidade dos painéis, visto que os painéis de bagaço apresentaram o menor valor médio de umidade, entretanto tais análises são

conduzidas de formas diferentes, sendo a absorção de água realizada de forma mais drástica, permitindo o contato da água com o painel, o que nesse caso fez com que a constituição química e a provável diferença de aditivos levantada no item 4.2.2 perdessem o efeito significativo sobre essas propriedades.

Pedreschi (2009) avaliou as propriedades de AA2h e AA24h para os painéis industriais de bagaço de cana e encontrou valores médios de 10,7% e 40,6%, respectivamente. Para os painéis industriais de eucalipto, o autor encontrou valores médios de 12,3% e 35,5% para a AA2h e AA24h, respectivamente.

Souza et al. (2012) avaliaram as propriedades físico-mecânicas de painéis industriais e laboratoriais de pinus e obtiveram valores médios de AA2h e AA24hs para os painéis industriais de 14,5% e 49,6%.

Mendes et al. (2012b) estudaram o efeito da associação de bagaço de cana, tipo e teor de adesivo nas propriedades físico-mecânicas de painéis aglomerados com a madeira de *Pinus* spp. e encontraram valores superiores para AA2h e AA24h conforme o acréscimo da porcentagem de bagaço de cana, obtendo valores médios entre 32,1 a 54,1% e entre 49,8 a 64,2%, respectivamente.

De forma geral, em comparação com a literatura, os dados obtidos com os painéis comerciais de pinus, eucalipto e bagaço se mostraram coerentes, inclusive, em alguns casos, obtendo menores valores médios.

#### **4.2.4 Inchamento em espessura e taxa de não retorno em espessura**

Na Figura 22, pode-se observar os valores médios de inchamento em espessura após duas horas (IE2h) e após vinte quatro horas (IE24h) de imersão, e os valores médios de taxa de não retorno em espessura (TNRE).

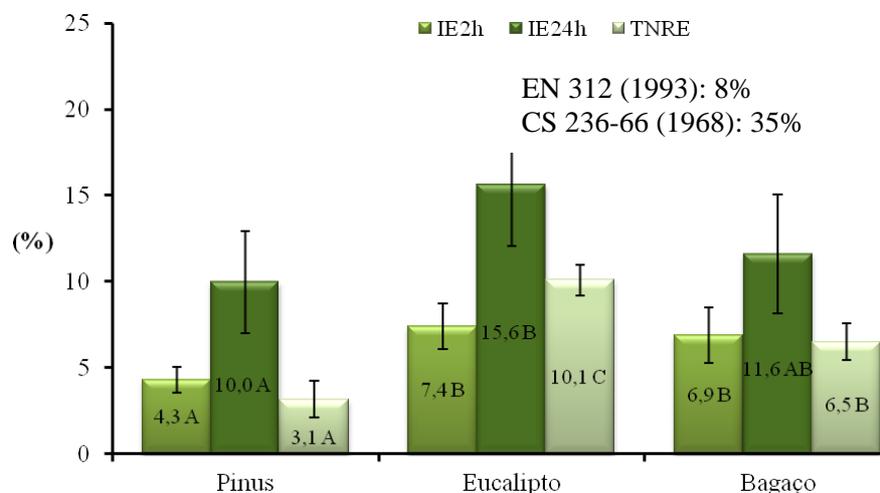


Figura 22 Valores médios de inchamento em espessura após duas e vinte e quatro horas e taxa de não retorno em espessura  
Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância.

Conforme pode ser observado, para a propriedade de IE2h os painéis industriais de pinus diferiram estatisticamente dos demais tratamentos, apresentando o menor valor médio. Não foi observada diferença significativa entre os painéis de bagaço de cana e eucalipto para essa propriedade.

Para o IE24h, os painéis industriais de bagaço de cana foram iguais estatisticamente aos painéis de pinus e eucalipto, no entanto também foi observada diferença significativa entre os painéis de pinus e eucalipto, sendo o menor valor médio obtido para os painéis de pinus.

Para a propriedade taxa de não retorno em espessura (TNRE), todos os tratamentos diferiram estatisticamente. Os painéis industriais de pinus apresentaram o menor valor médio, enquanto que os painéis de eucalipto apresentaram o maior valor médio.

Os maiores valores médios do IE24h e da TNRE obtidos pelos painéis de eucalipto pode ser explicado possivelmente pela menor taxa de compactação entre as partículas, o que proporciona maiores espaços vazios e consequentemente melhor penetração da água na estrutura do painel. As

Figuras 13 e 14 comprovam a maior quantidade de espaços vazios nos painéis de eucalipto.

Pedreschi (2009) ao comparar a qualidade de painéis aglomerados produzidos com bagaço de cana e com a madeira de eucalipto, encontrou valores médios para os painéis de bagaço de cana de 3,1% para o IE2h, de 12,5% para o IE24h e de 8,0% para a TNRE. Para os painéis aglomerados produzidos com a madeira de eucalipto os valores encontrados foram de 5,8% para o IE2h, de 17,4% para o IE24h e de 17,4% para o TNRE.

Barros Filho et al. (2011), avaliando a qualidade de painéis aglomerados com bagaço de cana em associação com a madeira de eucalipto e pinus e utilizando adesivos ureia-formaldeído e melamina-formaldeído, obtiveram valores médios variando entre 7,0 a 26,5% para o IE2h, entre 16,3 a 36,2% para o IE24h e entre 11,1 a 27,7% para a TNRE.

Tabarsa, Ashorie Gholamzadeh (2011), ao avaliarem o potencial de bagaço como matéria-prima alternativa para a fabricação de painéis, obtiveram valores de IE2h entre 15,1 a 18,1% e para o IE24h entre 22,6 a 24,5%.

Mendes et al. (2008) avaliaram painéis industriais de pinus, eucalipto e bagaço de cana e encontraram valores médios de 5,9%; 1,8% e 4,5% para o IE2h, e valores médios de 19,7%; 12,8% e 12,0% para IE24h, respectivamente.

Nesse sentido, em comparação com os dados encontrados na literatura, os três tipos de painéis avaliados neste trabalho apresentaram valores médios coerentes, inclusive, em alguns casos, obtendo menores valores médios. No entanto, em comparação com as normas de comercialização, os valores médios obtidos para o IE24h em todos os tratamentos não atenderam à norma EN 312 (EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION, 1993b), que estipula o valor máximo de 8%. Entretanto, todos os painéis atenderam à norma “*Commercial Standard*”- CS 236-66 (COMMERCIAL STANDARD, 1968), que estipula valores

máximos de inchamento em espessura após vinte e quatro horas de imersão de 35%.

De forma geral, observou-se para as propriedades físicas avaliadas que os painéis aglomerados de bagaço de cana se mostraram inferiores aos painéis produzidos com pinus. No entanto, em comparação com os painéis produzidos com eucalipto, tais painéis se mostraram iguais ou até mesmo superiores em algumas das propriedades. Assim, em termos de qualidade pode-se afirmar que os painéis de bagaço de cana se apresentaram com propriedades condizentes aos painéis comumente utilizados na fabricação de móveis, estando no caso das propriedades físicas, aptos para tal utilização.

### 4.3 Caracterização mecânica

Para a caracterização mecânica dos painéis foram realizados os ensaios de ligação interna, flexão estática (Módulo de elasticidade e de ruptura), flexão dinâmica, compressão (Módulo de elasticidade e de ruptura), arrancamento de parafuso no topo e na face, dureza *janka*, fadiga e fluência.

#### 4.3.1 Ligação interna

Os valores médios de ligação interna podem ser observados na Figura 23.

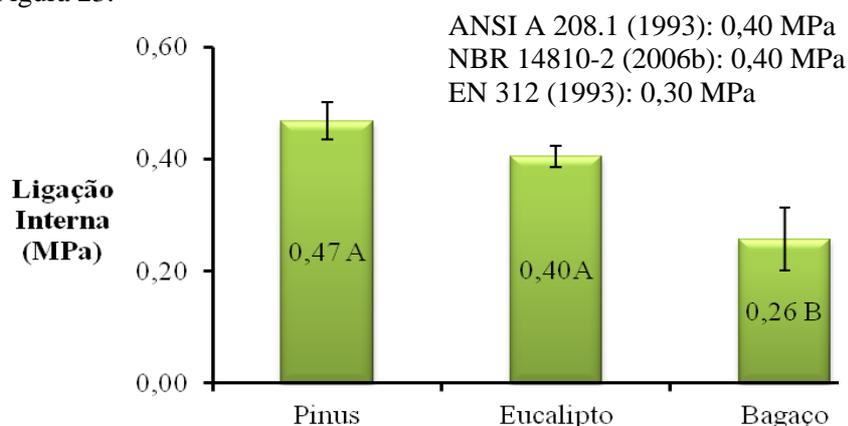


Figura 23 Valores médios de ligação interna

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância.

Pode-se observar que os painéis industriais de pinus e eucalipto não apresentaram diferença estatística entre si, no entanto se diferenciaram dos painéis de bagaço de cana, os quais obtiveram os menores valores médios.

O motivo do menor valor médio de ligação interna obtido para os painéis de bagaço de cana pode ser associado a menor quantidade de adesivo disponível por partículas, visto que para obter um painel aglomerado de mesma densidade com esse resíduo é necessário um maior número de partículas, devido basicamente à menor densidade básica do material.

Mendes et al. (2008) encontraram valores médios de ligação interna para os painéis industriais de pinus de 0,5MPa, para os painéis de eucalipto de 0,6MPa e para os painéis de bagaço de cana de 0,2MPa.

Barros Filho et al. (2011), avaliando a qualidade de painéis aglomerados com bagaço de cana em associação com a madeira de eucalipto e pinus e utilizando adesivos ureia-formaldeído e melamina-formaldeído, obtiveram valores médios de ligação interna variando entre 0,20 a 0,63MPa.

De forma geral, os painéis produzidos com bagaço de cana, eucalipto e pinus avaliados neste trabalho se mostraram coerentes com os dados obtidos na literatura. Enquanto que, em comparação com as normas de comercialização, apenas os tratamentos com pinus e eucalipto atenderam aos valores mínimos estipulados pelas normas A208.1 (ANSI, 1993) e NBR 14810-2 (ABNT, 2006b), que é de 0,40 MPa. O mesmo foi observado quando comparado com a norma EN 312 (EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION, 1993b), a qual estipula o valor mínimo de 0,30 MPa.

#### **4.3.2 Módulo de elasticidade (MOE) e módulo de ruptura (MOR) à flexão estática**

Os valores médios do módulo de elasticidade (MOE) e módulo de ruptura (MOR) à flexão estática podem ser visualizados nas Figuras 24 e 25.

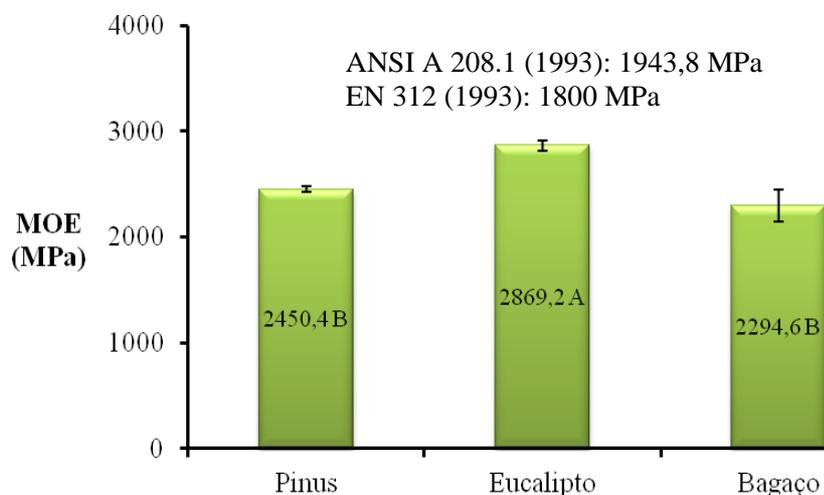


Figura 24 Valores médios do módulo de elasticidade (MOE) à flexão estática em MPa

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância.

Conforme pode ser observado, tanto para o MOE quanto para o MOR à flexão estática, os painéis industriais de pinus e bagaço não apresentaram diferenciação estatística; no entanto os painéis de eucalipto diferiram estatisticamente dos outros dois tratamentos, apresentando o maior valor médio.

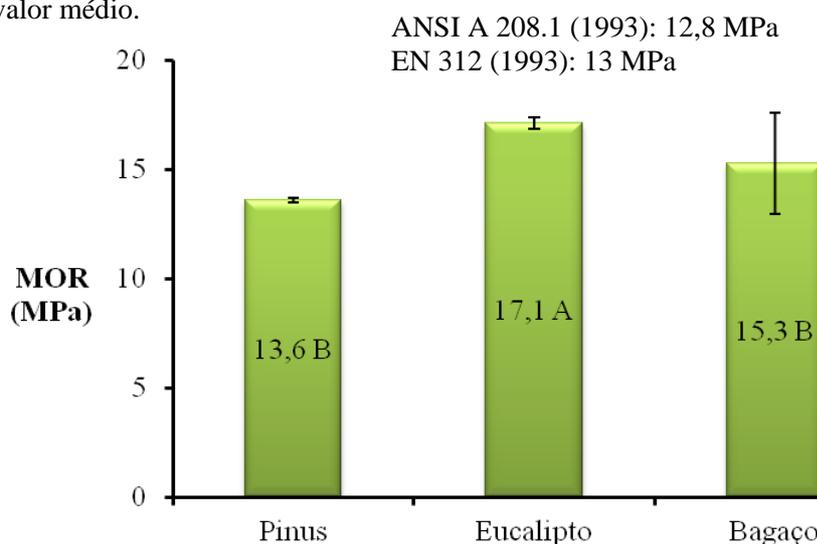


Figura 25 Valores médios de módulo de ruptura (MOR) à flexão estática em MPa

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância.

Os maiores valores de MOE e MOR obtidos pelos painéis produzidos com a madeira de eucalipto podem estar relacionados com as características físicas e anatômicas da própria matéria-prima, assim como a associação desses fatores com as variáveis de produção dos painéis.

O menor valor médio observado para os painéis de bagaço de cana em relação aos painéis de madeira de eucalipto pode ter ocorrido em função da presença de medula no bagaço de cana (MENDES et al., 2009), material esse com baixa resistência mecânica, assim como também pela menor ligação interna entre as partículas, fato que é comprovado na Figura 23.

Widyorini et al. (2005), avaliando a qualidade de painéis aglomerados produzidos com bagaço de cana com e sem medula em associação com algumas variáveis de processamento obtiveram valores de MOE variando entre 400 a 1600 MPa e de MOR variando entre 2 a 11 MPa

Mendes et al. (2012b), ao avaliarem o efeito da porcentagem de associação de bagaço de cana com a madeira de eucalipto (25, 50 e 75%) em diferentes tipos de adesivos (ureia-formaldeído e fenol-formaldeído) e em diferentes teores de adesivo (6, 9 e 12%) na produção de painéis aglomerados, obtiveram valores de MOE variando entre 915,3 a 1064,7 MPa e de MOR variando entre 9,5 a 11,5 MPa.

Mendes et al. (2012c), ao avaliarem diferentes tipos de materiais lignocelulósicos produzidos no Brasil para produção de painéis aglomerados com o adesivo ureia-formaldeído, obtiveram valores médios de MOE e MOR de 1643,2 MPa e 20,9MPa para painéis produzidos com bagaço de cana, de 1622,6 MPa e 19,9MPa para painéis produzidos com madeira de *pinus*, e de 1654,8 MPa e 21,8 MPa para painéis produzidos com madeira de *eucalipto*, respectivamente.

Em comparação com os dados encontrados na literatura, os três tipos de painéis avaliados neste trabalho apresentaram valores médios de MOE e MOR coerentes. Enquanto que, em comparação com a norma de

comercialização ANSI A208-1 (ANSI, 1993), todos os painéis atenderam ao valor mínimo estipulado de 1943,8 MPa para o MOE e de 12,8 MPa para o MOR, que se refere aos painéis do tipo *standard* (M-S). Os três tipos de painéis também atenderam à norma EN 312 (EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION, 1993b), que estipula o valor mínimo de 1800 MPa para o MOE e de 13 MPa para o MOR, para painéis aglomerados de uso interno.

#### 4.3.3 Módulo de elasticidade (MOE) e módulo de ruptura (MOR) à compressão paralela

As Figuras 26 e 27 indicam os valores médios para o módulo de elasticidade e módulo de ruptura à compressão.

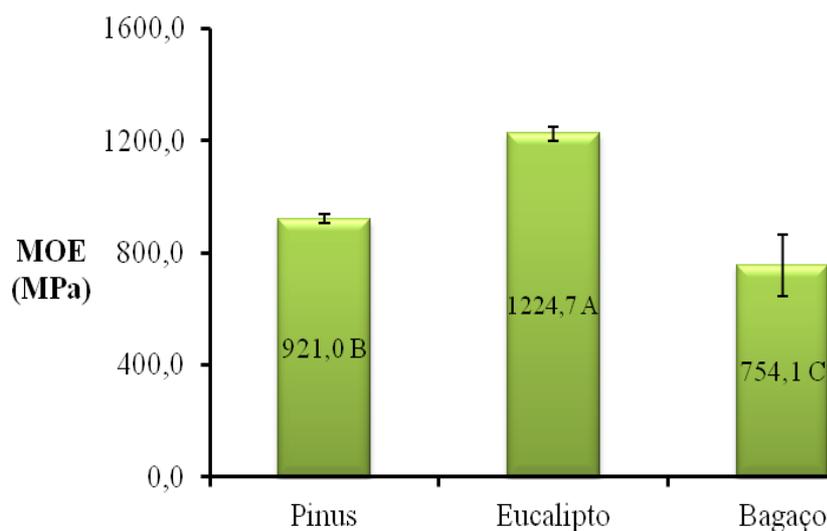


Figura 26 Valores médios de módulo de elasticidade (MOR) à compressão em MPa

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância.

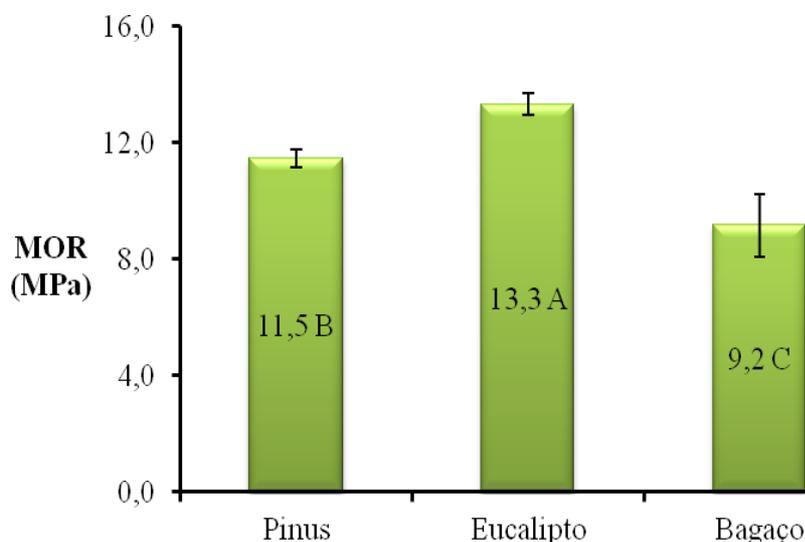


Figura 27 Valores médios de módulo de ruptura (MOR) à compressão em MPa

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância.

Nota-se que os três tratamentos se diferenciaram estatisticamente em ambas as propriedades. Sendo os painéis de eucalipto os que obtiveram os maiores valores médios, seguidos dos painéis de pinus e por último o de bagaço, o qual obteve os menores valores de MOR e MOE no ensaio de compressão.

Tal justificativa se deve à menor densidade do material bagaço de cana, o que torna necessário um maior volume de partículas para formação de um painel de densidade pré-determinada, o que causa a redução da quantidade de adesivo por partículas, promovendo assim a diminuição da ligação entre as partículas (Figura 23) e, conseqüentemente, da compressão paralela.

Iwakiri et al. (2008) avaliaram painéis aglomerados de *Pinus* spp. produzidos com 8% de adesivo ureia-formaldeído e com densidades entre 0,60 a 0,90 g/cm<sup>3</sup>, e encontraram valores médios para a propriedade MOR na compressão variando entre 6,6 a 15,9MPa, respectivamente.

Mendes e Mendes (2010) manufacturaram painéis aglomerados utilizando resíduos de bagaço de cana industrial e de alambique com densidade nominal de  $0,7\text{g/cm}^3$  utilizando adesivo ureia-formaldeído a um teor de 9%. Os valores médios de MOR encontrados para os painéis com bagaço de cana industrial e de alambique foram de 6,2MPa e 5,2MPa, respectivamente.

Pedreschi (2009) encontrou valores médios de MOR para os painéis industriais de bagaço de cana de 7,3MPa. Para os painéis industriais de *Eucalipto* de empresas A e B, os valores médios foram de 8,6MPa e 9,5MPa, respectivamente.

De forma geral, em comparação com os dados obtidos na literatura todos os três tipos de painéis avaliados neste trabalho apresentaram valores médios coerentes.

#### 4.3.4 Dureza Janka

Os valores médios para a propriedade dureza *janka* estão apresentados na Figura 28.

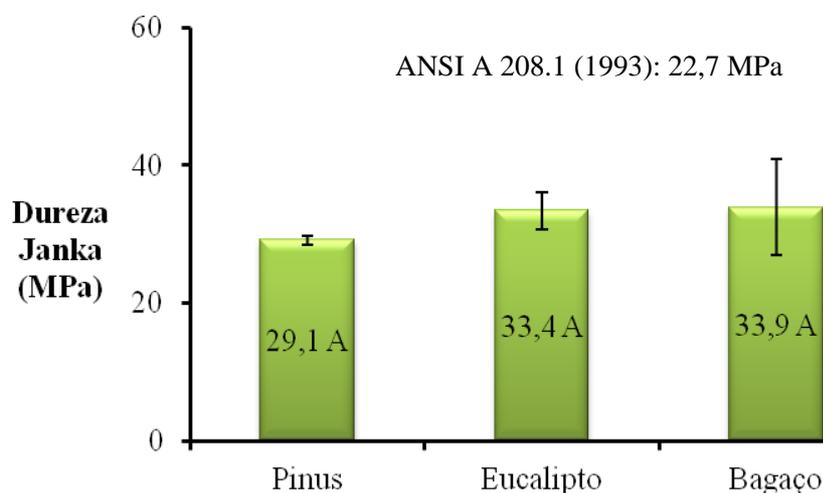


Figura 28 Valores médios de dureza *janka* em MPa  
Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância.

Observa-se que não houve diferença estatística entre os tratamentos. No entanto, verificou-se maiores valores médios para os tratamentos eucalipto e bagaço. O caso do eucalipto pode estar associado a fatores anatômicos, tais como maior fração parede, enquanto que, no caso do bagaço, o maior valor médio obtido pode estar associado a maior razão de compactação dos painéis, conforme relatado em estudo realizado por Mendoza (2010).

Biancheet al. (2012), ao avaliarem a qualidade de painéis aglomerados produzidos com as madeiras de *Eucalyptus urophylla* e *Schizolobium amazonicum* em associação com as fibras de vassoura (*Sida* spp.) e adesivo ureia-formaldeído nos teores de 6 e 8%, obtiveram valores de dureza *janka* variando entre 34,1 a 50,5 MPa.

Milagres et al. (2006) determinaram as propriedades de painéis fabricados com 8% de adesivo ureia-formaldeído e com a mistura de partículas de *Eucalyptus grandis*, polietileno de alta densidade, polietileno de baixa densidade e polipropileno. Nos painéis constituídos apenas de madeira, o valor médio de dureza *janka* encontrado foi de 49,6MPa.

A norma de comercialização ANSI A280-1 (ANSI, 1993) estabelece o valor mínimo de 22,7MPa para painéis aglomerados.

Nesse contexto, os valores médios obtidos neste estudo para os três tipos de painéis apresentaram valores médios inferiores aos encontrados na literatura, no entanto atenderam a norma de comercialização.

#### **4.3.5 Flexão dinâmica**

Na Figura 29 estão estipulados os valores médios encontrados para o ensaio de flexão dinâmica.

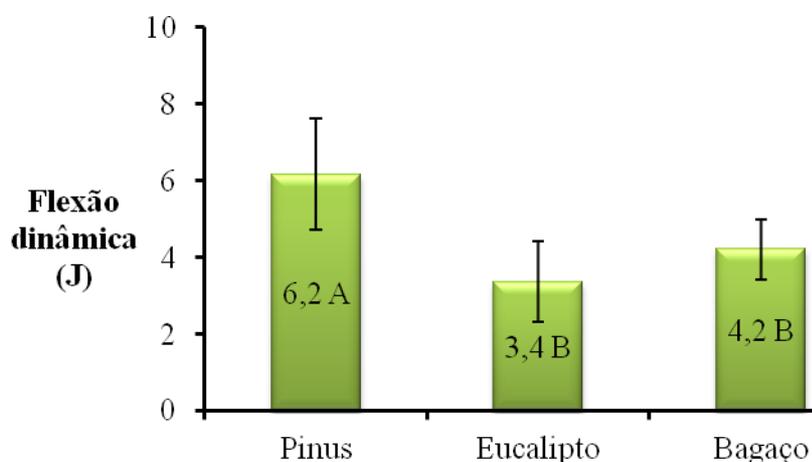


Figura 29 Valores médios de flexão dinâmica em J  
Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância.

Conforme pode ser observado, os painéis de pinus diferenciaram estatisticamente dos outros dois tratamentos, apresentando o maior valor médio. Não houve diferença estatística entre os painéis de eucalipto e bagaço.

Rauber (2011) avaliou o desempenho de painéis aglomerados confeccionados com diferentes proporções de madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e sólidos granulares de poliuretano utilizando como agente aglomerante um pré-polímero de poli-isocianatomodificado e, encontrou valor médio de 12,2 J para os painéis produzidos apenas com madeira e 46,7 J para os painéis confeccionados com 45% de sólidos granulares de poliuretano e 55% de madeira. Em comparação com os valores encontrados neste trabalho, os três tipos de painéis comerciais apresentaram valores médios inferiores.

#### 4.3.6 Arrancamento de parafuso – topo e superfície

Os valores médios para o ensaio de arrancamento de parafuso de topo e de superfície podem ser visualizados nas Figuras 30 e 31.

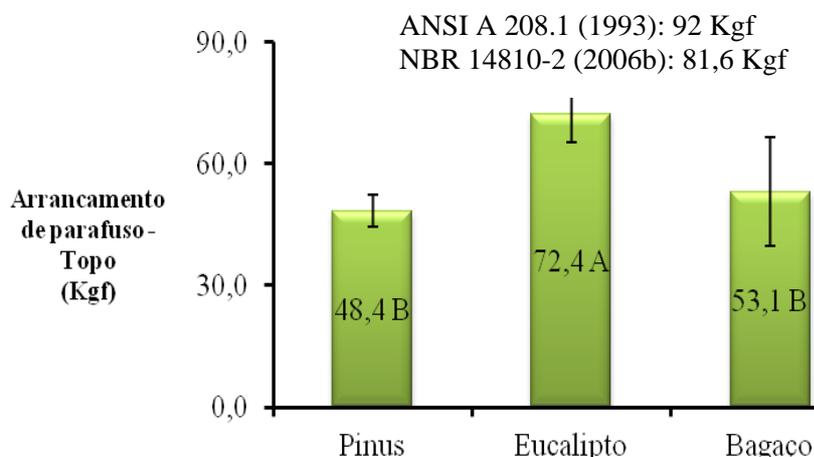


Figura 30 Valores médios de arrancamento de parafuso – topo em Kgf  
Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância.

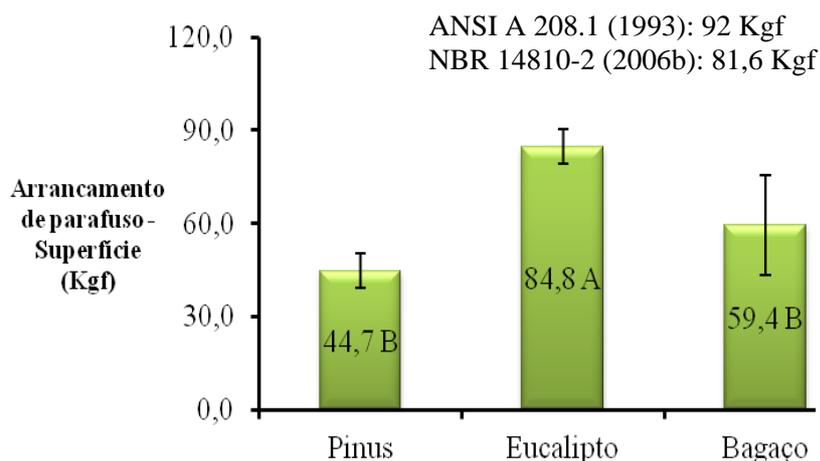


Figura 31 Valores médios de arrancamento de parafuso – superfície em Kgf  
Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância.

Observou-se para a resistência ao arrancamento de parafuso de topo e superfície que os painéis de pinus e bagaço foram estatisticamente iguais, enquanto que os painéis industriais de eucalipto apresentaram diferença estatística em relação a esses dois tratamentos, obtendo o maior valor médio.

De forma geral, pode-se observar que os valores médios obtidos para o arrancamento de parafuso na superfície dos painéis se apresentaram superiores aos obtidos para o arrancamento de parafuso no topo. Fato que

pode ser explicado pela menor densificação das partículas no miolo do painel e também devido às partículas das faces dos painéis apresentarem menores dimensões, o que promove maior compactação das mesmas, e ainda pela formação do gradiente de densidade obtido na prensagem dos painéis, que será discutida no decorrer desses resultados.

Iwakiri et al. (2012) avaliaram a qualidade de painéis aglomerados homogêneos e multicamadas produzidos com madeira de *Meliaazedarach* e *Pinus taeda* com 6, 8 e 10% de adesivo ureia-formaldeído. Nos painéis multicamadas foram observados valores médios entre 103,2 a 182,6 Kgf para o arrancamento de parafuso na superfície, e entre 75,4 a 174,2 Kgf para o arrancamento de parafuso no topo.

Weber (2011) avaliou o potencial de uso de resíduos originados da produção de painéis compensados, MDF e MDP para fabricação de painéis aglomerados com adesivo ureia-formaldeído nos teores de 6 e 10%, e observou valores médios para arrancamento de parafuso na superfície variando entre 73,2 a 117,7 Kgf e para o arrancamento de topo variando entre 58,0 a 132,0 Kgf.

Silva et al. (2012), avaliando o arrancamento de parafuso em painéis aglomerados de bagaço de cana produzidos em associação (25, 50 e 75%) com a madeira de eucalipto e com teores de 6, 9 e 12% de adesivo ureia-formaldeído, encontraram valores médios variando entre 32 a 110 Kgf para o arrancamento de parafuso na superfície e entre 25 a 78 Kgf para o arrancamento de parafuso no topo.

Em comparação com as normas de comercialização, nenhum dos tratamentos se adequou ao valor estipulado pela norma ANSI A208.1 (ANSI, 1993), que estabelece mínimo de 92 Kgf. Enquanto que em comparação com a norma ABNT NBR 14810-2 (ABNT, 2006b), que estipula o valor de 81,6 Kgf, apenas os painéis de eucalipto conseguiram atender.

### 4.3.7 Fadiga

Os valores médios e a variação encontrados para módulo de elasticidade (MOE) e para o módulo de ruptura (MOR) à flexão estática após a realização de ciclos de fadiga podem ser visualizados nas Tabelas 3 e 4.

Tabela 3 Variação do módulo de elasticidade à flexão estática após ensaio de fadiga

Tratamento	MOE	MOE fadiga	$\Delta$
	(MPa)	(MPa)	(%)
Pinus	2450,4 (27,82) Ba	1931,6 (158,70) Bb	- 21,2 A
Eucalipto	2869,2 (49,34) Aa	2383,5 (105,67) Ab	- 16,9 A
Bagaço	2294,6 (153,08) Ba	1669,8 (266,32) Bb	- 27,2 A

Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância. Dentro dos parenteses encontra-se o desvio padrão positivo.

Tabela 4 Variação do módulo de ruptura à flexão estática após ensaio de fadiga

Tratamento	MOE	MOE fadiga	$\Delta$
	(MPa)	(MPa)	(%)
Pinus	13,6 (0,10) Ba	13,7 (0,80) Aa	0,4 A
Eucalipto	17,1 (0,26) Aa	16,3 (1,56) Aa	- 4,9 B
Bagaço	15,3 (2,31) Ba	14,4 (3,10) Aa	- 5,4 B

Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância. Dentro dos parenteses encontra-se o desvio padrão positivo.

Em comparação com os valores médios iniciais e após o ciclo de fadiga, apenas a propriedade MOE foi afetada, apresentando redução significativa nos três tipos de painéis aglomerados avaliados.

Ainda em relação a propriedade MOE, verifica-se que foi mantida a mesma tendência de diferenciação entre os tratamentos após o ciclo de fadiga, onde se verificou que os painéis de eucalipto se diferenciaram dos demais tratamentos, obtendo o maior valor médio. Não houve diferença significativa entre os painéis de pinus e bagaço de cana.

No entanto, quando verificada a variação antes e após o ciclo de fadiga, observou-se que não houve diferenciação estatística quando

comparado os três tipos de painéis, sendo essa redução obtida na ordem de 16,9 a 27,2%. Apesar de não ser verificada diferenciação estatística para os valores de MOR após o ensaio de fadiga, fato que pode ser justificado em parte com o aumento do desvio padrão (Tabela7), houve diferenciação entre a variação antes e após o ciclo de fadiga, onde observou-se diferença entre o tratamento com pinus em relação aos outros tipos de painéis, inclusive sendo observado que o tratamento com pinus não apresentou redução do valor médio. Não houve diferenciação estatística entre a variação obtida para os painéis de eucalipto e bagaço de cana.

Del Menezzi et al. (2011) avaliaram o efeito fadiga por meio de diferentes ciclos de carregamento na deformação e nas propriedades de flexão estática de painéis comerciais MDF de *Pinus* sp. E *MDP* de *Eucalyptus* sp. Nos painéis *MDP* foi encontrado o valor médio para o MOE de 2431 MPa para os painéis sem ensaio ciclo, 2360MPa para 20.000 ciclos, 2521MPa para 40.000 ciclos e 2540MPa para 80.000 ciclos. Na avaliação do MOR os painéis *MDP* comerciais obtiveram valor médio de 15,2 MPa para os painéis sem ensaio ciclico, 14,8MPa para 20.000 ciclos, 16,4MPa para 40.000 ciclos e 15,8MPa para 80.000 ciclos. Em ambas as propriedades os autores não observaram efeito significativo dos ciclos de fadiga.

#### **4.3.8 Fluência**

A Figura 32 ilustra as médias das deformações sofridas pelos corpos de prova de todos os tratamentos para o ensaio de fluência.

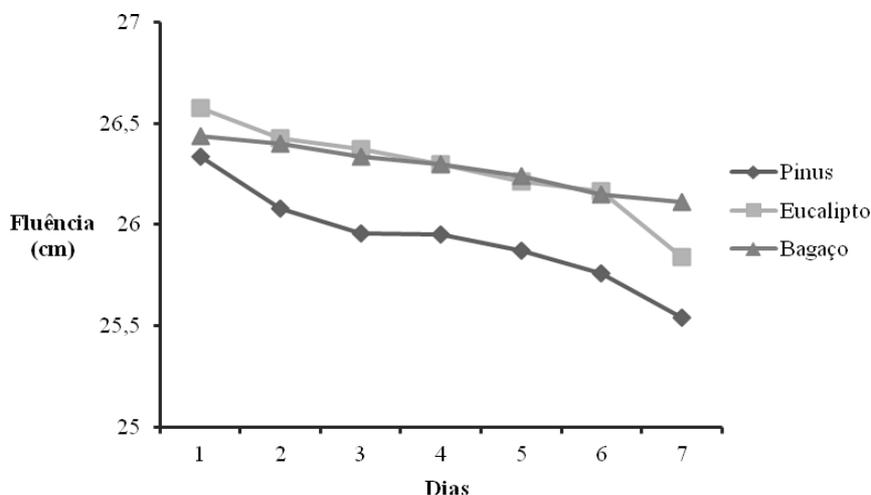


Figura 32 Valores de deformação em função dos dias

Para os painéis de pinus é possível observar que entre o primeiro e o segundo dia há uma deformação acentuada, diminuído do segundo para o terceiro dia e, apresentando uma estabilidade do terceiro para o quarto dia. Porém, após o quarto dia, a deformação acentuada pode ser novamente observada, sendo superior do sexto para o sétimo dia.

Nos painéis de eucalipto, a deformação do primeiro para o segundo dia é inferior a encontrada nos painéis de pinus. Os painéis continuam sofrendo deformação contínua do segundo ao quinto dia, sendo que do quinto ao sexto dia, nota-se que ocorre uma estabilidade nos painéis, apresentando um brusca deformação do sexto para o sétimo dia.

Em contrapartida, os painéis de bagaço mostraram-se mais estáveis em relação aos outros tratamentos. Esses painéis mantiveram uma razoável deformação do primeiro ao sétimo dia.

De forma geral, os painéis de eucalipto e bagaço se mostraram mais estáveis que os painéis de pinus, enquanto que em comparação entre o eucalipto e o bagaço, houve um certo destaque para os painéis produzidos com bagaço de cana. Esse resultado demonstra grande potencial para utilização dos painéis de bagaço na produção de móveis, e pode ser explicado em função da maior razão de compactação, visto que esses painéis

apresentam um maior número de partículas compactadas, o que dificulta a sua deformação com a aplicação de carga de forma contínua.

No entanto, quando observada a variação da deformação após a retirada das cargas (Tabela 5), nota-se que todos os tratamentos foram estatisticamente iguais.

Tabela 5 Variação da deformação do corpo de prova antes da aplicação da carga e uma semana após a aplicação da carga

Tratamento	Antes da carga	Sem carga - após 1 semana	$\Delta$
	(cm)	(cm)	(%)
Pinus	29,5	28,0	-1,5 A
Eucalipto	29,2	27,9	-1,3 A
Bagaço	29,5	28,4	-1,1 A

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância.

Como também observado na Figura 32, os painéis de pinus apresentaram a maior variação, seguidos dos painéis de eucalipto e, por último dos painéis de bagaço, que apresentaram a menor variação no tempo decorrido de uma semana, sendo estes os mais indicados para confecção de prateleiras, tampos de mesas, homes, etc.

#### 4.3.9 MOE dinâmico - *Stress Wave Timer*

Nas Figuras 33, 34 e 35 estão demonstradas as correlações entre o MOE e o MOEd para os painéis de pinus.

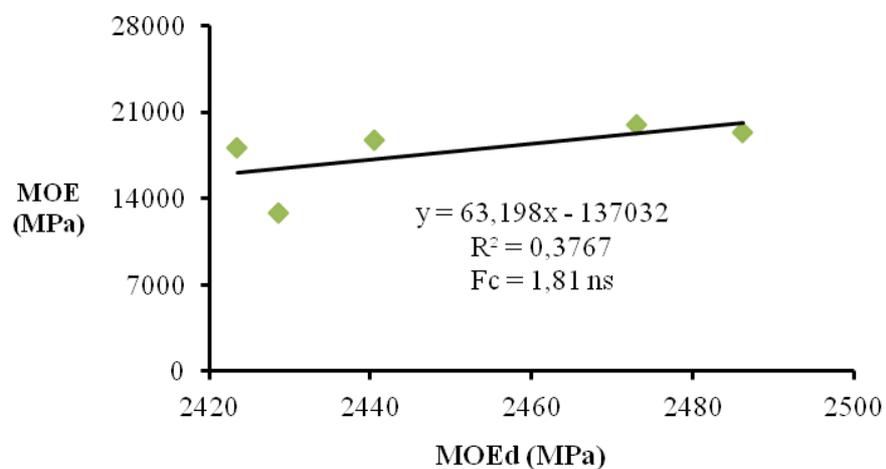


Figura 33 Correlação entre o MOE e o MOEd na largura dos painéis de pinus  
ns: regressão não significativa a 5% de significância

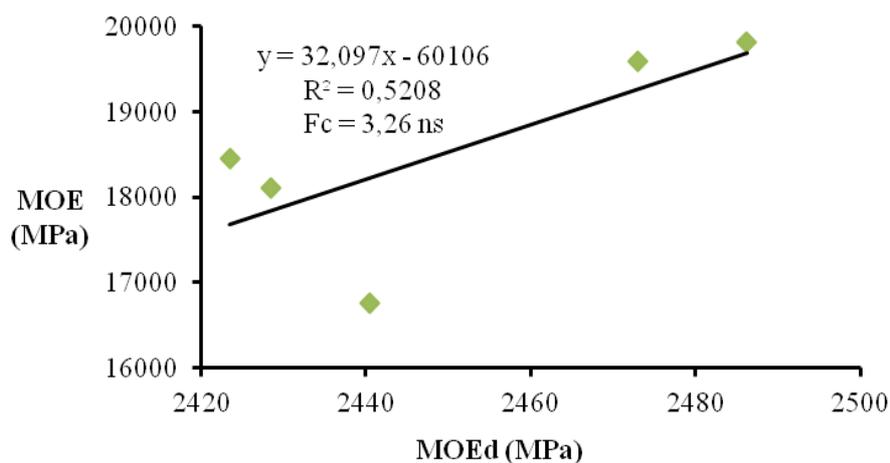


Figura 34 Correlação entre o MOE e o MOEd no comprimento dos painéis de pinus  
ns: regressão não significativa a 5% de significância

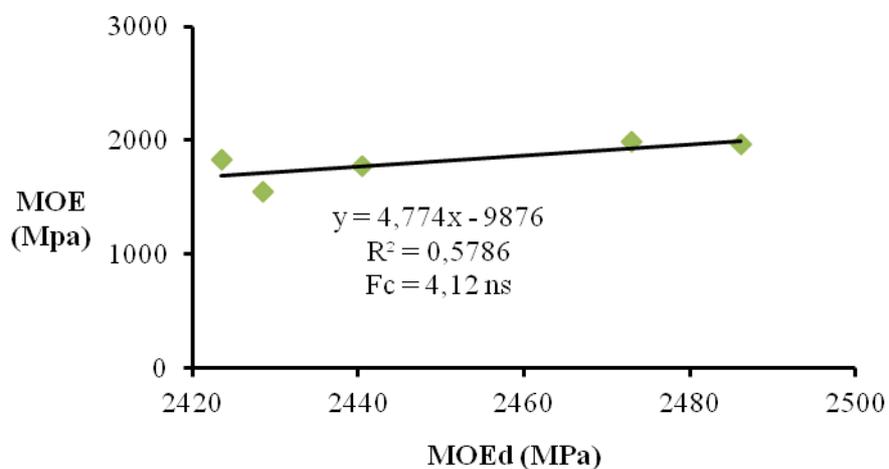


Figura 35 Correlação entre o MOE e o MOEd médio dos painéis de pinus  
 ns: regressão não significativa a 5% de significância

Nas Figuras 36, 37 e 38 estão demonstradas as correlações entre o MOE e o MOEd para os painéis de eucalipto.

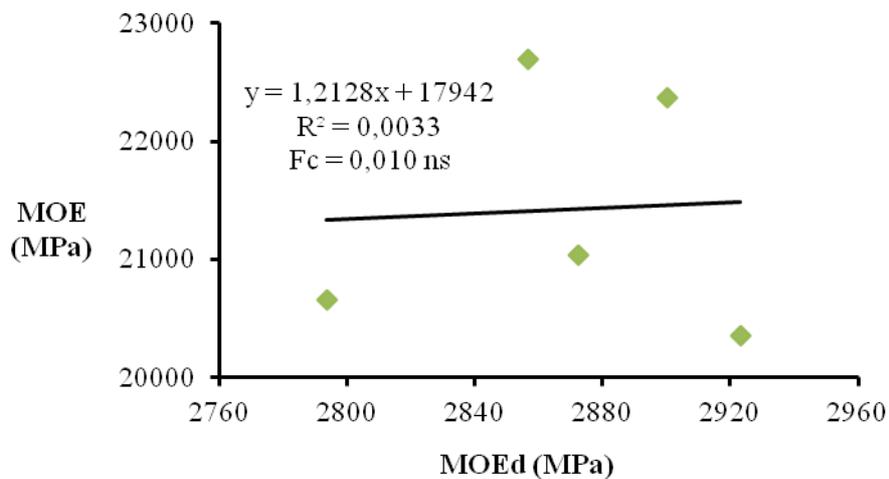


Figura 36 Correlação entre o MOE e o MOEd na largura dos painéis de eucalipto  
 ns: regressão não significativa a 5% de significância

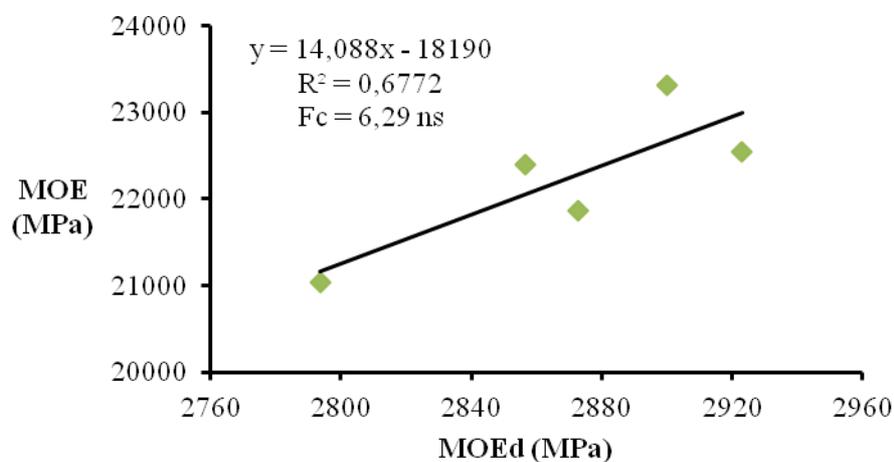


Figura 37 Correlação entre o MOE e o MOEd no comprimento dos painéis de eucalipto  
ns: regressão não significativa a 5% de significância.

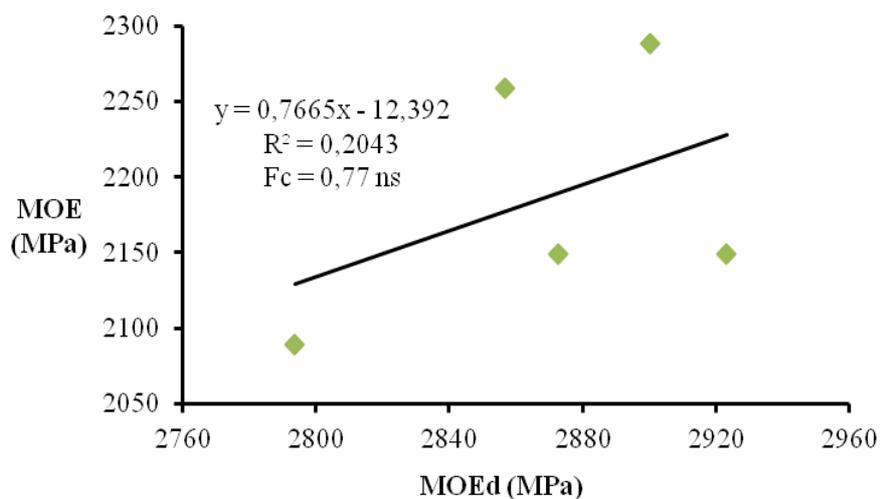


Figura 38 Correlação entre o MOE e o MOEd médio dos painéis de eucalipto  
ns: regressão não significativa a 5% de significância

Nas Figuras 39, 40 e 41 estão demonstradas as correlações entre o MOE e o MOEd para os painéis de bagaço.

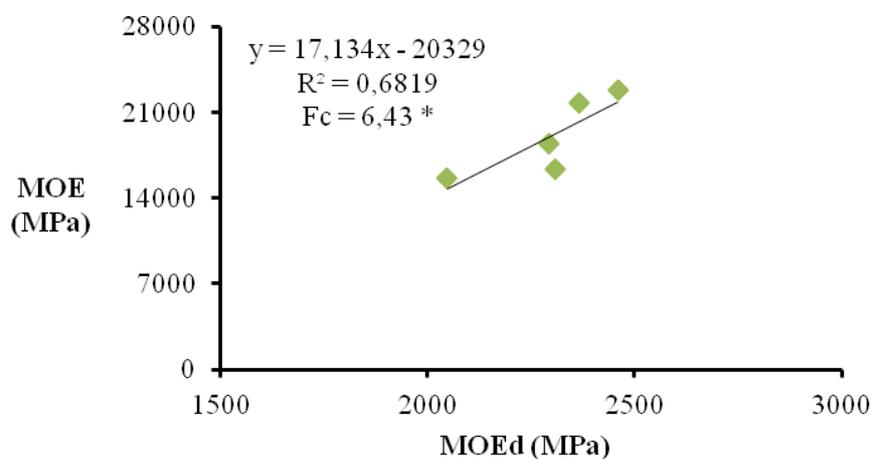


Figura 39 Correlação entre o MOE e o MOEd na largura dos painéis de bagaço

\* regressão significativa a 5% de significância

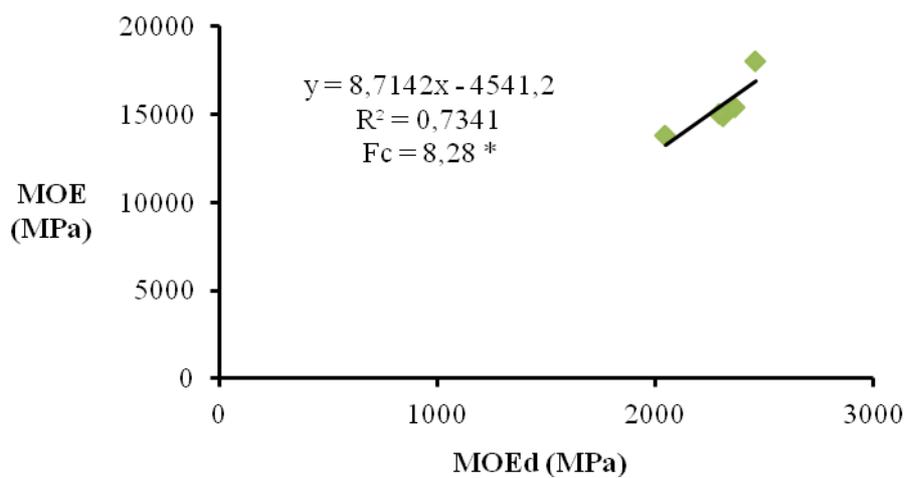


Figura 40 Correlação entre o MOE e o MOEd no comprimento dos painéis de bagaço

\* regressão significativa a 5% de significância

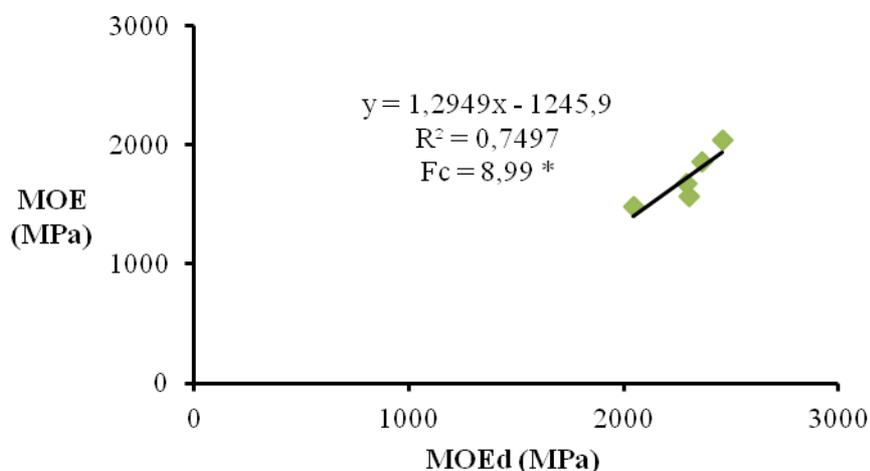


Figura 41 Correlação entre o MOE e o MOEd médio dos painéis de bagaço  
\* regressão significativa a 5% de significância

Apenas os painéis de bagaço de cana apresentaram relação significativa entre o MOE obtido pelo ensaio de flexão estática e o obtido pelo método não destrutivo *Stress Wave Timer*.

Tal fato pode estar associado à menor densidade básica do bagaço de cana em relação às madeiras de eucalipto e pinus, o que permite assim uma maior compactação das partículas e, conseqüentemente, a diminuição dos espaços vazios entre elas, possibilitando uma melhor propagação da onda emitida pelo equipamento, e assim uma melhor correlação entre as propriedades MOEd e MOE.

Essa relação também foi observada por Vun, Wu e Monlezun (2004), os quais avaliando diferentes variáveis de produção de painéis aglomerados de bagaço de cana e painéis com a madeira da espécie *Juniperus virginiana*, obtiveram coeficiente de determinação ( $R^2$ ) entre o MOEd (obtido por ultrassom) e o MOE (obtido por ensaio destrutivo) na faixa de 0,72 a 0,88 para os painéis de bagaço de cana e  $R^2$  na faixa de 0,50 a 0,75 para os painéis de *Juniperus virginiana*.

Mendes et al. (2012a), avaliando o efeito de algumas variáveis de produção de painéis aglomerados sobre a relação entre o módulo de elasticidade dinâmico obtido por método não destrutivo (*SWT*) com o

módulo de elasticidade obtido por flexão estática, verificaram que a matéria-prima é o fator que exerce maior influência na relação, obtendo  $R^2$  de 0,976 para os painéis de bagaço de cana e  $R^2$  de 0,5936 para os painéis de eucalipto.

Sendo assim, observa-se que o método não destrutivo *SWT* pode ser utilizado para predição do MOE dos painéis de bagaço de cana, tornando-se uma ferramenta prática para a avaliação dos painéis antes da sua utilização na produção de móveis.

Em uma análise geral de todos os ensaios mecânicos observa-se que os painéis aglomerados de bagaço de cana, somente nas propriedades de ligação interna e MOE e MOR à compressão paralela apresentaram valor médio inferior quando comparado aos painéis de pinus e eucalipto. Entretanto, para as outras propriedades, esses painéis demonstraram desempenho igual aos painéis de pinus e/ou eucalipto. Inclusive obtendo melhores correlações na análise do MOE dinâmico obtido por *stress wave timer*.

Para a produção do mobiliário, após a caracterização mecânica realizada, os painéis aglomerados de bagaço de cana apresentaram-se viáveis e podem ser utilizados no processo produtivo dos mesmos, estando de acordo com as características encontradas nos painéis comerciais já utilizados.

#### **4.4 Caracterização química**

Para a caracterização química dos painéis de pinus, eucalipto e bagaço de cana foi procedido o ensaio para determinar a emissão de formaldeído.

##### **4.4.1 Emissão de formaldeído**

Na Figura 42 é possível observar o teor de formol obtido para os diferentes tratamentos.

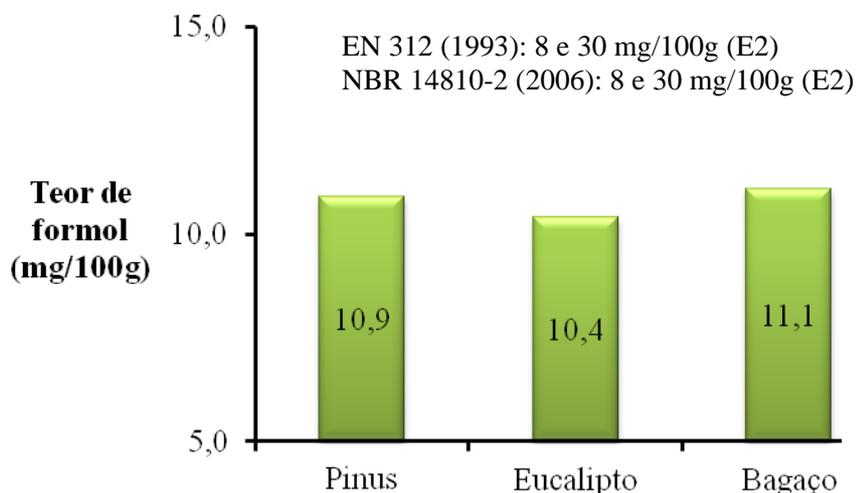


Figura 42 Valores médios para teor de formol

Observando os teores de formol presentes nos tratamentos analisados, nota-se que os painéis de bagaço apresentaram valor médio próximo dos obtidos pelos painéis de pinus e eucalipto.

Que et al. (2007), avaliando diferentes tipos de adesivos, razão molar, aditivos, teor de adesivo e temperatura da prensagem sobre a emissão de formaldeído de painéis aglomerados, obtiveram valores médios variando de 6,8 a 24,2 mg/100g.

Baharoglu et al. (2012) estudando a produção de painéis aglomerados com a madeira de *Alnus glutinosa* (L.) Gaerth, densidade nominal de 0,70 g/cm<sup>3</sup> e adesivo ureia-formaldeído nos teores de 9 e 11% obtiveram valores médios variando entre 10,0 a 15,9 mg/100g.

Salem et al. (2012) mediram a emissão de formaldeído em diferentes tipos de painéis de madeira usando métodos de ensaio distintos. Nos painéis de madeira não revestidos, utilizando o método perforador proposto pela norma EN 120 (EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION,

1993a), foram encontrados valores para emissão de formaldeído de 5,1 mg/100g nos painéis de 10mm e 11,6mg/100g nos painéis de 25mm.

Os três diferentes tipos de painéis avaliados neste trabalho apresentaram valores médios de emissão de formaldeído coerentes com os encontrados na literatura. Em comparação com as normas NBR 14810-2 (ABNT, 2006b) e EN 312 (EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION, 1993b), ambos os tratamentos foram classificados como E2, que se refere aos painéis com emissão de formaldeído entre 8 e 30 mg/100g.

Nesse sentido, os painéis aglomerados de bagaço de cana podem ser adicionados ao processo produtivo dos móveis, apresentando valores de emissão de formaldeído coerentes com os valores obtidos para os painéis de pinus e eucalipto comumente utilizados e estando em conformidade com as normas de comercialização.

#### **4.5 Caracterização de superfície**

Para a caracterização de superfície dos painéis de pinus, eucalipto e bagaço de cana foram determinados a rugosidade, ângulo de contato e absorção de superfície.

##### **4.5.1 Rugosidade**

Na Figura 43, observa-se os valores médios de Ra obtidos para todos os tratamentos.

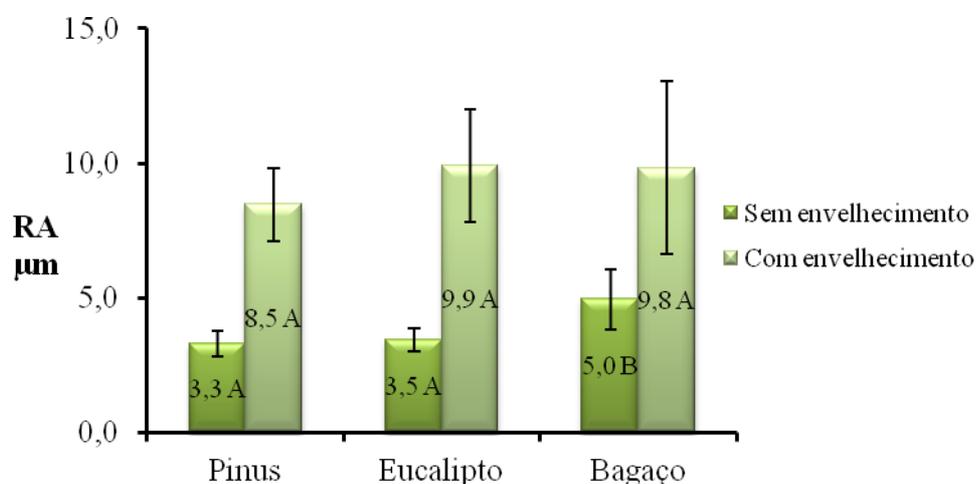


Figura 43 Valores médios de Ra ( $\mu\text{m}$ )

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

O bagaço de cana apresentou o maior valor médio de Ra, diferenciando-se estatisticamente dos demais tratamentos. Não houve variação significativa entre os painéis de pinus e eucalipto. Esse maior valor de rugosidade dos painéis de bagaço de cana pode estar associado à granulometria diferente das partículas nas faces dos painéis (Figura 12), assim como também a própria característica do material utilizado.

Rolleri e Roffael (2010) avaliaram a influência de diferentes matérias-primas e adesivos na rugosidade da superfície de painéis aglomerados. Nos painéis utilizando partículas recicláveis e adesivo ureia-formaldeído, o valor de Ra obtido foi de 11,2  $\mu\text{m}$ . Já nos painéis utilizando partículas novas e adesivo ureia-formaldeído o valor de Ra encontrado foi de 5,2  $\mu\text{m}$ .

Baharogluet al. (2012) estudando a produção de painéis aglomerados com a madeira de *Alnus glutinosa* (L.) Gaerth, densidade nominal de 0,70  $\text{g}/\text{cm}^3$  e adesivo ureia-formaldeído nos teores de 9 e 11% obtiveram valores médios de Ra variando entre 3,2 a 9,6  $\mu\text{m}$ .

Tabarsa, Ashorie Gholamzadeh (2011) avaliando a rugosidade de painéis aglomerados produzidos com bagaço de cana com adesivo ureia-

formaldeído nos teores de 12% na face e 9% no miolo encontraram valores médios variando entre 10 e 25  $\mu\text{m}$ .

Sendo assim, apesar do valor obtido para o bagaço de cana se mostrar superior aos demais tratamentos, ele se apresentou abaixo dos valores médios encontrados na literatura.

No entanto, quando avaliado a rugosidade dos painéis após envelhecimento natural, apesar de ser observado aumento significativo do Ra para os três tipos de painéis, não foi observado diferença estatística entre os tratamentos. Fato que demonstra menor variação da rugosidade do painel de bagaço de cana com o envelhecimento dos painéis (Tabela 6), o que é um resultado interessante para utilização desses tipos de painéis na produção de móveis, e que em parte pode estar associado a maior razão de compactação dos painéis produzidos com bagaço de cana.

Tabela 6 Variação da rugosidade dos tratamentos antes e após o envelhecimento natural

Tratamento	Rugosidade sem env.	Rugosidade com env.	$\Delta$
	( $\mu\text{m}$ )	( $\mu\text{m}$ )	(%)
Pinus	3,3 a	8,5 b	156,6 B
Eucalipto	3,4 a	9,9 b	187,3 B
Bagaço	4,9 a	9,8 b	98,5 A

Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância.

#### 4.5.2 Ângulo de contato

Nas Figuras 44, 45 e 46 encontra-se a medição dos ângulos de contato em função do tempo, utilizando água, ácido oleico e etileno glicol, respectivamente.

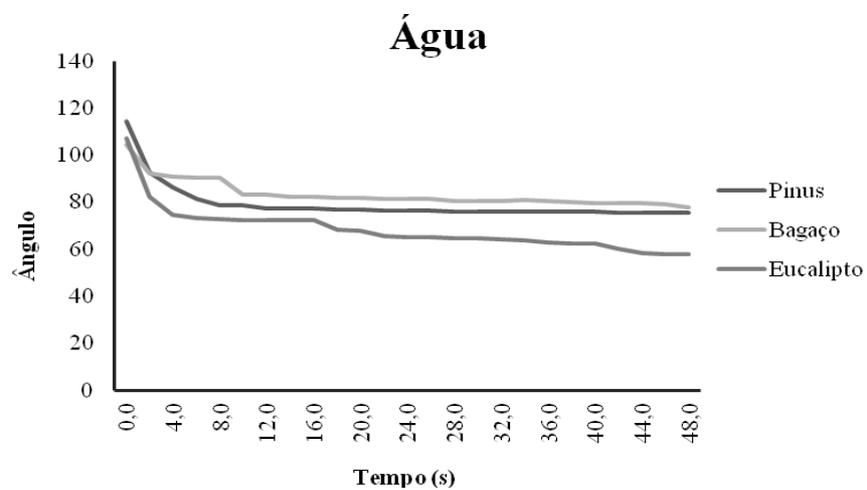


Figura 44 Variação do ângulo de contato em função do tempo

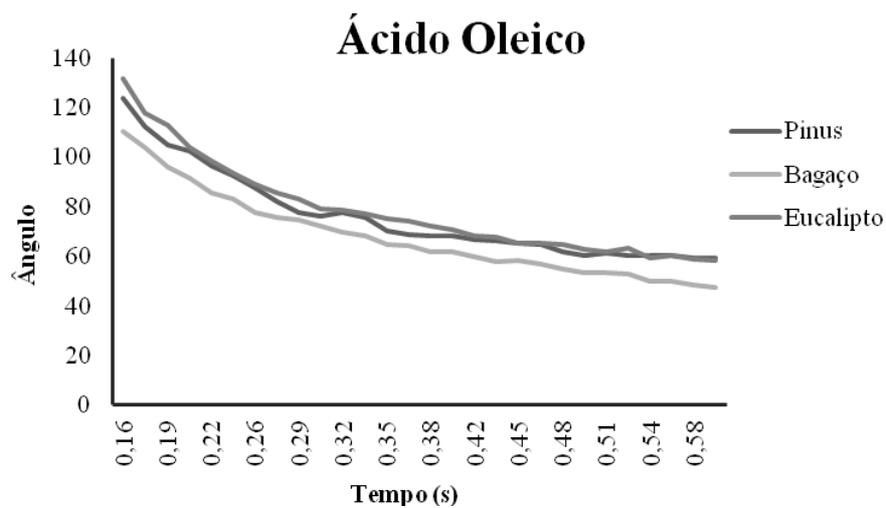


Figura 45 Variação do ângulo de contato em função do tempo

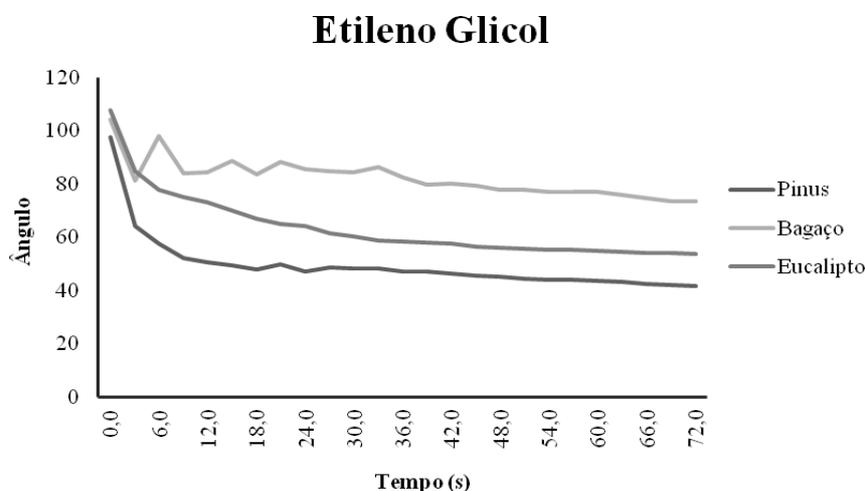


Figura 46 Variação do ângulo de contato em função do tempo

Em ambos os líquidos, pode-se observar certo padrão de variação do ângulo de contato em função do tempo (Figura 44, 45 e 46), sendo ainda observado que o ângulo inicial apresentou-se próximos nos três tipos de painéis nos três líquidos utilizados (Tabela 7).

Tabela 7 Valores médios do ângulo de contato para cada líquido e tipo de painel

Líquido	Pinus	Eucalipto	Bagaço
	Ângulo de contato (°)		
Água	114,42	107,19	104,42
Ácido Oleico	123,74	131,79	110,66
Etileno Glicol	97,59	107,55	104,25

Observa-se ainda, confrontando esses dados das Figuras 44, 45 e 46 com o perfil de densidade (Tabela 13) e a rugosidade do painel (Figura 43), que não existe uma correlação clara entre essas propriedades. No entanto, quando comparado com os valores iniciais logo após a deposição da gota (Tabela 7), observa-se relação direta entre o ângulo de contato da água com a rugosidade, onde os painéis de pinus com menor rugosidade apresentaram o maior ângulo de contato, seguidos pelos painéis de eucalipto e bagaço. Tendo ainda, relação direta com a propriedade absorção de superfície

(Figura 47), onde foi observado para os painéis de pinus o maior comprimento percorrido pela gota.

Contudo, quando avaliado o ângulo de contato obtido pelos líquidos ácido oleico e etileno glicol, os maiores valores iniciais foram obtidos para os painéis de eucalipto, passando a não ter relação nem com o perfil de densidade (Tabela 13) e nem com a rugosidade dos painéis (Figura 43). O que pode ser explicado pela interação da constituição do painel, diferença entre aplicação de repelente a água, do tipo de material e da sua constituição química com as diferentes polaridades dos líquidos, sendo o ácido oleico um líquido mais apolar e o etileno glicol com polaridade intermediária entre a água e o ácido oleico. Essa associação das variáveis de produção com a polaridade dos líquidos pode explicar também a maior amplitude observada na Figura 46, onde observou-se maior estabilidade para os painéis de bagaço de cana.

Sendo assim, mais estudos nesse sentido se mostram necessários para verificar tais interações, permitindo dar uma base para o setor moveleiro quanto ao comportamento dos painéis quando submetidos ao contato com diferentes tipos de líquidos.

Baharoglu et al. (2012), estudando a produção de painéis aglomerados com a madeira de *Alnus glutinosa* (L.) Gaerth, densidade nominal de 0,70 g/cm<sup>3</sup> e adesivo ureia-formaldeído nos teores de 9 e 11% obtiveram valores médios de ângulo de contato, com gota de água, variando entre 83,20 a 115,89°.

Boquillon, Elbeze e Shonfeld (2004) avaliando o ângulo de contato de painéis aglomerados produzidos com palha de trigo, densidade de 0,70 g/cm<sup>3</sup> e adesivo ureia-formaldeído, obtiveram valor médio de 90° para a água e 62° para o di-iodometano.

De forma geral, os dados de ângulo de contato obtidos na literatura com gotas de água se mostraram próximos aos obtidos neste estudo para os três tipos de painéis.

### 4.5.3 Absorção de superfície

Os valores médios da distância percorrida pela gota (mm) podem ser observados na Figura 47.

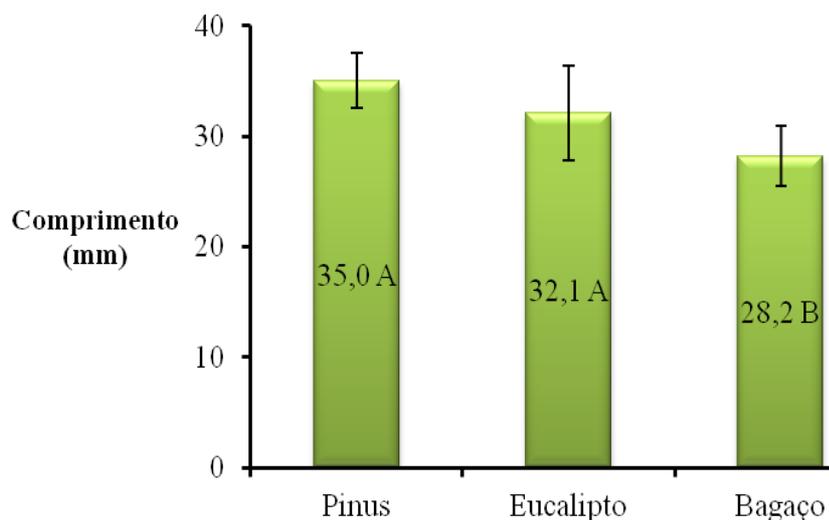


Figura 47 Valores médios para distância percorrida pela gota  
Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Analisando a Figura 47, nota-se que somente os painéis de bagaço diferiram estatisticamente dos demais tratamentos, apresentando valor médio inferior para a distância da gota. Esse menor valor pode ser explicado pela superfície rugosa desses painéis, conforme observado na Figura 43 e também na MEV da superfície dos painéis (Figura 12). Estando esse valor associado também aos maiores valores médios obtidos para os painéis de bagaço de cana na AA2h e AA24h (Figura 21).

Sá et al. (2010), ao avaliarem a absorção superficial de painéis compensados produzidos com diferentes temperaturas de prensagem e com as madeiras de eucalipto e pinus, obtiveram valores médios da distância percorrida pela gota variando entre 29,3 a 39,9 mm. Esses valores são próximos dos obtidos neste estudo para os três tipos de painéis.

De forma geral, os painéis aglomerados de bagaço de cana apresentaram valor médio de rugosidade superior quando comparados aos

valores médios obtidos para os painéis de pinus e eucalipto, o que influenciou as propriedades de ângulo de contato e absorção de superfície. Entretanto, em se tratando de acabamento dos painéis para a produção dos móveis, esse aspecto rugoso pode vir a interferir positivamente na colagem das lâminas para acabamento, favorecendo a aderência entre lâmina e adesivo.

#### 4.6 Durabilidade

Para determinar a durabilidade dos painéis foi realizado o ensaio de envelhecimento natural.

##### 4.6.1 Envelhecimento natural

Na Tabela 8, observa-se a variação (%) dos valores médios de ligação interna antes e após o envelhecimento natural (env.) para todos os tratamentos.

Tabela 8 Variação dos valores médios de ligação interna antes e após o envelhecimento natural

Tratamento	Ligação Interna	Ligação Interna env.	$\Delta$
	(MPa)	(MPa)	(%)
Pinus	0,47 Aa	0,34 Ab	- 27,6 A
Eucalipto	0,40 Aa	0,21 Bb	- 47,5 B
Bagaço	0,26 Ba	0,23 Ba	- 11,5 A

Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância.

Observa-se que apenas os painéis de bagaço de cana não apresentaram redução significativa para a ligação interna após o envelhecimento natural dos painéis, permitindo assim, a igualdade estatística com os painéis de eucalipto após o envelhecimento. Os painéis de pinus apresentaram o maior valor médio de ligação interna após o envelhecimento, diferenciando-se estatisticamente dos demais tratamentos.

Quando avaliada a variação por cada tipo de painel, observa-se que os painéis de bagaço e de pinus foram os que obtiveram as menores reduções dos valores médios, apresentando igualdade estatística entre si e diferindo estatisticamente dos painéis com eucalipto.

As variações (%) dos valores médios de MOE e MOR à flexão estática antes e após o envelhecimento natural podem ser observadas nas Tabelas 9 e 10.

Tabela 9 Variação dos valores médios de MOE à flexão estática antes e após o envelhecimento natural

<b>Tratamento</b>	<b>MOE</b> (MPa)	<b>MOE env.</b> (MPa)	<b><math>\Delta</math></b> (%)
Pinus	2450,4 Ba	1968,8 Ab	- 19,7 A
Eucalipto	2869,2 Aa	1744,4 Bb	- 39,2 B
Bagaço	2294,6 Ba	1477,7 Cb	- 35,6 B

Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância.

Tabela 10 Variação dos valores médios de MOR à flexão estática antes e após o envelhecimento natural

<b>Tratamento</b>	<b>MOE</b> (MPa)	<b>MOE env.</b> (MPa)	<b><math>\Delta</math></b> (%)
Pinus	13,6 Ba	10,4 Ab	- 23,8 A
Eucalipto	17,1 Aa	10,9 Ab	- 36,0 B
Bagaço	15,3 Ba	10,4 Ab	- 31,7 B

Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância.

Na avaliação do MOE e MOR à flexão, os três tipos de painéis apresentaram redução significativa em ambas as propriedades. Sendo que os painéis de bagaço e eucalipto apresentaram os maiores valores médios de redução, diferenciando-se estatisticamente dos painéis de pinus, os quais mostraram uma durabilidade superior.

Ainda em relação ao MOE, todos os tratamentos, após o ciclo de envelhecimento, diferenciaram-se estatisticamente, sendo o maior valor

médio obtido para os painéis de pinus. Os painéis de bagaço de cana apresentaram o menor valor médio para essa propriedade.

No entanto, quando avaliado o MOR após o envelhecimento, não foi observada diferença significativa entre os tratamentos, visto que apesar de uma redução maior dos painéis de eucalipto e bagaço de cana em relação ao pinus, eles apresentavam valores médios superiores nessa propriedade.

O motivo da redução das propriedades mecânicas dos painéis está associado ao aumento da espessura dos painéis após a etapa de envelhecimento, conforme comprovado na Tabela 11. Os maiores valores médios foram observados para os painéis de eucalipto e bagaço de cana, os quais foram iguais estatisticamente.

Tal inchamento é proporcionado pelo contato com a água da chuva e com a umidade do ambiente. Esse aumento da espessura, observado na Tabela 11, promoveu conseqüentemente redução significativa da densidade dos painéis produzidos com bagaço de cana e eucalipto (Tabela 12), o que pode explicar boa parte da redução acentuada das propriedades mecânicas desses painéis.

Tabela 11 Variação dos valores médios de espessura antes e após o envelhecimento natural

Tratamento	Espessura	Espessura env.	$\Delta$
	(mm)	(mm)	(%)
Pinus	14,94 a	15,57 b	4,2 A
Eucalipto	15,11 a	16,78 b	11,1 B
Bagaço	14,70 a	16,26 b	10,6 B

Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Os painéis de pinus apresentaram a menor variação em espessura e, conseqüentemente não promoveu redução significativa da densidade dos painéis, o que refletiu nos painéis com menores valores de redução das propriedades mecânicas.

Tabela 12 Variação dos valores médios de densidade aparente antes e após o envelhecimento natural

<b>Tratamento</b>	<b>Densidade</b> (g/cm <sup>3</sup> )	<b>Densidade env.</b> (g/cm <sup>3</sup> )	<b>Δ</b> (%)
Pinus	0,612 a	0,600 a	- 2,0 A
Eucalipto	0,623 a	0,562 b	- 9,7 B
Bagaço	0,616 a	0,545 b	- 11,5 B

Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Garzon et al. (2012) avaliaram as propriedades mecânicas após ciclos de envelhecimento acelerado, de acordo com a norma ASTM D 1037 (ASTM, 2002), de painéis de bagaço de cana produzidos com adesivo poliuretano à base de óleo de rícino. As variações encontradas para MOE e MOR foram de -81,2 e -71,4%, respectivamente.

Norita, Kojima e Suzuki (2008) avaliando dois tipos de ciclos de envelhecimento sobre as propriedades de diferentes tipos de painéis de madeira, obtiveram para os painéis aglomerados comerciais produzidos com adesivo fenol-formaldeído valores de redução entre 47,7 a 56,0% para o MOR, entre 46,5 a 54,7% para o MOE e entre 62,1 a 80,3% para a ligação interna.

Em comparação com os dados encontrados na literatura, os três tipos de painéis encontraram menores reduções das propriedades mecânicas. No entanto, em comparação com as normas de comercialização, apenas os tratamentos com pinus continuaram a atender à norma EN 312 (EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION, 1993b) para a propriedade ligação interna, a qual estipula o valor mínimo de 0,30 MPa e também a norma ANSI 208-1 (ANSI, 1993) e EN 312 (EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION, 1993b) para a propriedade MOE, as quais estipulam os valores mínimos de 1943,8 e 1800 MPa, respectivamente. Após o envelhecimento natural, nenhum dos três tipos de painéis conseguiu atender ao mínimo estipulado para o MOR pelas normas ANSI A208-1 (ANSI, 1993) e EN 312 (EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION, 1993b), que é de 12,8 e 13,0 MPa, respectivamente.

Conforme observado, os painéis aglomerados de bagaço de cana, apesar de apresentarem uma maior variação na densidade aparente, o que influenciou negativamente os valores mecânicos após exposição ao envelhecimento, esses foram estatisticamente iguais aos painéis de eucalipto, apresentando inclusive uma menor variação na propriedade de ligação interna. Sendo assim, em comparação aos painéis comerciais já utilizados no processo produtivo dos mobiliários, os painéis aglomerados de bagaço de cana se apresentaram aptos. Contudo, verifica-se que tal tipo de situação deve ser evitada, no caso dos três tipos de painéis, visto que promove redução significativa das propriedades, fazendo com que tais painéis, em alguns casos, passem a não atender aos critérios mínimos para as propriedades mecânicas.

#### 4.7 Teste de combustibilidade

Nas Figuras 48 e 49 observa-se os valores de perda de massa dos diferentes tratamentos em função da temperatura e do tempo, respectivamente.

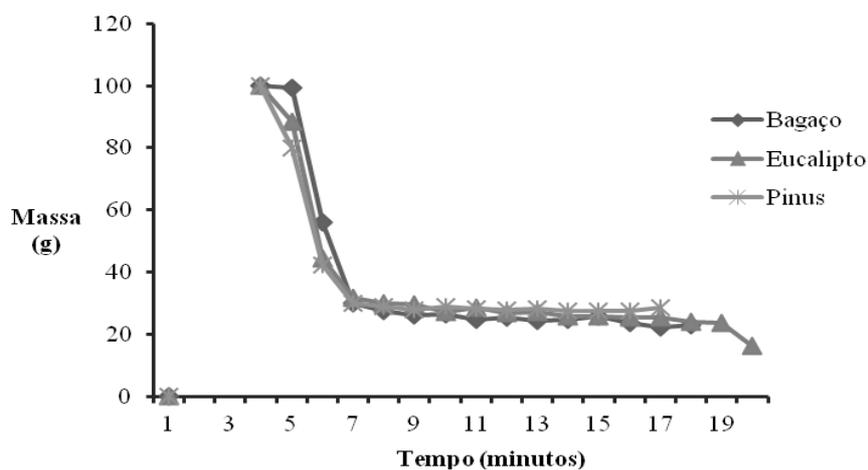


Figura 48 Perda de massa em função do tempo (min) para o teste de combustibilidade



Tabela 13 Densidade média, máxima e mínima do perfil de densidade

Tratamento	Dens. Média	Dens. Máx.	Dens. Mín.
	g/cm <sup>3</sup>		
Pinus	0,612 (0,007) B	1,028 (0,114) A	0,512 (0,512) B
Eucalipto	0,632 (0,008) AB	1,078 (0,115) A	0,539 (0,539) A
Bagaço	0,640 (0,007) A	0,999 (0,114) A	0,507 (0,507) B

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância. Dentro dos parênteses encontra-se o desvio padrão.

Observa-se que os painéis de bagaço de cana apresentaram o maior valor médio para a densidade média, diferenciando-se estatisticamente dos painéis de pinus. Não houve diferença significativa entre a densidade média obtida pelos painéis de pinus e eucalipto.

Não foi observada diferença estatística entre os três tipos de painéis para a densidade máxima.

Na avaliação da densidade mínima, os painéis de eucalipto apresentaram o maior valor médio, diferenciando-se estatisticamente dos demais tipos de painéis. Não houve diferença estatística entre a densidade mínima dos painéis de pinus e bagaço.

Nas Tabelas 14, 15 e 16 estão apresentadas as correlações de *Pearson* entre as densidades média, máxima e mínima para os painéis de pinus, eucalipto e bagaço, respectivamente.

Tabela 14 Correlação de *Pearson* para as densidades média, máxima e mínima nos painéis de pinus

Densidade	Média	Máxima	Mínima
Média	1	0,185 ns	0,266 ns
Máxima	-	1	0,912 **
Mínima	-	-	1

ns: não significativo pela correlação de *Pearson*; \*\* significativo pela correlação de *Pearson* a 1% de significância.

Tabela 15 Correlação de *Pearson* para as densidades média, máxima e mínima nos painéis de eucalipto

Densidade	Média	Máxima	Mínima
Média	1	0,194 ns	0,516 *
Máxima	-	1	0,845 **
Mínima	-	-	1

ns: não significativo pela correlação de *Pearson*; \* significativo pela correlação de *Pearson* a 5% de significância; \*\* significativo pela correlação de *Pearson* a 1% de significância.

Tabela 16 Correlação de *Pearson* para as densidades média, máxima e mínima nos painéis de bagaço

Densidade	Média	Máxima	Mínima
Média	1	0,344 ns	0,515 *
Máxima	-	1	0,904 **
Mínima	-	-	1

ns: não significativo pela correlação de *Pearson*; \* significativo pela correlação de *Pearson* a 5% de significância; \*\* significativo pela correlação de *Pearson* a 1% de significância.

Para os painéis de bagaço de cana e eucalipto foram observadas correlações significativas e positivas entre as densidades média e mínima e entre as densidades máxima e mínima. Enquanto que para os painéis de *pinus* foi observada correlação significativa apenas entre a densidade máxima e mínima.

Essa correlação significativa entre as densidades máxima e mínima é explicada em função do próprio ciclo de prensagem, o que proporciona em função da maior densificação das faces uma posterior maior densificação do miolo, isso em casos que o fechamento da prensa não se mostra tão rápido, visto que menor tempo de fechamento da prensa promove elevados valores de densidade das faces e baixos valores de densidade do miolo.

Nas Tabelas 17, 18, 19, 20, 21 e 22 estão apresentadas as correlações entre as propriedades físico-mecânicas com as densidades média, máxima e mínima dos painéis de *pinus*, eucalipto e bagaço de cana, respectivamente.

Tabela 17 Correlação entre as propriedades físicas e as densidades média, mínima e máxima dos painéis de pinus

Densidade	Propriedades físicas				
	AA2h	AA24h	IE2h	IE24h	TNRE
<b>Dens. Média</b>	-0,26 ns	-0,30 ns	-0,36 ns	-0,20 ns	-0,35 ns
<b>Dens. Mín.</b>	-0,77 **	-0,78 **	-0,60 **	-0,70 **	-0,51 *
<b>Dens. Máx.</b>	-0,83 **	-0,84 **	-0,71 **	-0,79 **	-0,59 **

ns: não significativo pela correlação de *Pearson*; \* significativo pela correlação de *Pearson* a 5% de significância; \*\* significativo pela correlação de *Pearson* a 1% de significância.

Tabela 18 Correlação entre as propriedades mecânicas e as densidades média, mínima e máxima dos painéis de pinus

Densidade	Propriedades mecânicas							
	Arrancamento de parafuso		Flexão			Compressão		
	Topo	Superfície	DJ	MOR	MOE	Lig. Interna	MOR	MOE
<b>Dens. Média</b>	0,26 ns	0,92 **	0,30 ns	0,31 ns	0,13 ns	0,27 ns	0,88 **	0,57 **
<b>Dens. Mín.</b>	0,91 **	0,37 ns	0,77 **	0,76 **	0,57 **	0,99 **	0,34 ns	0,17 ns
<b>Dens. Máx.</b>	0,81 **	0,33 ns	0,84 **	0,84 **	0,62 **	0,88 **	0,35 ns	0,22 ns

ns: não significativo pela correlação de *Pearson*; \* significativo pela correlação de *Pearson* a 5% de significância; \*\* significativo pela correlação de *Pearson* a 1% de significância.

Tabela 19 Correlação entre as propriedades físicas e as densidades média, mínima e máxima dos painéis de eucalipto

Densidade	Propriedades físicas				
	AA2h	AA24h	IE2h	IE24h	TNRE
<b>Dens. Média</b>	-0,18 ns	-0,30 ns	-0,31 ns	-0,31 ns	-0,30 ns
<b>Dens. Mín.</b>	-0,86 **	-0,88 **	-0,91 **	-0,84 **	-0,91 **
<b>Dens. Máx.</b>	-0,98 **	-0,97 **	-0,94 **	-0,93 **	-0,96 **

ns: não significativo pela correlação de *Pearson*; \* significativo pela correlação de *Pearson* a 5% de significância; \*\* significativo pela correlação de *Pearson* a 1% de significância.

Tabela 20 Correlação entre as propriedades mecânicas e as densidades média, mínima e máxima dos painéis de eucalipto

Densidade	Propriedades mecânicas							
	Arrancamento de parafuso		Flexão			Compressão		
	Topo	Superfície	DJ	MOR	MOE	Lig. Interna	MOR	MOE
<b>Dens. Média</b>	0,52 *	0,95 **	0,32 ns	0,26 ns	0,31 ns	0,51 *	0,95 **	0,99 **
<b>Dens. Mín.</b>	0,90 **	0,44 ns	0,87 **	0,87 **	0,85 **	0,95 **	0,54 *	0,54 *
<b>Dens. Máx.</b>	0,81 **	0,12 ns	0,97 **	0,96 **	0,96 **	0,87 **	0,24 ns	0,22 ns

ns: não significativo pela correlação de *Pearson*; \* significativo pela correlação de *Pearson* a 5% de significância; \*\* significativo pela correlação de *Pearson* a 1% de significância.

Tabela 21 Correlação entre as propriedades físicas e as densidades média, mínima e máxima dos painéis de bagaço

Densidade	Propriedades físicas				
	AA2h	AA24h	IE2h	IE24h	TNRE
<b>Dens. Média</b>	-0,37 ns	-0,38 ns	-0,52 *	-0,27 ns	-0,32 ns
<b>Dens. Mín.</b>	-0,94 **	-0,95 **	-0,98 **	-0,83 **	-0,86 **
<b>Dens. Máx.</b>	-0,99 **	-0,97 **	-0,89 **	-0,96 **	-0,95 **

ns: não significativo pela correlação de *Pearson*; \* significativo pela correlação de *Pearson* a 5% de significância; \*\* significativo pela correlação de *Pearson* a 1% de significância.

Tabela 22 Correlação entre as propriedades mecânicas e as densidades média, mínima e máxima dos painéis de bagaço

Densidade	Propriedades mecânicas							
	Arrancamento de parafuso		Flexão			Compressão		
	Topo	Superfície	DJ	MOR	MOE	Lig. Interna	MOR	MOE
<b>Dens. Média</b>	0,42 ns	0,97 **	0,45 *	0,46 *	0,45 *	0,40 ns	0,97 **	0,96 **
<b>Dens. Mín.</b>	0,96 **	0,48 *	0,95 **	0,98 **	0,97 **	0,96 **	0,41 ns	0,40 ns
<b>Dens. Máx.</b>	0,96 **	0,26 ns	0,97 **	0,95 **	0,96 **	0,96 **	0,23 ns	0,21 ns

ns: não significativo pela correlação de *Pearson*; \* significativo pela correlação de *Pearson* a 5% de significância; \*\* significativo pela correlação de *Pearson* a 1% de significância.

Observa-se para as propriedades físicas que, em todos os tipos de painéis, as propriedades AA2h, AA24h, IE2h, IE24h e TNRE apresentaram correlação significativa e negativa com as densidades máxima e mínima. Isso demonstra que quanto maior a densidade externa e interna do painel, menores serão os valores dessas propriedades físicas, e conseqüentemente, melhor a qualidade dos painéis.

De forma geral, os maiores valores médios de correlação foram obtidos para a densidade máxima, que se refere à densidade das faces dos painéis. Isso pode ser explicado em função de dois fatores: a) a face é a área que está em maior contato no momento da realização desses testes físicos, enquanto que a maior densidade do miolo afeta quando a água entra pelas laterais dos painéis; e b) as densidades máxima e mínima apresentam correlação significativa e positiva para os três tipos de painéis (Tabelas 14, 15 e 16).

Para o arrancamento de parafuso de topo, os painéis de pinus e bagaço apresentaram correlação significativa e positiva com as densidades máxima e mínima, enquanto que os painéis de eucalipto apresentaram correlação significativa e positiva com os três tipos de densidade. Contudo, nos três tipos de painéis avaliados, a maior correlação foi obtida com a densidade mínima, o que apresenta certa lógica, visto que os parafusos foram fixados no miolo dos painéis.

No arrancamento de parafuso de superfície, os painéis de pinus e eucalipto apresentaram correlação significativa e positiva apenas com a densidade média, enquanto que nos painéis de bagaço de cana, a correlação se mostrou significativa e também positiva com as densidades média e mínima, sendo o maior valor de correlação obtida com a densidade média. Esse fato pode ser explicado em função da fixação do parafuso no arrancamento de superfície, o qual penetra por toda a espessura do corpo de prova, sendo influenciado pela média da densidade.

Na avaliação da propriedade dureza *janka*, os painéis de pinus e eucalipto apresentaram correlação significativa e positiva apenas quando relacionados com as densidades máxima e mínima, enquanto que os painéis de bagaço de cana apresentaram correlação significativa e positiva com as três densidades determinadas. Em ambos os tipos de painéis o maior valor de correlação foi obtido para a densidade máxima, o que era esperado, visto que a penetração da esfera se dá na superfície do painel.

Para as propriedades MOR e MOE à flexão estática, os painéis de pinus e eucalipto apresentaram correlação significativa e positiva com a densidade máxima e mínima, enquanto que no caso dos painéis de bagaço de cana a correlação foi significativa e positiva com as três densidades determinadas. Nos painéis de pinus e eucalipto, o maior valor de correlação foi obtido com a densidade máxima, o que se justifica, visto que os painéis nesse tipo de ensaio rompem na parte inferior por tração. No entanto, no caso dos painéis de bagaço de cana, o maior valor de correlação foi obtido com a densidade mínima, o que pode ser justificado em função do grande número de partículas e a baixa quantidade de adesivo por partículas, o que essa associação proporcionou menor ligação entre as partículas (Figura 23) e conseqüentemente pontos de fratura.

Na avaliação da propriedade ligação interna, os painéis de pinus e bagaço apresentaram correlação significativa e positiva com a densidade mínima e máxima, enquanto que para os painéis de eucalipto a correlação foi significativa e positiva com as três densidades determinadas. Em ambos os tipos de painéis o maior valor de correlação foi obtido com a densidade mínima, o que se justifica visto que, de acordo com a norma de avaliação, o corpo de prova deve romper no miolo dos painéis. Nesse caso, pode-se afirmar que maiores valores de densidade mínima dos painéis promove aumento da propriedade ligação interna.

Para os valores de MOR e MOE obtidos no ensaio de compressão, os painéis de pinus e bagaço de cana apresentaram correlação significativa e positiva apenas com a densidade média, enquanto que nos painéis de eucalipto, a correlação foi significativa e positiva com as densidades média e mínima, com maior valor de correlação obtido com a densidade média. Esse fato se deve a questão do próprio ensaio, visto que na compressão dos corpos de prova é colocado esforço nas camadas da face e do miolo simultaneamente, permitindo assim essa melhor correlação com a densidade média dos painéis.

De forma geral, observa-se excelentes correlações entre o perfil de densidade e as propriedades físico-mecânicas dos painéis aglomerados, podendo ser utilizada como uma ferramenta de predição dessas propriedades, visto que a análise de perfil de densidade pode ser realizada de forma muito prática e rápida pelas empresas.

Verificam-se ainda pelos resultados que o tipo de matéria-prima não afetou de forma pronunciada as correlações entre as propriedades dos painéis com as densidades média, máxima e mínima. Tal fato nos permite concluir que a estrutura do painel *MDP* e as outras variáveis de produção (principalmente o ciclo de prensagem) podem vir a afetar essas correlações, e que de certa forma existe certo padrão na produção dos três tipos de painéis, visto que a variação do perfil de densidade se mostrou bem próxima nos três casos.

## 5 CONCLUSÕES

Na avaliação das propriedades físicas, observou-se que os painéis de bagaço de cana se mostraram inferiores aos painéis produzidos com pinus. No entanto, em comparação com os painéis produzidos com eucalipto, mostraram-se iguais ou até mesmo superiores em algumas das propriedades. Os três tipos de painéis atenderam à norma de comercialização CS 236-66 (1968).

Em uma análise geral de todos os ensaios mecânicos, observa-se que os painéis aglomerados de bagaço de cana, somente nas propriedades de ligação interna e MOE e MOR à compressão paralela apresentaram valor médio inferior quando comparado aos painéis de pinus e eucalipto. Entretanto, para as outras propriedades, esses painéis demonstraram desempenho igual aos painéis de pinus e/ou eucalipto, inclusive obtendo melhores correlações na análise do MOE dinâmico obtido por *stress wave timer*. Em avaliação pelas normas de comercialização, os painéis de bagaço de cana não atenderam apenas às propriedades de ligação interna e de arrancamento de parafuso.

Os painéis de bagaço de cana apresentaram o maior valor médio de sílica, diferenciando-se estatisticamente dos painéis de pinus e eucalipto.

Na emissão de formaldeído não foi observada diferença entre os três tipos de painéis, sendo eles classificados como E2 de acordo com as normas NBR 14810-2 (ABNT, 2006b) e EN 312 (EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION, 1993b).

Os painéis de bagaço de cana apresentaram estabilidade térmica intermediária, sendo os painéis de pinus os que apresentaram melhor estabilidade.

Na avaliação das características de superfície, os painéis de bagaço de cana apresentaram maior rugosidade e maior absorção de superfície que os painéis de pinus e eucalipto. Não foi observada diferença clara quando avaliado

o ângulo de contato. Não houve diferença entre os tipos de painéis quando avaliada a rugosidade após envelhecimento natural.

Na avaliação após envelhecimento natural, os painéis de pinus apresentaram os melhores resultados. Os painéis de bagaço de cana apresentaram perda de resistência semelhantes as obtidos para os painéis de eucalipto. Após o envelhecimento natural, os painéis de eucalipto e bagaço não conseguiram atender aos pré-requisitos estipulados pelas normas de comercialização para as propriedades ligação interna, MOE e MOR.

O perfil de densidade apresentou excelentes correlações com as propriedades físico-mecânicas dos painéis aglomerados. O tipo de matéria-prima não afetou de forma pronunciada as correlações entre as propriedades dos painéis com as densidades média, máxima e mínima.

De forma geral, observa-se que os painéis de bagaço apresentaram características físicas, mecânicas, química, microestruturais, de durabilidade e de caracterização de superfície próximas às obtidas pelos painéis de pinus e eucalipto, comumente utilizados na produção de móveis. Sendo assim, pode-se concluir que os painéis de bagaço de cana apresentam grande potencial de utilização na indústria moveleira.

## REFERÊNCIAS

- ABREU, L. C. M. **Diagnóstico de consumo e suprimento de produtos madeiros no setor moveleiro do município de Ubá-MG**. Tese (Pós-graduação em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2000.
- AGUIAR, G. R. **Pólo moveleiro de João Alfredo, Pernambuco: uma análise à luz do modelo de Clusters**. Dissertação (Mestrado Profissionalizante em Economia) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2005.
- ALBIN, R. A. Determinacion del pH en diversas especies de los renovales de La provincial de Valdivia. **Bosque**, Valdivia, v. 1, n. 1, p. 3-5, 1975.
- AMARAL, C. et al. Análise da competitividade do setor moveleiro brasileiro. In: ENCONTRO LATINO AMERICANO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 14.; ENCONTRO LATINO AMERICANO DE PÓS-GRADUAÇÃO, 10., 2010, São José dos Campos. **Anais...** São José dos Campos: Universidade do Vale do Paraíba, 2010. 1 CD ROM.
- AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE. **ANSI A208.1: mat-formed wood particleboard: specification**. Gaithersburg, 1993.
- AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE. **ANSI A208.1: mat-formed wood particleboard: Specification**. Gaithersburg; 1999.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D-1037: standard methods of evaluating of wood-base fiber and particles materials. In: \_\_\_\_\_. **Annual book of ASTM standard**. Philadelphia, 2002. p. 1-30.
- ARRUDA, G. **O Design na indústria moveleira brasileira e seus aspectos sustentáveis: estudo de caso no pólo moveleiro de Araçatuba-PR**. 2009. 120 f. Dissertação (Mestrado em Design) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação, Bauri, 2009.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE. **Estudo setorial 2009 ano base 2008**. 2009. Disponível em: <<http://www.abimci.com.br>>. Acesso em: 22 ago. 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE PAINÉIS DE MADEIRA. Disponível em: <<http://www.abipa.org.br/ produtosMDP.php>>. Acesso em: 12 out. 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE PAINÉIS DE MADEIRA. Disponível em: <<http://www.abipa.org.br>>. Acesso em: 12 jul. 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13961**: móveis para escritório – armários. Rio de Janeiro, 2003. 22 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14810-1**: chapas de madeira aglomerada - terminologia. Rio de Janeiro, 2006a. 5 p. Parte 1.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14810-2**: chapas de madeira aglomerada - requisitos. Rio de Janeiro, 2006b. 4 p. Parte 2.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14810-3**: chapas de madeira aglomerada - métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2006c. 51 p. Parte 3.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS. **Indicadores do setor de florestas plantadas (julho/2012)**. Disponível em: <<http://www.abraflor.org.br>>. Acesso em: 23 ago. 2012.

BAHAROGLU, M. et al. The influence of moisture content of raw material on the physical and mechanical properties, surface roughness, wettability, and formaldehyde emission of particleboard composite. **Composites: Part B**, Amsterdam, v. 43, p. 2448-2451, 2012.

BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL. **Área de operações industriais 1**: Gerência setorial de agroindústria. Rio de Janeiro, 1995. (Informe Setorial, 4).

BARROS FILHO, R. M. et al. Hybrid chipboard panels based on sugarcane bagasse, urea formaldehyde and melamine formaldehyde resin. **Industrial Crops and Products**, Oxford, v. 33, p. 369-373, 2011.

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

BATTISTELLE, R. A. G.; MARCILIO, C.; LAHR, F. A. R. Emprego do bagaço de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) e das folhas caulinares do bambu da espécie *Dendrocalamus giganteus* na produção de chapas de partículas. **Minerva**, London, v. 5, n.3, p. 297-305, 2009.

BELINI, U. L. **Caracterização tecnológica de painéis de fibras da madeira de eucalipto, *Eucalyptus grandis*, e de partículas do bagaço do colmo de cana-de-açúcar, *Saccharum sp.*** 2012. 169 p. Tese (Doutorado em Ciências, Recursos Florestais) - Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2012.

BELINI, U. L. et al. Teor de sílica em compósitos confeccionados com bagaço de cana-de-açúcar e eucalipto. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 19, n. 2, p. 250-255, abr./jun. 2012.

BIANCHE, J. J. et al. Properties of particleboards fabricated with eucalyptus (*Eucalyptus urophylla*), parica (*Schizolobium amazonicum*) and vassoura (*Sida spp.*) particles. **Cerne**, Lavras, v. 18, n. 4, Oct./Dec. 2012.

BOQUILLON, N.; ELBEZ, G.; SHONFELD, U. Properties of wheat straw particleboards bonded with different types of resin. **Journal Wood Science**, Heidelberg, v. 50, p. 230–235, 2004.

CARASCHI, J. C.; LEÃO, A. L.; CHAMMA, P. V. C. Avaliação de painéis a partir de resíduos sólidos para aplicação na arquitetura. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, Rio de Janeiro, v. 19, n. 1, p. 47-53, 2009.

CASAROTTO FILHO, N.; PEREIRA, M.; CUNHA, I. **Análise da competitividade das principais aglomerações produtivas de móveis da região sul do Brasil**. Florianópolis: BRDE, 2006. 233 p.

CASTEIÃO, A. **A gestão de design como diferencial competitivo em micro empresas do setor moveleiro**. 2006. 112 f. Dissertação (Mestrado em Design) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação, Bauru, 2006.

CENTRO DE TECNOLOGIA CANAVIEIRA. Disponível em: <<http://www.ctcanavieira.com.br/>>. Acesso em: 15 out. 2012.

COELHO, M. R. F.; BERGER, R. Competitividade das exportações brasileiras de móveis no mercado internacional: uma análise segundo a visão desempenho. **Revista da FAE**, Curitiba, v. 7, n. 1, p. 51-65, 2004.

COMMERCIAL STANDARD.CS 236-66: mat formed wood particleboard. [S. l.], 1968.

CORRÊA, G. **Desenvolvimento, produção e caracterização de compósitos de madeira-plásticos para aplicação na indústria moveleira**. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) - Rede Temática em Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2004.

COUTINHO, L. et al. **Design na indústria brasileira de móveis**. Curitiba: Alternativa, 2001.

DA COSTA, D. et al. Avaliação de ligações adesivas à base de resorcinol em madeiras de *Pinus*. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 9., 2004, Cuiabá. **Anais...** Cuiabá: [s. n.], 2004.

DANTAS FILHO, P. L. **Análise de custos na geração de energia com bagaço de cana-de-açúcar**: um estudo de caso em quatro usinas de São Paulo. 2009. 175 p. Dissertação (Mestrado em Energia) - Universidade de São Paulo, 2009.

DEL MENEZZI, C. H. S. et al. Efeito do carregamento cíclico sobre as propriedades de flexão de painéis comerciais de MDF e MDP. **Cerne**, Lavras, v. 17, n. 3, p. 403-409, jul./set. 2011.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **EN 120**: wood-based panels e determination of formaldehyde content e extraction method called perforator method. Bruxelas, 1993a.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **EN 312**: particleboard: specifications. Bruxelas, 1993b.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **EN 382-1**: fiberboards: determination of surface absorption. Bruxelas, 1993c.

FERNANDES, C. L. L.; OLIVEIRA JÚNIOR, R. H. O. **Cluster no setor moveleiro**: um estudo das potencialidades da região de Ubá (MG). Belo Horizonte: UFMG, 2002. 26 p.

FIORELLI, J. et al. Painéis de partículas à base de bagaço de cana e resina de mamona: produção e propriedades. **Acta Scientiarum Technology**, Maringá, v. 33, n. 4, p. 401-406, 2011.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED.  
Disponível em: <<https://www.fao.org.br/>>. Acesso em: 22 fev. 2013.

FREIRE, C. S. et al. Propriedades físicas de painéis aglomerados comerciais confeccionados com bagaço de cana e madeira. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 18, n. 2, p. 178-185, 2011.

FRIZZO, S. M. B.; SILVA, M. C. M. **Apontamentos de química da madeira**. Santa Maria: UFSM, 2001. Apostila Didática.

GARZON, N. et al. Durability evaluation of agro-industrial waste-based particleboards using accelerated aging cycling tests. **Key Engineering Materials**, Switzerland, v. 517, p. 628-634, 2012.

GORINI, A. P. F. **Panorama do setor moveleiro no Brasil com ênfase na competitividade externa a partir do desenvolvimento da cadeia industrial de produtos sólidos da madeira**. Rio de Janeiro: BNDES, 1998. 50 p.

IWAKIRI, S. et al. Influência da massa específica sobre as propriedades mecânicas de painéis aglomerados. **Floresta**, Curitiba, v. 38, n. 3, jul./set. 2008.

IWAKIRI, S. et al. Produção de painéis aglomerados de alta densificação com uso de resina melamina-uréia-formaldeído. **Cerne**, Lavras, v. 11, n. 4, p. 323-328, out./dez. 2005.

IWAKIRI, S. et al. Produção de painéis aglomerados homogêneos e multicamadas de *Meliaazedarach* (Cinamomo) e *Pinus taeda* com diferentes teores de resina. **Cerne**, Lavras, v. 18, n. 3, p. 465-470, 2012.

IWAKIRI, S.; KEINERTJÚNIOR, S. Utilização de diferentes espécies do gênero pinus para produção de painéis “waferboard”. **IPEF**, Piracicaba, n. 43/44, p. 65-69, jan./dez. 1990.

IWAKIRI, S. **Painéis de madeira reconstituída**. Curitiba: UFPR, 2005. 121 p.

KELLY, M. W. **Critical literature review of relationships between processing parameters and physical properties of particleboard**. Madison: USDA Forest Service General, 1977. 66 p. (Technical Report FPL, 10).

KHODER, M. I. et al. Indoor and outdoor formaldehyde concentrations in homes in residential areas in Greater Cairo. **Journal of environmental Monitoring**, Cambridge, v. 2, p. 123, 2000.

KLOCK, U. et al. **Química da madeira**. 3. ed. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2005.

KOZLOWSKI, R. et al. Flame resistant lignocellulosic-mineral composite particleboards. **Polymer Degradation and Stability**, Essex, v. 64, n. 3, p. 523-528, 1999.

KROTH, D.; LOPES, R.; PARRÉ, J. A indústria moveleira da Região Sul do Brasil e seus impactos na economia regional: uma análise em matriz de insumo-produto multirregional. In: ENCONTRO DE ECONOMIA DA REGIÃO SUL, 9., 2006, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: Anpec-Sul, 2006.

LARA PALMA, H. A. **Painéis de madeira**. Botucatu: UNESP, Faculdade de Ciências Agrônômicas, 2009. 40 f. Apostila de aula.

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

MALONEY, T. M. **Modern particleboard and dry-process fiberboard manufacturing**. 2nd ed. San Francisco: M. Freeman, 1993. 689 p.

MARAFANTE, L. J. **Tecnologia da fabricação do álcool e do açúcar**. São Paulo: Ícone, 1993.

MARTINS, Q. V. **Caracterização espectroscópica e estudo do comportamento térmico dos resíduos provenientes da cana de açúcar**. 2009. 93 p. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Araraquara, 2009.

MELO, R. R. et al. 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, 2009.

MELO, R. R. Uso da casca de arroz na produção de painéis aglomerados. **Revista da Madeira**, Curitiba, v. 20, n. 120, p. 24-26, out. 2009.

MENDES, L. M. ***Pinus* spp. na produção de painéis de partículas orientadas (OSB)**. 2001. 156 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2001.

MENDES, L. M. et al. Lignocellulosic composites made from agricultural and forestry wastes in Brazil. **Key Engineering Materials**, Zurich, v. 517, p. 556-563, 2012c.

MENDES, R. F. et al. Determinação do módulo de elasticidade de painéis aglomerados por *Stress Wave Timer*. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 19, n. 2, p. 117-122, 2012a.

MENDES, R. F. et al. Efeito da associação de bagaço de cana, do tipo e do teor de adesivo na produção de painéis aglomerados. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 22, n. 1, p. 161-170, 2012b.

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

MENDES, R. F. et al. Qualidade de painéis aglomerados produzidos na China utilizando bagaço de cana. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRAS, 11., 2008, Londrina **Anais...**Londrina: [s. n.], 2008.

MENDES, R. F. et al. The adhesive effect on the properties of particleboards made from sugar cane bagasse generated in the distiller. **Revista de Ciências Agrárias**, Lisboa, v. 32, n. 2, p. 209-218, 2009.

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: UFLA, 2010.

MENDES, R. F. MENDES, L. M. Propriedades de painéis aglomerados produzidos com bagaço de cana obtido por diferentes processos. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRAS, 12., 2010, Lavras. **Anais...** Lavras: UFLA, 2010. 1 CD ROM.

MENDOZA, Z. M. S. H. **Efeito da inclusão laminar nas propriedades de painéis aglomerados fabricados com resíduos da indústria laminadora.** 2010. 109 p. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2010.

MILAGRES, E. G. et al. Compósitos de partículas de madeira de *Eucalyptus grandis*, polipropileno e polietileno de alta e baixa densidades. **Revista Arvore**, Viçosa, MG, v. 30, n. 3, p.463-470, 2006.

MILANO. **Mobiliário Mundo Outlook 2012** : world furniture Outlook 2011/2012(CSIL). 12. ed. [S. l.: s. n.], 2011.

MOSLEMI, A. A. **Particleboard**. Carbondale and Edwardsville: Southern Illinois University, 1974. v. 1, 243 p.

MOVERGS / IEMI. **Movergs 25 anos**. Disponível em: <[www.movergs.com.br/arquivos/apresentacao\\_movergs\\_para\\_o\\_site.pdf](http://www.movergs.com.br/arquivos/apresentacao_movergs_para_o_site.pdf)>. Acesso em: 22 jul. 2012.

NAHUZ, M. A. R. Tendências do mercado de produtos florestais. **Revista da Madeira**, Curitiba, n. 78, p. 10-18, fev. 2004.

NORITA, H.; KOJIMA, Y.; SUZUKI, S. The aging effects of water immersion treatments in wet-bending for standardized testing of wood panels. **Journal Wood Science**, Heidelberg, v. 54, p. 121-127, 2008.

OKINO, E. Y. A. et al. Resistência físico mecânica de chapas aglomeradas de bagaço de cana-de-açúcar modificado quimicamente. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 52, p. 35-42, 1997.

PAULA, L. E. R. et al. Produção e avaliação de briquetes de resíduos lignocelulósicos. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 31, n. 66, p. 103-112, 2011.

PEDRESCHI, R. **Aproveitamento do bagaço de cana da indústria sucroalcooleira na produção de painéis aglomerados**. 2009. 49 p. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia da Madeira) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

PIRES, V. A. V. **Viabilidade econômica de implantação de uma unidade integrada de gerenciamento de resíduos sólidos no pólo moveleiro de Ubá – MG**. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2007.

QUE, Z. et al. Evaluation of three test methods in determination of formaldehyde emission from particleboard bonded with different mole ratio in the urea-formaldehyde resin. **Build Environment**, Amsterdam, v. 42, n. 3, p. 1242-1249, 2007.

QUIRINO, W. F.; BRITO, J. O. **Características e índices de combustão de briquetes de carvão vegetal**. Brasília: IBAMA, LPF, 1991. 18 p. (Série Técnica, 13).

RAUBER, R. **Caracterização de painéis aglomerados com madeira de eucalipto e sólidos granulares de poliuretano**. 2011.86 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.

ROESE, M.; GITAHY, L. M. C. Globalização, indústria tradicional e gênero: a indústria de móveis de madeira em Bento Gonçalves/RS. In: ENCONTRO ANUAL DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA EM CIÊNCIAS SOCIAIS, 28., 2004. **Anais...** Caxambu: ANPOCS, 2004. 1 CD ROM.

ROLLERI, A.; ROFFAEL, E. Influence of the surface roughness of particleboards and their performance towards coating. **Ciencia Y Tecnologia**, San Jose, v. 12, n. 2, p. 143-148, 2010.

ROSA, S. E. S. et al. O setor de móveis na atualidade: uma análise preliminar. **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, n. 25, p. 65-106, mar. 2007.

ROWEL, R. M.; KEANY, F. M. Fiberboards made from acetylated bagasse fiber. **Wood and Fiber Science**, Pennsylvania, v. 23, n. 1, p. 15-22, 1991.

SÁ, V. A. et al. Absorção de superfície de painéis compensados. **Cerne**, Lavras, v. 16, p. 53-57, jul. 2010. Supl.

SALEN, M. Z. M. et al. Evaluation of formaldehyde emission from different types of wood-based panels and flooring materials using different standard test methods. **Building and Environment**, Oxford, v. 49, p. 86-96, 2012.

SANTOS, R. M. S.; PAMPLONA, T.; FERREIRA, M. J. B. **Design como fator de competitividade na indústria moveleira**. São Paulo: Sebrae/Finep/Abimóvel/Fecamp/Unicamp, 1998.

SARTORI, D. L. et al. Paineis em madeira de reflorestamento e chapas de partículas para instalações rurais. **Floresta e Ambiente**, Curitiba, v. 19, n. 2, p. 171-178, 2012.

SCHMIDT, E. et al. Strength reduction in particleboard caused by fungi. **Forest Products Journal**, Madison, v. 28, n. 2, p. 26-30, 1978.

SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO A MICRO E PEQUENA EMPRESA. **Móveis para cozinha**. [S. l.: s. n.], 2008. 174 p. (Estudos de mercado).

SETUBAL, V. G. **Avaliação e reciclagem de chapas OSB utilizadas na construção civil**. 2009. 47 f. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2009.

SILVA, D. W. et al. Resistência ao arrancamento de parafuso em painéis aglomerados produzidos com bagaço de cana. ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRAS, 13., 2012, Vitória. **Anais...** Vitória: UFES, 2012.

SILVA, J. **A Madeira como matéria-prima para a indústria moveleira**. Viçosa, MG: UFV, 2007.

SINDICATO DA INDÚSTRIA DO MOBILIÁRIO E MARCENARIA DO ESTADO DO PARANÁ. 2011. Disponível em: <<http://www.fiepr.org.br>>. Acesso em: 23 jul. 2012.

SINDICATO DAS INDÚSTRIAS DO MOBILIÁRIO E ARTEFATOS DE MADEIRA NO ESTADO DE MINAS GERAIS. MDP ou MDF... o que usar? **Revista Sindimov**, n. 32, jan. 2007. Disponível em: <<http://www.abipa.org.br/MdpOuMdf.htm>>. Acesso em: 22 jan. 2012.

SOUSA, E.; SOARES, N.; SILVA, M. **Desempenho competitivo das empresas de móveis de madeira: o caso do pólo moveleiro de Ubá – MG**. Campo Grande: Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural, 2010.

SOUZA, K. B. et al. Comparação das propriedades físicas de painéis aglomerados de Pinus de origem industrial e laboratorial. **Scientia Plena**, Aracaju, v. 8, n. 4, p. 1-5, 2012.

TABARSA, T.; ASHORI, A.; GHOLAMZADEH, M. Evaluation of surface roughness and mechanical properties of particleboard panels made from bagasse. **Composites: Part B**, Amsterdam, v. 42, p. 1330–1335, 2011.

TEIXEIRA, D. E.; COSTA, A. F.; SANTANA, M. A. E. Aglomerados de bagaço de cana-de-açúcar: resistência natural ao ataque de fungos apodrecedores. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 52, p. 29-34, dez. 1997.

TEIXEIRA, T. V. R. **Uso da madeira e derivados para energia no estado do Paraná**. 2009. 50 p. Monografia (Graduação em Engenharia Industrial Madeireira) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

TSOUMIS, G. **Science and technology of wood: structure, properties and utilization**. New York: Chapman & Hall, 1991. 494 p.

VICK, C. B. **Adhesive bonding of wood materials**. Wood handbook: wood as an engineering material. Madison: Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 1999. 463 p.

VITAL, B. R.; HASELEIN, C. R.; DELLA LUCIA, R. M. Efeito da geometria das partículas nas propriedades das chapas de madeira aglomerada de *Eucalyptus grandis* (Hill ex-Maiden). **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 16, n. 1, p. 88-96, 1992.

VUN, R. Y.; WU, Q.; MONLEZUN, C. J. Through-thickness ultrasonic characterization of wood and agricultural fibre composites. **Forest Products Journal**, Madison, v. 54, n. 12, p. 233-239, 2004.

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

WIDYORINI, R. et al. Manufacture and properties of binderless particleboard from bagasse I: effects of raw material type, storage methods, and manufacturing process. **Journal of Wood Science**, Heidelberg, v. 51, n. 6, p. 648-654, 2005.

ZABEL, R. A.; MORRELL, J. J. **Wood microbiology: decay and its prevention**. San Diego: Academic, 1992. 476 p.

**ANEXOS**

## ANEXO A Tabelas de análise de variância

**Densidade**

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>Fc</b>	<b>Pr&gt;Fc</b>
Trat	2	0,0003	0,0001	0,286	0,7564
erro	12	0,0059	0,0005		
Total corrigido	14	0,0062			
CV (%)	3,59				

**Umidade**

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>Fc</b>	<b>Pr&gt;Fc</b>
Trat	2	8,6304	4,3152	63,759	0,0000
erro	12	0,8121	0,0677		
Total corrigido	14	9,4426			
CV (%)	2,61				

**AA2h**

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>Fc</b>	<b>Pr&gt;Fc</b>
Trat	2	146,9057	73,4529	97,7860	0,0000
erro	12	9,01388	0,751157		
Total corrigido	14	155,9196			
CV (%)	9,96				

**AA24h**

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>Fc</b>	<b>Pr&gt;Fc</b>
Trat	2	1.333,3836	666,6918	97,009	0,0000
erro	12	82,4697	6,8725		
Total corrigido	14	1.415,8534			
CV (%)	7,76				

**IE2h**

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>Fc</b>	<b>Pr&gt;Fc</b>
Trat	2	27,4725	13,7362	8,543	0,0049
erro	12	19,2943	1,6078		
Total corrigido	14	46,7668			
CV (%)	20,50				

**IE24h**

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>Fc</b>	<b>Pr&gt;Fc</b>
Trat	2	84,4850	42,2425	3,789	0,0530
erro	12	133,7963	11,1497		
Total corrigido	14	218,2812			
CV (%)	26,92				

**TNRE**

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>Fc</b>	<b>Pr&gt;Fc</b>
Trat	2	120,5356	60,2678	59,405	0,0000
erro	12	12,1744	1,0145		
Total corrigido	14	132,7099			
CV (%)	15,32				

**Ligação Interna**

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>Fc</b>	<b>Pr&gt;Fc</b>
Trat	2	0,1182	0,0591	38,307	0,0000
Erro	12	0,0185	0,0015		
Total corrigido	14	0,1368			
CV (%)	10,45				

**MOE à Flexão**

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>Fc</b>	<b>Pr&gt;Fc</b>
Trat	2	882.951,8754	441.475,9377	49,709	0,0000
Erro	12	106.574,3496	8.881,1958		
Total corrigido	14	989.526,2251			
CV (%)	4,78				

**MOR à Flexão**

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>Fc</b>	<b>Pr&gt;Fc</b>
Trat	2	30,5453	15,2727	8,470	0,0051
Erro	12	21,6371	1,8031		
Total corrigido	14	52,1824			
CV (%)	8,76				

**MOE à Compressão**

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>Fc</b>	<b>Pr&gt;Fc</b>
Trat	2	547.379,5472	273.689,7737	81,058	0,0000
Erro	12	40.517,4121	3.376,4510		
Total corrigido	14	587.896,9594			
CV (%)	5,83				

**MOR à Compressão**

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>Fc</b>	<b>Pr&gt;Fc</b>
Trat	2	43,6069	21,8034	47,244	0,0000
Erro	12	5,5380	0,4615		
Total corrigido	14	49,1450			
CV (%)	6,00				

**Dureza Janka**

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>Fc</b>	<b>Pr&gt;Fc</b>
Trat	2	69,2910	34,6455	2,074	0,1684
Erro	12	200,4340	16,7028		
Total corrigido	14	269,7250			
CV (%)	12,72				

**Flexão Dinâmica**

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>Fc</b>	<b>Pr&gt;Fc</b>
Trat	2	20,6453	10,3227	7,967	0,0063
Erro	12	15,5480	1,2957		
Total corrigido	14	36,1933			
CV (%)	24,84				

**Arrancamento de parafuso – Topo**

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>Fc</b>	<b>Pr&gt;Fc</b>
Trat	2	1.609,6883	804,8441	9,833	0,0030
Erro	12	982,2533	81,8544		
Total corrigido	14	2.591,9416			
CV (%)	15,61				

**Arrancamento de parafuso – Superfície**

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>Fc</b>	<b>Pr&gt;Fc</b>
Trat	2	4.112,0426	2.056,0213	19,376	0,0002
Erro	12	1.273,3708	106,1142		
Total corrigido	14	5.385,4135			
CV (%)	16,36				

**Fadiga – MOE à flexão**

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>Fc</b>	<b>Pr&gt;Fc</b>
Trat	2	1.303.553,2463	651.776,6232	19,913	0,0002
Erro	12	392.767,1161	32.730,5930		
Total corrigido	14	1.696.320,3625			
CV (%)	9,07				

**Fadiga – MOR à flexão**

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Trat	2	17,9439	8,9719	2,261	0,1468
Erro	12	47,6227	3,9686		
Total corrigido	14	65,5666			
CV (%)	13,47				

**Varição Fadiga – MOE à Flexão**

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Trat	2	215,8387	107,9194	1,066	0,3805
Erro	10	1.012,3318	101,2331		
Total corrigido	12	1.228,1705			
CV (%)	45,54				

**Varição Fadiga – MOR à Flexão**

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Trat	2	41.443,1655	20.721,5828	1,925	0,1962
Erro	10	107.631,5097	10.763,1510		
Total corrigido	12	149.074,6752			
CV (%)	-127,53				

**Fadiga – MOE à flexão Pinus**

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Trat	1	598.134,8961	598.134,8961	53,231	0,0002
Erro	7	78.656,5350	11.236,6479		
Total corrigido	8	676.791,4311			
CV (%)	4,78				

**Fadiga – MOE à flexão Eucalipto**

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Trat	1	524.195,5033	524.195,5033	84,868	0,0000
Erro	7	43.236,1592	6.176,5942		
Total corrigido	8	567.431,6625			
CV (%)	2,96				

**Fadiga – MOE à flexão Bagaço**

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Trat	1	976.018,8257	976.018,8257	20,687	0,0019
Erro	8	377.448,7716	47.181,0900		
Total corrigido	9	1.353.467,5973			
CV (%)	10,96				

**Fadiga – MOR à flexão Pinus**

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>Fc</b>	<b>Pr&gt;Fc</b>
Trat	1	0,0045	0,0045	0,016	0,9019
Erro	7	1,9299	0,2757		
Total corrigido	8	1,9344			
CV (%)	3,85				

**Fadiga – MOR à flexão Eucalipto**

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>Fc</b>	<b>Pr&gt;Fc</b>
Trat	1	1,5550	1,5550	1,436	0,2698
Erro	7	7,5790	1,0827		
Total corrigido	8	9,1340			
CV (%)	6,22				

**Fadiga – MOR à flexão Bagaço**

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>Fc</b>	<b>Pr&gt;Fc</b>
Trat	1	1,6974	1,6974	0,227	0,6463
Erro	8	59,7509	7,4689		
Total corrigido	9	61,4484			
CV (%)	18,39				

**Varição Fluência**

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>Fc</b>	<b>Pr&gt;Fc</b>
Trat	2	0,5430	0,2715	1,717	0,2208
Erro	12	1,8970	0,1581		
Total corrigido	14	2,4400			
CV (%)	-30,58				

**Teor de sílica**

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>Fc</b>	<b>Pr&gt;Fc</b>
Trat	2	130,2406	65,1203	94,678	0,0000
Erro	8	5,5024	0,6878		
Total corrigido	10	135,7431			
CV (%)	10,40				

**Rugosidade – Sem envelhecimento Natural**

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>Fc</b>	<b>Pr&gt;Fc</b>
Trat	2	5,0040	2,5020	10,944	0,0100
Erro	6	1,3717	0,2286		
Total corrigido	8	6,3757			
CV (%)	12,26				

**Rugosidade – Com envelhecimento Natural**

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>Fc</b>	<b>Pr&gt;Fc</b>
Trat	2	5,0040	2,5020	10,944	0,0100
Erro	6	1,3717	0,2286		
Total corrigido	8	6,3757			
CV (%)	12,26				

**Rugosidade Pinus**

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>Fc</b>	<b>Pr&gt;Fc</b>
Trat	1	120,1250	120,1250	116,179	0,0000
Erro	16	16,5434	1,0340		
Total corrigido	17	136,6684			
CV (%)	17,28				

**Rugosidade Eucalipto**

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>Fc</b>	<b>Pr&gt;Fc</b>
Trat	1	188,1800	188,1800	81,347	0,0000
Erro	16	37,0128	2,3133		
Total corrigido	17	225,1928			
CV (%)	22,77				

**Rugosidade Bagaço**

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>Fc</b>	<b>Pr&gt;Fc</b>
Trat	1	107,0185	107,0185	18,529	0,0005
Erro	16	92,4134	5,7758		
Total corrigido	17	199,4319			
CV (%)	32,53				

**Absorção de superfície - Comprimento**

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>Fc</b>	<b>Pr&gt;Fc</b>
Trat	2	233,5527	116,7764	10,996	0,0003
Erro	27	286,7364	10,6199		
Total corrigido	29	520,2891			
CV (%)	10,26				

**Envelhecimento Natural – Variação Rugosidade**

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>Fc</b>	<b>Pr&gt;Fc</b>
Trat	2	36.435,4755	18.217,7377	3,982	0,0321
Erro	24	109.811,7943	4.575,4914		
Total corrigido	26	14.627,2698			
CV (%)	44,42				

**Envelhecimento Natural – Variação Ligação Interna**

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>Fc</b>	<b>Pr&gt;Fc</b>
Trat	2	3.000,9353	1.500,4676	12,774	0,0011
Erro	12	1.409,5448	117,4621		
Total corrigido	14	4.410,4801			
CV (%)	-37,08				

**Envelhecimento Natural – Ligação Interna**

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>Fc</b>	<b>Pr&gt;Fc</b>
Trat	2	0,0536	0,0268	8,190	0,0057
Erro	12	0,0392	0,0033		
Total corrigido	14	0,0928			
CV (%)	21,99				

**Ligação Interna – Pinus**

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>Fc</b>	<b>Pr&gt;Fc</b>
Trat	1	0,0384	0,0384	30,752	0,0005
Erro	8	0,0100	0,0013		
Total corrigido	9	0,0484			
CV (%)	8,71				

**Ligação Interna – Eucalipto**

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>Fc</b>	<b>Pr&gt;Fc</b>
Trat	1	0,0941	0,0941	276,735	0,0000
Erro	8	0,0027	0,0003		
Total corrigido	9	0,0968			
CV (%)	6,01				

**Ligação Interna – Bagaço**

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>Fc</b>	<b>Pr&gt;Fc</b>
Trat	1	0,0023	0,0023	0,400	0,5449
Erro	8	0,0450	0,0056		
Total corrigido	9	0,0473			
CV (%)	31,13				

**Envelhecimento Natural – Variação MOE à Flexão**

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>Fc</b>	<b>Pr&gt;Fc</b>
Trat	2	1.692,6567	846,3283	53,824	0,0000
Erro	12	188,6894	15,7241		
Total corrigido	14	1.881,3461			
CV (%)	9,78				

**Envelhecimento Natural – Variação MOR à Flexão**

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>Fc</b>	<b>Pr&gt;Fc</b>
Trat	2	33.971.824,4224	16.985.912,211	2,302	0,151
Erro	10	73.772.025,7424	7.377.202,5742		
Total corrigido	12	107.743.850,165			
CV (%)	104,31				

**MOE à flexão Pinus**

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>Fc</b>	<b>Pr&gt;Fc</b>
Trat	1	579.807,8726	579.807,8726	95,178	0,0000
Erro	8	48.734,4802	6.091,8100		
Total corrigido	9	628.542,3528			
CV (%)	3,53				

**MOE à flexão Eucalipto**

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>Fc</b>	<b>Pr&gt;Fc</b>
Trat	1	3.162.836,3688	3.162.836,3688	1789,986	0,0000
Erro	8	14.135,6944	1.766,9618		
Total corrigido	9	3.176.972,0632			
CV (%)	1,82				

**MOE à flexão Bagaço**

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>Fc</b>	<b>Pr&gt;Fc</b>
Trat	1	1.668.207,8297	1.668.207,8297	113,990	0,0000
Erro	8	117.077,5024	14.634,6878		
Total corrigido	9	1.785.285,3321			
CV (%)	6,41				

**MOR à flexão Pinus**

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>Fc</b>	<b>Pr&gt;Fc</b>
Trat	1	26,1792	26,1792	634,418	0,0000
Erro	8	0,3301	0,0413		
Total corrigido	9	26,5094			
CV (%)	1,69				

**MOR à flexão Eucalipto**

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>Fc</b>	<b>Pr&gt;Fc</b>
Trat	1	94,6793	94,6793	467,922	0,0000
Erro	8	1,6187	0,2023		
Total corrigido	9	96,2980			
CV (%)	3,21				

**MOR à flexão Bagaço**

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Trat	1	58,7093	58,7093	14,344	0,0053
Erro	8	32,7425	4,0928		
Total corrigido	9	91,4518			
CV (%)	15,75				

**Envelhecimento Natural – MOE à Flexão**

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Trat	2	604.288,6786	302.144,3393	49,415	0,0000
Erro	12	73.373,3273	6.114,4439		
Total corrigido	14	677.662,0059			
CV (%)	6,73				

**Envelhecimento Natural – MOR à Flexão**

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Trat	2	1,0183	0,5091	0,468	0,6372
Erro	12	13,0542	1,0879		
Total corrigido	14	14,0725			
CV (%)	9,86				

**Envelhecimento Natural - Variação da espessura**

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Trat	2	231,3733	115,6867	13,166	0,0002
Erro	21	184,5250	8,7869		
Total corrigido	23	415,8933			
CV (%)	- 34,24				

**Espessura Pinus**

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Trat	1	1,5813	1,5813	26,524	0,0001
Erro	14	0,8346	0,0596		
Total corrigido	15	2,4159			
CV (%)	1,6				

**Espessura Eucalipto**

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Trat	1	11,1222	11,1222	78,827	0,0000
Erro	14	1,9754	0,1410		
Total corrigido	15	13,0976			
CV (%)	2,36				

**Espessura Bagaço**

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>Fc</b>	<b>Pr&gt;Fc</b>
Trat	1	9,7188	9,7188	574,501	0,0000
Erro	14	0,2368	0,0169		
Total corrigido	15	9,9556			
CV (%)	0,84				

**Envelhecimento Natural – Variação da densidade**

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>Fc</b>	<b>Pr&gt;Fc</b>
Trat	2	270,2494	135,1247	25,408	0,0003
Erro	8	42,5448	5,3181		
Total corrigido	10	312,7942			
CV (%)	28,19				

**Densidade Pinus**

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>Fc</b>	<b>Pr&gt;Fc</b>
Trat	1	0,0003	0,0003	5,490	0,0516
Erro	7	0,0004	0,0001		
Total corrigido	8	0,0007			
CV (%)	1,26				

**Densidade Eucalipto**

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>Fc</b>	<b>Pr&gt;Fc</b>
Trat	1	0,0081	0,0081	166,971	0,0000
Erro	7	0,0003	0,00004		
Total corrigido	8	0,0085			
CV (%)	1,17				

**Densidade Bagaço**

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>Fc</b>	<b>Pr&gt;Fc</b>
Trat	1	0,0112	0,0112	10,218	0,0151
Erro	7	0,0077	0,0011		
Total corrigido	8	0,0189			
CV (%)	5,67				

**Perfil de densidade – média**

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>Fc</b>	<b>Pr&gt;Fc</b>
Trat	2	8.454,1509	4.227,0755	4,683	0,0131
Erro	57	51.451,2809	902,6541		
Total corrigido	59	59.905,4319			
CV (%)	4,78				

**Perfil de densidade – máxima**

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>Fc</b>	<b>Pr&gt;Fc</b>
Trat	2	63.069,5877	31.534,7939	2,302	0,1093
Erro	57	780.801,6949	13.698,2753		
Total corrigido	59	843.871,2826			
CV (%)	11,30				

**Perfil de densidade – mínima**

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>Fc</b>	<b>Pr&gt;Fc</b>
Trat	2	12.242,1114	6.121,0557	6,920	0,0020
Erro	57	50.418,4754	884,5347		
Total corrigido	59	62.660,5867			
CV (%)	5,72				

**MOE dinâmico Pinus – largura**

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>F</b>	<b>F de significação</b>
Regressão	1	1.166,0360	1.166,0360	1,813	0,2708
Resíduo	3	1.929,3880	643,1294		
Total	4	3.095,4240			

**MOE dinâmico Pinus – comprimento**

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>F</b>	<b>F de significação</b>
Regressão	1	1.612,2220	1.612,2220	3,261	0,1687
Resíduo	3	1.483,2010	494,4005		
Total	4	3.095,4240			

**MOE dinâmico Pinus – médio**

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>F</b>	<b>F de significação</b>
Regressão	1	1.790,9970	1.790,9970	4,119	0,1354
Resíduo	3	1.304,4260	434,8088		
Total	4	3.095,4240			

**MOE dinâmico Eucalipto – largura**

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>F</b>	<b>F de significação</b>
Regressão	1	31,6841	31,6841	0,010	0,9274
Resíduo	3	9.706,9270	3.235,6420		
Total	4	9.738,6110			

**MOE dinâmico Eucalipto – comprimento**

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>F</b>	<b>F de significação</b>
Regressão	1	6.594,7750	6.594,7750	6,293	0,0870
Resíduo	3	3.143,8360	1.047,9450		
Total	4	9.738,6110			

**MOE dinâmico Eucalipto– médio**

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>F</b>	<b>F de significação</b>
Regressão	1	1.989,8070	1.989,8070	0,770	0,4447
Resíduo	3	7.748,8030	2.582,9340		
Total	4	9.738,6110			

**MOE dinâmico Bagaço – largura**

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>F</b>	<b>F de significação</b>
Regressão	1	63.922,4200	63.922,4200	6,432	0,0450
Resíduo	3	29.815,7000	9.938,5660		
Total	4	93.738,1200			

**MOE dinâmico Bagaço – comprimento**

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>F</b>	<b>F de significação</b>
Regressão	1	68.811,8100	68.811,8100	8,282	0,0436
Resíduo	3	24.926,3000	8.308,7670		
Total	4	93.738,1200			

**MOE dinâmico Bagaço – médio**

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>F</b>	<b>F de significação</b>
Regressão	1	70.277,0600	70.277,0600	8,986	0,0478
Resíduo	3	23.461,0600	7.820,3530		
Total	4	93.738,1200			