

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CAMPUS CURITIBANOS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

CAMILLA DALL'IGNA

PROTÓTIPOS DE PAINÉIS MDP DE BAMBU E RESÍDUO MADEIREIRO

CURITIBANOS
2015

CAMILLA DALL'IGNA

PROTÓTIPOS DE PAINÉIS MDP DE BAMBU E RESÍDUO MADEIREIRO

Trabalho de conclusão de curso de graduação (TCC) apresentado ao Colegiado do Curso de ENGENHARIA FLORESTAL da Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Curitibanos, como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Ugo Leandro Belini

CURITIBANOS
2015

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Dall'Igna, Camilla

PROTÓTIPOS DE PAINÉIS MDP DE BAMBU E RESÍDUO MADEIREIRO
/ Camilla Dall'Igna ; orientador, Ugo Leandro Belini -
Curitibanos, SC, 2015.

p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Campus
Curitibanos. Graduação em Engenharia Florestal.

Inclui referências

1. Engenharia Florestal. 2. Recurso lignocelulósico. 3.
Phyllostachys nigra. 4. Painéis de partícula. 5.
Sustentabilidade. I. Belini, Ugo Leandro. II. Universidade
Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia
Florestal. III. Título.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
Coordenação do Curso de Engenharia Florestal
Rodovia Ulysses Gaboardi km 3
CEP: 89520-000 - Curitibanos – SC
TELEFONE: (048)3721-4170 E-mail: engenharia.florestal@contato.ufsc.br

CAMILLA DALL'IGNA

PROTÓTIPOS DE PAINÉIS MDP DE BAMBU E RESÍDUO MADEIREIRO

Trabalho de conclusão de curso de graduação (TCC) apresentado ao Colegiado do Curso de ENGENHARIA FLORESTAL da Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Curitibanos, como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Florestal.

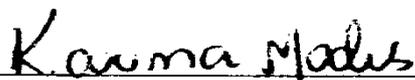
Orientador: Prof. Dr. Ugo Leandro Belini

Data da Defesa: 06/11/2015

MEMBROS COMPONENTES DA BANCA EXAMINADORA:



Presidente e Membro Titular: Prof. Dr. Magnos Alan Vivian
Universidade Federal de Santa Catarina
Campus Universitário Curitibanos



Membro Titular: Prof. Dra. Karina Soares Modes
Universidade Federal de Santa Catarina
Campus Universitário Curitibanos

Local: Universidade Federal de Santa Catarina
Campus de Curitibanos
Coordenação do Curso de Graduação em Engenharia Florestal

AGRADECIMENTOS

À UFSC, pela oportunidade de aprendizado e crescimento pessoal.

À minha família, especialmente aos meus pais Carlos e Marlene e minha irmã Carlla, pela dedicação, incentivo e carinho durante toda a graduação.

Ao meu namorado Marlon, pelo companheirismo, paciência e apoio em todos os momentos.

Aos meus avós Ivo e Neire e minha tia Solange, pela infinita preocupação, amor e cuidado.

Ao meu orientador Ugo, pelo conhecimento proporcionado e atenção durante todo o trabalho, além da oportunidade de participar de um de seus projetos.

Ao CNPq, pela concessão da bolsa para realização deste trabalho, através do projeto BambuSul.

Prof. Dr. Alessandro B. da Cunha e Eng. Florestal Willian Grubert, do CAV-UDESC, pela fundamental ajuda na confecção dos painéis.

Berneck S.A pela doação do resíduo madeireiro e utilização de equipamentos laboratoriais.

Aos funcionários da Berneck S.A, Antônio e Fernando, pelo auxílio durante a realização dos ensaios laboratoriais.

Ao Sr. Ivo e sua esposa, pela doação dos colmos de bambu e receptividade em sua propriedade.

Ao meu colega Altimar Marsaro, pelo auxílio em várias etapas da pesquisa.

Aos meus colegas de turma Danielle, Jefferson, Ciro e Douglas, pelos diversos momentos de aprendizado e convivência durante a graduação.

RESUMO

A crescente demanda por produtos reconstituídos de madeira, expansão da produção de painéis de partícula e atual modernização de parques produtivos tem promovido o Brasil como referência, em tecnologias de ponta, na confecção de painéis de partículas de média densidade (MDP), produto este com ampla aplicação na bioengenharia e indústria moveleira e que é destaque na área de tecnologia de produtos florestais. Aliada à questão de sustentabilidade ambiental, os painéis de partícula tem despertado interesse nos meios acadêmicos e industriais pela busca de materiais alternativos que sejam, de maneira simultânea, economicamente acessíveis e ambientalmente corretos, sendo que o uso de fibras e partículas vegetais vai ao encontro de tal necessidade, onde o bambu e resíduos madeireiros tem apresentado, em pesquisas recentes, boa performance quando utilizados em compósitos reconstituídos. Neste trabalho, foram realizadas coleta, processamento e determinação de características granulométricas de partículas do colmo de bambus da espécie *Phyllostachys nigra* e de resíduos madeireiros provenientes do processamento da madeira de *Pinus* spp, bem como a confecção de protótipos de painéis particulados de camadas homogêneas em 3 tratamentos de diferentes morfologias de partículas, aglutinados com dosagem de 12% de resina uréia formol (UF) e conformados em ciclo de prensagem que compreendeu: temperatura de 140°C; pressão de 40 kgf/cm² e tempo de 8 minutos. Posteriormente, foram realizados ensaios de caracterização de qualidade, a saber: (i) perfil de densidade, (ii) tração perpendicular e (iii) inchamento e absorção em espessura, sendo os dados comparados com parâmetros mínimos exigidos pela norma NBR ABNT 14810 (2006). Os resultados indicaram a efetividade da separação granulométrica em peneiras de abertura 2,5 mm (partículas finas) e 3,5 mm (partículas grossas). As análises das variáveis de qualidade dos protótipos indicaram que o desempenho tecnológico dos painéis confeccionados com bambu foram reduzidos pela alta umidade das partículas anteriormente à prensagem e baixa qualidade de colagem, fatores que prejudicaram a correta conformação dos painéis, verificado em baixos valores de densidade mínima nos perfis densitométricos e por valores de ensaios inferiores ao estabelecidos em norma. Porém, os painéis que utilizaram partículas de bambu com 2,5 mm apresentaram satisfatório acabamento superficial e visual. Já os painéis confeccionados com resíduos madeireiros enquadraram-se nos valores especificados em norma, exceto no quesito inchamento em espessura. Visualmente, a presença de casca e de grumos de resina e partículas afetaram negativamente o aspecto superficial dos painéis confeccionados com resíduos. Assim, foi efetiva a confecção e análise dos protótipos de painéis utilizando partículas de *Phyllostachys nigra* e também resíduo madeireiro para indicar a potencialidade destes recursos lignocelulósicos para confecção de compósitos na região de Curitiba-SC, demonstrando que há necessidade de continuidade das pesquisas para promover ajustes finos nas condições de prensagem que promovam a adequação das variáveis tecnológicas.

Palavras- chaves: Recurso lignocelulósico, *Phyllostachys nigra*, Painéis de partícula, Sustentabilidade.

ABSTRACT

The increasing demand for wood reconstituted products, expanding production of particle boards and current modernization of productive farms has promoted Brazil as reference in cutting edge technologies in the manufacture of medium density particle board (MDP), a product with wide application in bioengineering and furniture industry and is featured in the technology area of forest products. Together with the issue of environmental sustainability, particle boards has aroused interest in academic and industrial environments by the search for alternative materials that are, simultaneously, affordable and environmentally sound, and the use of plant fibers and particles meets such a need, where bamboo and wood waste has shown in recent research, good performance when used in reconstituted composite. In this work, we carried out the collection, processing and determination of particle size characteristics of bamboo *Phyllostachys nigra* and wood waste from the wood of *Pinus* spp processing and the production of prototypes of particulate panels of homogeneous layers 3 treatments of different morphologies of particles bound with dosing 12% of urea formaldehyde resin (UF) and formed in press cycle comprised: temperature 140 ° C; pressure of 40 kgf / cm² and time of 8 minutes. Subsequently, quality characterization assays were performed, namely: (i) density profile, (ii) perpendicular traction and (iii) swelling and absorption in thickness, and the data compared to minimum parameters required by NBR ABNT 14810 (2006). The results indicated the effectiveness of particle size separation in opening sieve 2.5 mm (fine particles) and 3.5 mm (coarse). Analyses of the quality variables of the prototypes indicate that the technological performance of manufactured panels with bamboo have been reduced by the high humidity of the particles prior to the pressing and low quality collage, factors that hindered the correct conformation of the panels, found in low values of minimum density in densitometry profiles and lower values of the tests established by DOT. However, the panels that used bamboo particles 2.5 mm presented satisfactory surface and visual finish. Already panels made from wood residues were within the values specified in the standard, except in the category thickness swelling. Visually, the presence of peel and clumps of resin and particles adversely affect the surface appearance of the panels made with waste. Thus, it was effective to manufacture and analysis of panels of prototypes using *Phyllostachys nigra* particles and also wood residue to indicate the potential of these lignocellulosic resources for making composites in Curitiba-SC region, demonstrating that there is need for further study to make adjustments fine in pressing conditions that promote the adequacy of technological variables.

Keywords: Lignocellulosic resource, *Phyllostachys nigra*, particleboards, Sustainability.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	OBJETIVOS	15
2.1	OBJETIVO GERAL.....	15
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
3	REFERENCIAL TEÓRICO	16
3.1	PAINÉIS DE PARTÍCULA.....	16
3.1.1	Caracterização	16
3.1.2	Importância e aplicações	18
3.1.3	Propriedades tecnológicas	20
3.1.3.1	Densidade	20
3.1.3.2	Inchamento em espessura e absorção de água	21
3.1.3.3	Umidade	21
2.2	BAMBU.....	21
3.2.1	Aspectos gerais	21
3.2.2	Importância e usos	24
3.2.3	Propriedades físico- mecânicas	24
3.2.4	Painéis produzidos à base de Bambu	26
3.2.5	<i>Phyllostachys nigra</i>	28
3.3	RESÍDUOS MADEIREIROS.....	29
3.3.1	Caracterização	29
3.3.2	Reutilização de resíduos madeireiros	30
3.3.3	Painéis produzidos à base de resíduos	30
3.4	ADESIVOS.....	32
3.4.1	Uréia – Formaldeído	32
4.	METODOLOGIA	34
4.1	COLETA E PROCESSAMENTO DAS MATÉRIAS PRIMAS.....	34
4.1.1	Resíduo Madeireiro	34
4.1.2	Bambu	34
4.1.3	Adesivo	35
4.1.4	Parafina	35
4.2	DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE BÁSICA DO BAMBU.....	35
4.3	PROCESSAMENTO DOS BAMBU EM PARTÍCULAS.....	37

4.4	DELINEAMENTO EXPERIMENTAL.....	39
4.5	CÁLCULO DOS COMPONENTES DOS PAINÉIS.....	39
4.6	CONFECÇÃO DOS PAINÉIS.....	41
4.6.1	Determinação do teor de umidade das partículas.....	41
4.6.2	Aplicação de Resina e Parafina.....	42
4.6.3	Pré - Prensagem.....	43
4.6.4	Prensagem.....	44
4.7	CARACTERIZAÇÃO DOS PAINÉIS.....	45
4.7.1	Caracterização das propriedades Físico- Mecânicas.....	45
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	51
5.1	DENSIDADE BÁSICA.....	51
5.2	CLASSIFICAÇÃO GRANULOMÉTRICA	52
5.2.1	<i>Phyllosyachys nigra</i>.....	52
5.2.2	Resíduo madeireiro (<i>Pinus</i> spp).	54
5.3	PERFIL DE DENSIDADE.....	55
5.4	TRAÇÃO PERPENDICULAR, ABSORÇÃO E INCHAMENTO DOS PAINÉIS.....	61
5.5	ASPECTOS VISUAIS DOS PAINÉIS.....	65
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	66
7	RECOMENDAÇÕES.....	68
	REFERÊNCIAS.....	69

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Processo ilustrativo de produção de painéis MDP.....	16
Figura 2 - Custo de produção de alguns painéis.....	17
Figura 3- Consumo de painéis de madeira no mundo.....	18
Figura 4 - Partes que compõem o bambu.....	21
Figura 5 - Distribuição das espécies de bambu no mundo.....	22
Figura 6 - Distribuição estimada de bambus por Estado.....	22
Figura 7 - Produtos confeccionados a partir de bambu (Organograma).....	26
Figura 8 – Imagem ilustrativa de colmos de <i>Phyllostachis nigra</i>	28
Figura 09 - Coleta e Processamento do Bambu.....	35
Figura 10 – Local de retirada das amostras no colmo de bambu para determinação da densidade.....	36
Figura 11 – Processamento e secagem dos colmos	37
Figura 12 – Trituração dos colmos	38
Figura 13 - Picagem dos colmos.....	38
Figura 14 - Termobalança de Infravermelho para determinação do teor de umidade.....	42
Figura 15 - Separação e pesagem das partículas.....	42
Figura 16 - Aplicação de resina e parafina.....	43
Figura 17 - Caixa formadora para pré-prensagem dos painéis.....	44
Figura 18 – Prensagem.....	45
Figura 19 - Obtenção do perfil de densidade dos painéis por densitometria de raios X.....	46
Figura 20 - Parâmetros quantitativos de densidade avaliados no perfil densitométrico.....	47
Figura 21 - Layout de retirada dos corpos de prova dos painéis.....	48
Figura 22- Ensaio de Resistência à tração perpendicular.....	49
Figura 23 – Máquina de Ensaio Universal.....	49
Figura 24 - Equipamento de imersão em água para ensaio de inchamento e absorção.....	49

Figura 25 – Aspecto visual da granulometria das partículas de <i>Phyllostachys nigra</i>	53
Figura 26 – Aspecto visual da granulometria das partículas de <i>Pinus</i> spp.....	55
Figura 27 - Perfil de densidade médio dos painéis correspondentes ao Tratamento 1 (<i>Phyllostachys nigra</i> com granulometria de 2,5 mm).....	57
Figura 28 - Perfil de densidade médio dos painéis correspondentes ao Tratamento 2 (<i>Phyllostachys nigra</i> com granulometria de 3,5 mm).....	58
Figura 29 - Perfil de densidade médio dos painéis correspondentes ao Tratamento 3 (Resíduo <i>Pinus taeda</i>).....	59
Figura 30 - Perfil de densidade do painel aglomerado confeccionado e comercializado pela empresa Berneck S.A. Painéis e Serrados.....	60
Figura 31 – Corpos de prova após imersão em água de acordo com os respectivos tratamentos.....	64
Figura 32 - Aspecto visual dos painéis de acordo com os respectivos tratamentos.....	65

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Consumo de painéis de madeira no mundo.....	18
Tabela 2 - Delineamento piloto	39
Tabela 3 - Valores médios de densidade básica (g.cm^{-3}) dos colmos de bambu <i>Phyllostachys nigra</i>	51
Tabela 4 - Abertura da Peneira (mm) e material de <i>Phyllostachys nigra</i> retido (Kg) por abertura.....	52
Tabela 5 – Inter- relações entre geometria das partículas, processamento e propriedades.....	54
Tabela 6 - Abertura da Peneira (mm) e material de resíduo madeireiro retido (Kg) por abertura.....	54
Tabela 7 - Valores médios de densidade máxima, média e mínima dos painéis (Kg.m^{-3}) de diferentes tratamentos.....	56
Tabela 8 - Valores de densidade máxima, média e mínima do painel (Kg.m^{-3}) confeccionado e comercializado pela empresa Berneck S.A. Painéis e Serrados.....	60
Tabela 9 - Valores médios de tração perpendicular (Kgf.cm^{-2}), absorção (%) e inchamento (%) dos painéis de diferentes tratamentos.....	61

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABS	Absorção (%)
ANSI	American National Standards Institute
ASTM	American Society for Testing and Materials
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
CAV	Centro de Ciências Agroveterinárias
CEDUP	Centro de Educação Profissionalizante
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
CV	Coeficiente de variação
D	Densidade
DIN	Normen Für Holzfaserplatten Spanplatten Sperrholz
DP	Desvio Padrão
g/cm³	Grama por centímetro cúbico
Kg .m³	Quilos por metro cúbico
Kgf.cm⁻²	Quilograma força por centímetro quadrado
IBÁ	Indústria Brasileira de Árvores
INCH	Inchamento em Espessura (%)
JIS	Japanese Industrial Standards
MDF	Medium Density Fiberboard
MDP	Medium Density Particleboard
MPa	Mega Pascal
NBR	Normas Brasileiras
PSF	Ponto de Saturação das Fibras
TR	Resistência à tração perpendicular (kgf /cm ²):
TU	Teor de Umidade
UDESC	Universidade do Estado de Santa Catarina
UF	Ureia Formaldeído
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
WWF	World Wildlife for Nature

1 INTRODUÇÃO

O setor florestal brasileiro é considerado de grande importância para a economia do país. No ano de 2013, o setor de árvores plantadas acrescentou ao produto interno bruto cerca de R\$ 56 bilhões, apresentando assim 1,2% do total de riquezas geradas no País (INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES – IBÁ, 2014). A tendência é que o crescente aumento do consumo de madeira leve o setor florestal a se expandir ainda mais. De acordo com a WWF (WORLD WILDLIFE FUND FOR NATURE - 2011), a demanda de madeira deve triplicar até o ano de 2050. Consequentemente, a pressão sobre florestas e reflorestamentos, e o volume de resíduos produzidos pelo setor, aumentarão de maneira significativa. Dessa forma, torna-se cada vez mais exigida a busca por materiais alternativos, que sejam simultaneamente viáveis economicamente e ambientalmente corretos.

Neste contexto, surgem os painéis particulados, os quais podem substituir a madeira maciça em diferentes usos: industriais (móveis), estruturais na construção civil (forros, divisórias, paredes) e doméstico (BELINI et al., 2014). Segundo Castro et al. (2010), os painéis de partículas são produtos de alto valor agregado quando comparado com a madeira in natura ou com outros produtos sem industrialização.

Esse produto vem substituindo outros tradicionalmente utilizados e ganhando espaço no mercado em razão de sua melhor relação preço/desempenho e da crescente conscientização da população em relação às questões ambientais. A tendência é que a produção de painéis particulados continue em expansão nos próximos anos, e que seus principais fabricantes aumentem sua capacidade instalada, procurando estabelecer melhorias através do investimento em novas tecnologias e atender os requisitos estabelecidos pelo mercado nacional e internacional (VALARELLI et al., 2013).

Recentemente, o desenvolvimento de materiais compósitos com fibras naturais, ou resíduos agroindustriais, tem despertado interesse nos meios acadêmicos e industriais por quesitos tecnológicos e possibilidades associadas por serem materiais ecologicamente favoráveis e com propriedades mecânicas competitivas, podendo ainda contribuir para um maior desenvolvimento sustentável.

A utilização de resíduos de madeira tem contribuído para a racionalização dos recursos florestais, constituindo-se uma nova alternativa de caráter socioeconômico às empresas, contribuindo para uma adequação ambiental do gerenciamento de resíduos sólidos (CERQUEIRA, 2012). O aproveitamento de resíduos especificamente para produção de

painéis alternativos pode contribuir para o atendimento da demanda de painéis e estimular ainda mais sua produção (CHAMMA, 2004).

Pesquisas realizadas com matérias primas fibrosas alternativas, em diferentes regiões do mundo, já têm demonstrado resultados satisfatórios (Lee et al., 2006; Khalil et al., 2010; Ortunõ et al., 2011; Fiorelli et al., 2012, Belini et al, 2012). Swamy (1990) afirma que a utilização de fibras vegetais em painéis e outros componentes pré - fabricados contribuem significativamente para o crescimento de países em desenvolvimento, principalmente devido ao seu baixo custo, economia de energia, disponibilidade e apelo ambiental.

No Brasil, destaca-se o bambu, devido ao grande número de espécies encontradas, apresentando-se como um potencial recurso lignocelulósico para reforço de painéis em multicamadas. Segundo Janssen (2000), suas propriedades estruturais, expressas pelas relações resistência/ massa específica e rigidez/ massa específica, superam as madeiras e o concreto, podendo ser comparadas às do aço. O bambu também é o recurso natural que pode ser renovado em menor tempo, não existindo espécie florestal que possa competir em termos de aproveitamento por área e crescimento (JARAMILLO, 1992).

Dessa forma, torna-se imprescindível a realização de estudos que vislumbrem a utilização de materiais alternativos, especialmente o bambu e resíduos madeireiros, de forma a caracterizar suas propriedades e comprovar o real potencial dessas matérias primas e viabilidade econômica, permitindo que no futuro a utilização desses materiais seja realizada em larga escala.

Neste contexto, o presente trabalho objetivou o estudo granulométrico detalhado de resíduos madeireiros e de partículas de colmos de bambu do gênero *Phyllostachys* após processamento, bem como a confecção de protótipos de painéis particulados em camadas homogêneas de ambas matérias primas, aglutinados com resina uréia formol, e sua caracterização tecnológica.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Conduzir o estudo granulométrico de resíduo madeireiro de *Pinus* spp e de partículas de colmos de bambu da espécie *Phyllostachys nigra* após processamento, bem como a confecção de protótipos de painéis particulados em camadas homogêneas de ambas matérias primas, aglutinados com resina uréia formol (UF).

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

A pesquisa apresentou como objetivos específicos:

- Coletar, processar, classificar e determinar características granulométricas das partículas de bambu e também de resíduos madeireiros;
- Caracterizar os colmos de bambu quanto à densidade básica da espécie;
- Realizar ensaios de qualidade para enquadramento dos painéis segundo a norma ABNT NBR 1410;
- Fomentar novos usos e aplicação para a versátil cultura do bambu no oeste catarinense e estado de Santa Catarina;
- Fomentar novos usos e aplicação para a expressiva quantidade de resíduos madeireiros na região de Curitiba-SC.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 PAINÉIS DE PARTÍCULA

3.1.1 Caracterização

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT NBR 14810, 2006) define painéis de partícula como um produto constituído por partículas de madeira aglomeradas com resinas naturais ou sintéticas, termofixas, sob a ação de pressão e calor, sendo que sua espessura varia entre 3 e 50 mm. A geometria das partículas e sua homogeneidade, os tipos de adesivo, densidade e o processo de fabricação podem ser modificados para fabricar produtos adequados para usos específicos.

A produção de painéis aglomerado teve início na década de 40, durante a Segunda Guerra Mundial, na Alemanha, como forma de viabilizar a utilização de resíduos de madeira, decorrente da dificuldade de obtenção de madeira de boa qualidade para a produção de lâminas para compensados (DONATI, 2010).

No Brasil, a fabricação teve início no ano de 1966, quando a empresa Placas do Paraná S.A., localizado na cidade de Curitiba (PR), passou a incluir esse produto em sua linha de produção (LOPES et al., 2014). De acordo com Vidal e Hora (2014), a partir da metade da década de 1990, as empresas brasileiras passaram por um processo de modernização tecnológica, deixando de utilizar o processo de prensagem cíclica e adotando a prensagem contínua, o que conferiu ao produto melhores características de resistência. Houve também uma modificação na nomenclatura dos painéis, que passaram a ser denominados de MDP (Medium Density Particleboard ou Painel de Partícula de Média Densidade), em uma tentativa de dissociar o novo produto do painel aglomerado que tradicionalmente era conhecido pela sua qualidade inferior.

As matérias primas utilizadas na fabricação dos painéis aglomerado ou particulado compreendem várias espécies de madeira e outros recursos lignocelulósicos, como por exemplo, bagaço de cana, e palha de linho. De maneira geral, qualquer fonte de fibra pode ser utilizada na confecção desses produtos, porém, analisando-se o lado comercial, a qualidade do produto final acaba sendo fator determinante para a escolha da matéria prima. No Brasil, a madeira de florestas plantadas, principalmente *Eucalyptus* spp e *Pinus* spp, constituem as fontes mais importantes de matérias-primas (ROQUE; VALENÇA, 1998).

O processo produtivo dos painéis MDP (Figura 1), envolve várias etapas, que vão desde o recebimento da madeira no pátio de toras até o transporte ao consumidor final.

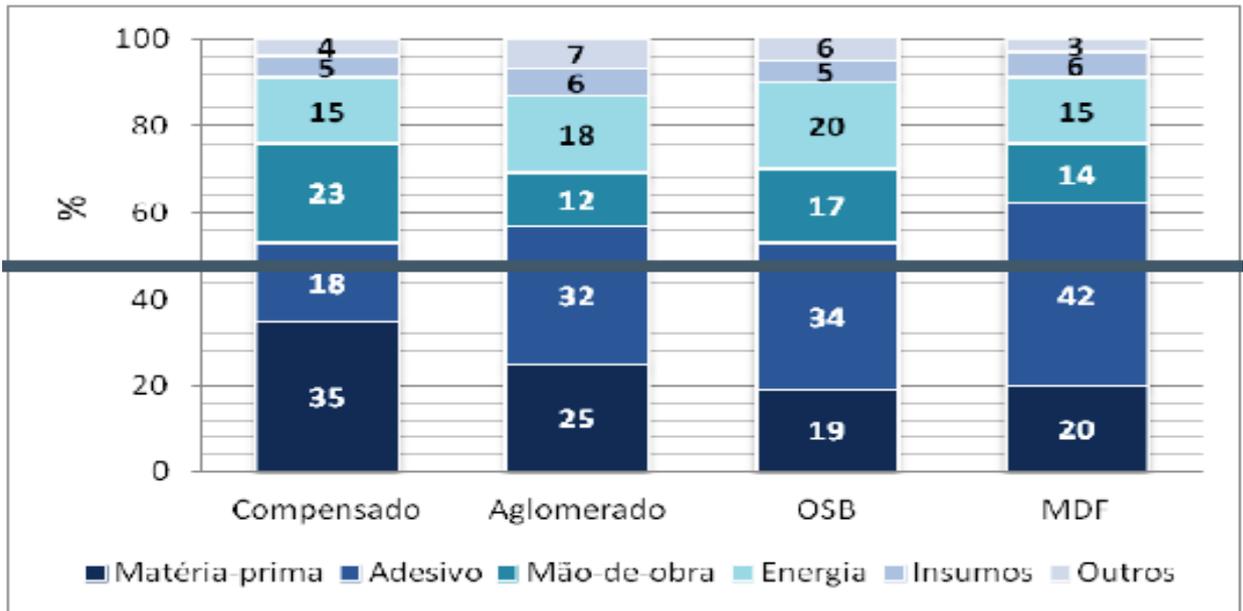
Figura 1 - Processo ilustrativo de produção de painéis MDP.



Fonte: SANTOS ANDIRÁ MÓVEIS (2014).

Durante o processo descrito na Figura 1, o adesivo representa o maior custo envolvido no processo, fazendo-se necessário otimizar sua utilização de acordo com as características desejadas ao painel e finalidade a qual os painéis serão destinados. De acordo com Mendes (2000), o custo do adesivo em painéis aglomerado representa 32 % do custo total, sendo que a somatória dos custos da matéria- prima e adesivo ultrapassam 50% do valor de todo o processo, como mostra a Figura 2. Neste sentido, a utilização de possíveis fibras/partículas de reforço podem minimizar a dosagem de resina.

Figura 2 - Custo de produção de alguns painéis.



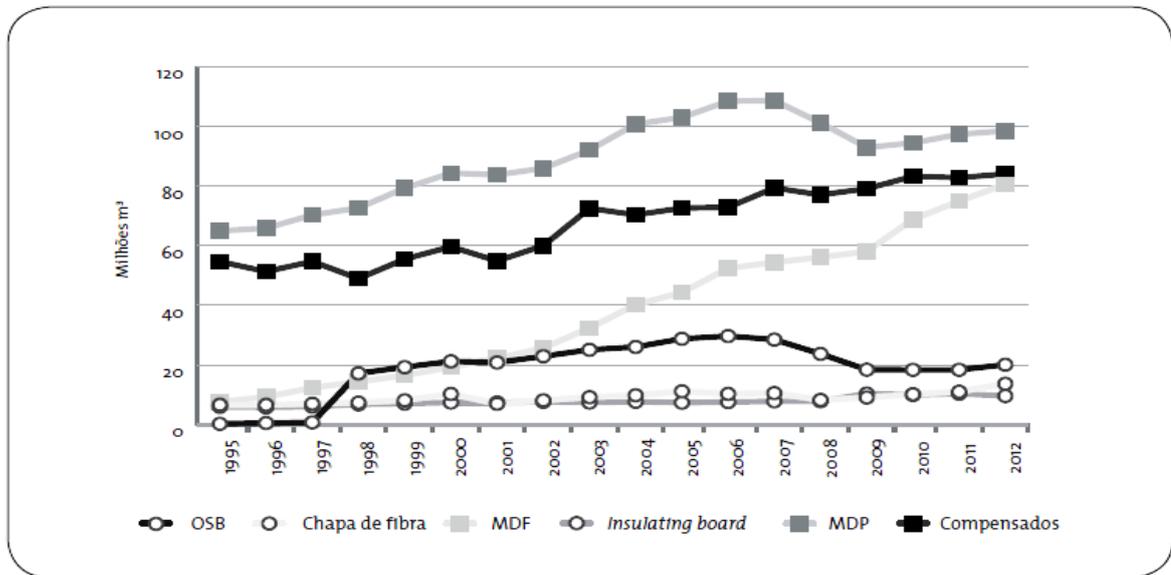
Fonte: MENDES (2000)

Segundo Maloney (1993 apud VALARELLI et al., 2013), os painéis aglomerado podem ser configurados de maneiras distintas: homogêneo, múltiplas camadas e graduado, de acordo com a distribuição de suas partículas. Os painéis homogêneos são caracterizados pela distribuição ao acaso das partículas, resultando em uma única operação na formação do colchão. Os painéis em múltiplas camadas possuem as camadas internas (CI) formadas por partículas de maior granulometria, sendo que as partículas de menor granulometria são dispostas nas camadas externas (CE).

3.1.2 Importância e Aplicações

No ano de 1995, o consumo mundial de MDP correspondia a 46% do total de painéis de madeira produzidos, sendo que em 2012, esse valor caiu para 32%. Apesar de ter perdido participação no consumo mundial, especialmente por causa da concorrência com o MDF (Medium Density Fiberboard ou Painel de Fibra de Média Densidade), o MDP ainda mantém a liderança como o principal painel de madeira consumido mundialmente, conforme mostra a Figura 3 e a Tabela 1. (VIDAL; HORA, 2014)

Figura 3- Consumo de painéis de madeira no mundo



Fonte: VIDAL; HORA (2014).

Tabela 1 - Consumo de painéis de madeira no mundo

Tipo de painel de madeira	Consumo (mil m ³)			Consumo % do total			CAGR (%)		Variação no volume (m ³) a.a.	
	1995	2003	2012	1995	2003	2012	1995-2003	2003-2012	1995-2003	2003-2012
PMR	85.493	166.134	222.463	61	70	73	8,7	3,3	10.080	6.259
Chapa de fibra	6.644	9.195	13.698	5	4	4	4,1	4,5	319	500
MDF	7.637	32.389	80.606	5	14	26	19,8	10,7	3.094	5.357
MDP	64.949	92.023	98.452	46	39	32	4,5	0,8	3.384	714
OSB	282	25.109	20.095	0	11	7	75,3	(2,4)	3.103	(557)
Insulating board	5.981	7.417	9.612	4	3	3	2,7	2,9	179	244
Compensados	54.630	72.508	84.017	39	30	27	3,6	1,7	2.235	1.279
Total	140.124	238.641	306.480	100	100	100	6,9	2,8	12.315	7.538

Fonte: VIDAL; HORA (2014).

Os painéis aglomerado de partículas possuem uma grande versatilidade de aplicações, sendo amplamente utilizados na indústria de móveis, construção civil, embalagens, entre outros. Também é indicado para confecção de portas e armários, mobiliário de cozinha e quarto, especialmente por suas características físicas e menores custos (ENGENHARIA

APLICADA À VALORIZAÇÃO DA MADEIRA, s.d.). Especificamente no Brasil, mais de 90% da produção de aglomerado é destinada aos polos moveleiros, sendo que entre as principais aplicações estão: portas retas, miolos de portas, prateleiras, divisórias, laterais de móveis, base superior e inferior e frentes e laterais de gavetas. (VALARELLI et al., 2013; ENGENHARIA APLICADA À VALORIZAÇÃO DA MADEIRA, s.d.)

3.1.3 Propriedades tecnológicas

As propriedades tecnológicas, ou o desempenho dos painéis em ensaios de caracterizações físicas e mecânicas, visam enquadrar os produtos em normas vigentes e, principalmente, indicar quesitos de qualidade que indiquem sua correta utilização final.

O desempenho de painéis particulados pode ser influenciado por diversos fatores, entre eles destacam-se: escolha do material a ser empregado, coleta e geometria das partículas utilizadas e as diversas etapas que compõem o processo produtivo, buscando constantemente maior qualidade e resistência ao compósito produzido (VALARELLI et al., 2013).

Atualmente, existem diversas normas que padronizam os procedimentos para a realização de ensaios de controle de qualidade dos painéis aglomerado. No Brasil, a norma técnica em vigência é a Norma Brasileira (NBR) 14810 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), a qual define os termos usualmente empregados na especificação, execução de ensaios, comercialização e utilização de painéis de partículas. Além da norma brasileira, as principais normas estrangeiras para ensaios em painéis aglomerados são a alemã: Normen Für Holzfaserplatten Spanplatten Sperrholz - DIN 53362 (1982) e a americana: American Society for Testing Materials - ASTM D1037 (1996) (GRUBERT, 2014).

3.1.3.1 Densidade

Entre as variáveis inerentes à espécie de madeira, a densidade é classificada como uma das mais importantes, principalmente por ser um dos componentes que influenciará diretamente a razão de compactação, ou seja, a relação entre a densidade da chapa e a densidade da madeira utilizada como matéria prima na confecção das chapas (MALONEY, 1993; MOSLEMI, 1974; KELLY, 1977 apud SALDANHA, 2004).

Segundo Valarelli et al. (2003), espécies de madeira com densidades inferiores proporcionam uma razão de compactação mais elevada, conseqüentemente, maior superfície de contato quando comparadas as madeiras de densidades mais elevadas. Dessa maneira, madeiras

de baixa densidade resultam em um produto mais uniforme, com propriedades de flexão e ligação interna mais elevadas, especialmente pela alta capacidade de transmitir esforços entre as partículas.

3.1.3.2 Inchamento em espessura e absorção de água

Conforme descrito por Brito (1995), o inchamento em espessura representa uma das propriedades mais importantes quando se discute sobre estabilidade dimensional em painéis. O autor destaca que essa propriedade pode ser afetada pela espécie da madeira, geometria das partículas, teor de resina, teor de parafina, condições de prensagem e densidade dos painéis.

A absorção de água também é influenciada pela densidade do painel, conforme explica Vital e Wilson (1980), sendo que a absorção decresce com o aumento da densidade. Os autores afirmam ainda que em painéis aglomerado, os quais utilizam resinas fenólicas ou uréicas, o menor incremento em absorção de água deve ocorrer em painéis constituídos de partículas finas com alta densidade.

Albuquerque (2002) descreve que a utilização de partículas mais grossas, em painéis menos densos, promove uma maior absorção de água, e em painéis mais densos, um maior inchamento em espessura.

3.1.3.3 Umidade

De acordo com BELINI (2012), a umidade da matéria prima é uma das variáveis mais importantes durante o processo de confecção laboratorial dos painéis, requerendo o controle e cumprimento das especificações indicadas para garantir a qualidade dos painéis. Em casos de alta umidade, ocorrerá a formação de bolhas, rompendo o painel em sua superfície, na maioria dos casos. Já em casos de baixa umidade, haverá ruptura na parte central do painel, pois não haverá água em quantidade suficiente para conduzir calor às regiões internas do painel, afetando também a cura da resina.

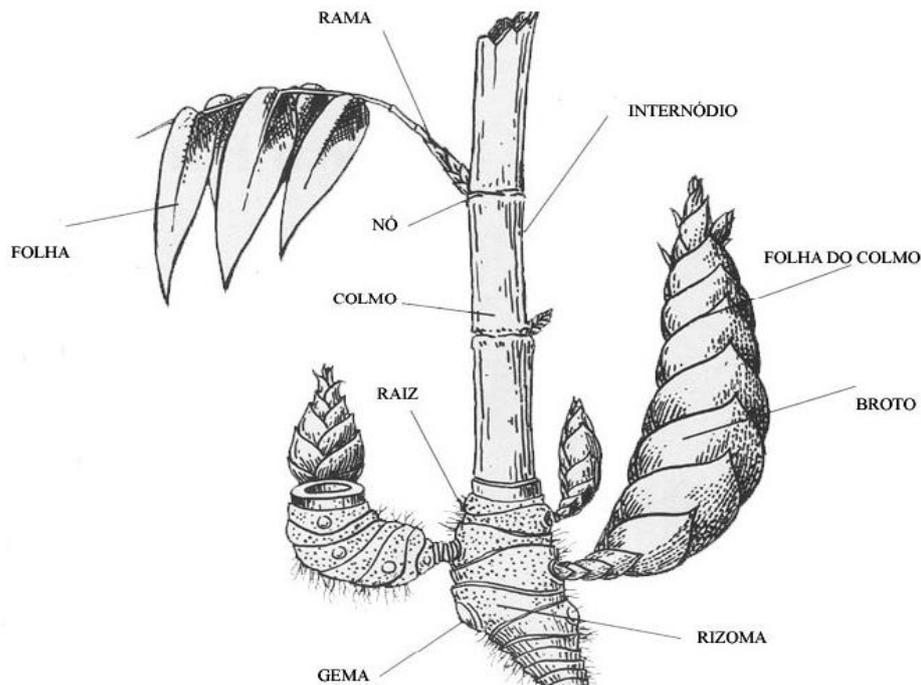
3.2 BAMBU

3.2.1 Aspectos gerais

O bambu pertence à família Poaceae e Gramineae, e subfamília Bambusoideae, sendo divididos em duas grandes tribos: os bambus herbáceos e os bambus lenhosos. Os bambus lenhosos se diferem pela lignificação de seus colmos e hábito arborescente (MANHÃES, 2008). Além disso, podem ser divididos em duas categorias de acordo com o hábito de crescimento: alastrantes com rizomas longos e colmos distantes entre si, e entouceirantes com rizomas curtos e colmos agrupados (GRECCO; CROMBERG, 2011).

Devido às características de seu colmo, o bambu é considerado uma planta monocotiledônea, lenhosa, pertencente ao grupo das Angiospermas. Assim como as árvores, o bambu é formado por uma parte subterrânea e outra aérea (Figura 4). A parte subterrânea é composta por rizomas e raízes, já a parte aérea, é denominada de colmo, podendo ser comparado ao tronco ou caule das árvores (SPOLIDORO, 2008).

Figura 4 - Partes que compõem o bambu



Fonte: MOIZES (2011).

De acordo com Singh et al. (2013), o centro de origem e também de diversidade do bambu está localizado na Ásia (China: 626 espécies, Índia: 102, Japão: 84, Myanmar: 75, Malásia: 50). Na América do Sul, Brasil, Venezuela e Colômbia constituem os países com maior diversidade natural, como mostra a Figura 5.

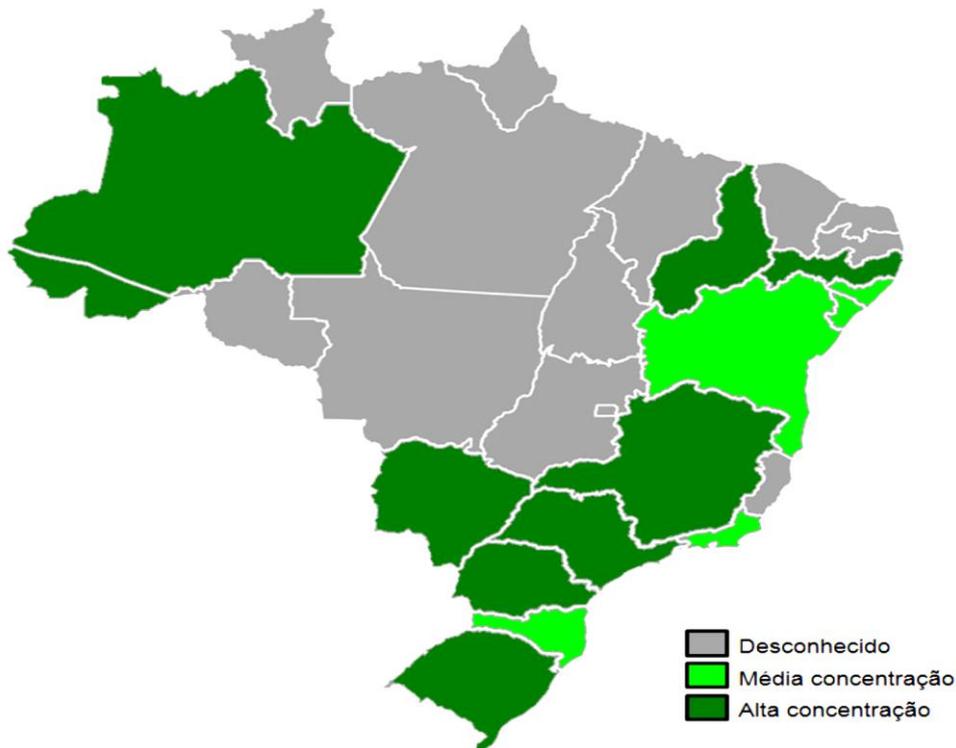
Figura 5 - Distribuição das espécies de bambu no mundo



Fonte: RIPPER (2012).

O Brasil apresenta 89% dos gêneros e 65% das espécies reportadas ao continente americano, sendo que as regiões nordeste e centro-oeste apresentam os maiores plantios, conforme ilustra a Figura 6 (FILGUEIRAS; GONÇALVES, 2004).

Figura 6 - Distribuição estimada de bambus por Estado



Fonte: MORAIS (2011).

As espécies de bambu podem se reproduzir tanto sexuadamente por sementes como assexuadamente por propagação vegetativa através de segmentos de colmos ou rizomas. Em comum, apresentam florescimento monocárpico com intervalos que variam de 3 a 120 anos, com floração e frutificação maciças e eficiente sincronia (JANZEN, 1976; NADGAUDA et al., 1990). A reprodução por sementes é prejudicada devido à baixa viabilidade da semente, perdendo rapidamente o poder germinativo e necessitando de condições especiais para germinarem. Entretanto, a propagação vegetativa é limitada devido à disponibilidade de propágulos, dependência sazonal, baixa taxa de sobrevivência, incidência de doenças e pragas, classificação taxonômica dificultada, e o alto custo de produção de mudas por técnicas convencionais, principalmente em decorrência de insumos e transporte (OPRINS et al., 2004; MUDOI et al., 2013; SINGH et al., 2013).

3.2.2 Importância e Usos

Desde o princípio do desenvolvimento tecnológico, o bambu tem acompanhado o desenvolvimento do ser humano. Conhecido no oriente como planta dos mil usos, o bambu é utilizado para alimentação, uso medicinal, construção civil, produção de cosméticos e instrumentos musicais, recuperação de áreas degradadas, fabricação de papel, entre outros. Além disso, é considerado uma cultura ecológica, devido aos baixos impactos ambientais causados e poder regenerativo do solo (RAO et al, 1998 apud SILVA, 2007).

Em alguns países, o bambu já é considerado um meio alternativo de aumentar a produtividade agrícola, gerar empregos e estimular indústria, como já ocorre na China, Nepal, Filipinas e Havaí. Nestes países, o bambu tem sido alvo de pesquisas e desenvolvimento tecnológico, não estando restrito às formas naturais de utilização, mas sim na fabricação de pisos, painéis laminados e derivados (CALEGARI et al, 2007).

3.2.3 Propriedades Físico – Mecânicas

Hidalgo Lopes (2003 apud PEREIRA; BERALDO, 2008) afirma que cada espécie de bambu apresenta características mecânicas, físicas e anatômicas diferenciadas, as quais são dependentes de fatores como: condição ambiental de desenvolvimento dos colmos (tipo de solo, clima, altitude), constituição química, idade e altura dos colmos. Dessa maneira, torna-se extremamente difícil a padronização de dados e extrapolação dos mesmos para diferentes

espécies e diferentes locais de produção. Outro fator que acaba dificultando a comparação de ensaios é a diferenciação das metodologias utilizadas mundialmente.

A densidade dos bambus varia entre 500 a 800 kg/m³, valores estes influenciados principalmente devido ao tamanho, quantidade e distribuição dos aglomerados de fibras aos redores dos feixes vasculares. Dessa maneira, a resistência á flexão na base do colmo é 2 a 3 vezes maior na parte externa se comparado à parte interna. A medida que se aproxima do topo, essas diferenças diminuem, devido a maior densidade na parte interna e também a redução da espessura da parede, a qual apresenta em seu interior menor quantidade de parênquima e maior quantidade de fibras (MURAD, 2011).

Nogueira (2008) afirma que o bambu possui características higroscópicas similares à madeira, ou seja, quando colocado em ambiente muito úmido, haverá absorção da umidade do ar. O contrário acontece quando o bambu é saturado e colocado em ambiente de menor umidade. Outro fator de significativa relevância para a espécie é o PSF (Ponto de Saturação das Fibras), abaixo desse ponto é que ocorrem alterações na estrutura do bambu, como as contrações, as quais podem causar defeitos como empenamentos e rachaduras, consequentemente alterando suas resistência mecânica.

Segundo Moizés (2007), o bambu já apresenta naturalmente resistência à flexão, tração e compressão muito superiores àquelas de outros materiais naturais, podendo fornecer resultados ainda mais satisfatórios quando combinado com adesivos. Outro fator, que também diferencia o bambu de outros materiais vegetais estruturais é sua alta produtividade. Após dois anos e meio de sua brotação, o bambu apresenta resistência mecânica estrutural, não encontrando dessa maneira, concorrentes no reino vegetal. Podem-se citar ainda outras características favoráveis ao bambu, como: baixa densidade, geometria circular oca, forma tubular acabada. (GHAVAMI, 1989; MOREIRA, GHAVAMI, 1995 apud PEREIRA; BERALDO, 2008).

Segundo Liese (1998), o bambu apresenta propriedades mecânicas excelentes, as quais são influenciadas principalmente pelo teor de umidade do colmo. Essas propriedades estão correlacionadas com a idade e densidade dos colmos, dependendo fortemente do teor de fibras, que constitui o principal elemento responsável pela resistência do bambu. Para Pereira e Beraldo (2008), a idade dos colos seguramente é o fator que mais influencia as propriedades do bambu. Dessa maneira, o ideal seria escolher colmos que já tenham atingindo a maturidade, pois colmos ainda imaturos apresentam maior variabilidade nos resultados dos ensaios, dificultando a padronização dos mesmos.

Janssen (2000), por sua vez, afirma que a massa específica aparente é a principal propriedade mecânica responsável pelas características de resistência do bambu. De acordo com o autor, quanto maior a sua massa específica aparente, mais denso o bambu será, sendo que ocorre uma variação nesses valores de acordo com o local de crescimento, espécie e posição do colmo. O autor ainda realiza uma comparação de resistência e dureza entre bambu, madeira, aço e concreto, sendo que o bambu apresenta-se inferior somente ao aço, quando relacionada sua resistência com a massa específica aparente.

3.2.4 Painéis produzidos a base de Bambu

O primeiro painel desenvolvido à base de bambu foi produzido na China, no ano de 1940. Desde então, até o ano 2000, outros 28 tipos de painéis foram desenvolvidos. Apesar do avanço tecnológico, apenas algumas placas, como o bamboo mat board e o bamboo strip board, são produzidos em escala industrial, sendo que o restante é confeccionado apenas para experimentação laboratorial. Dessa maneira, a comercialização de painéis de bambu não é compatível com a variedade e versatilidade de produtos já desenvolvidos (GANAPATHY et al, 1999).

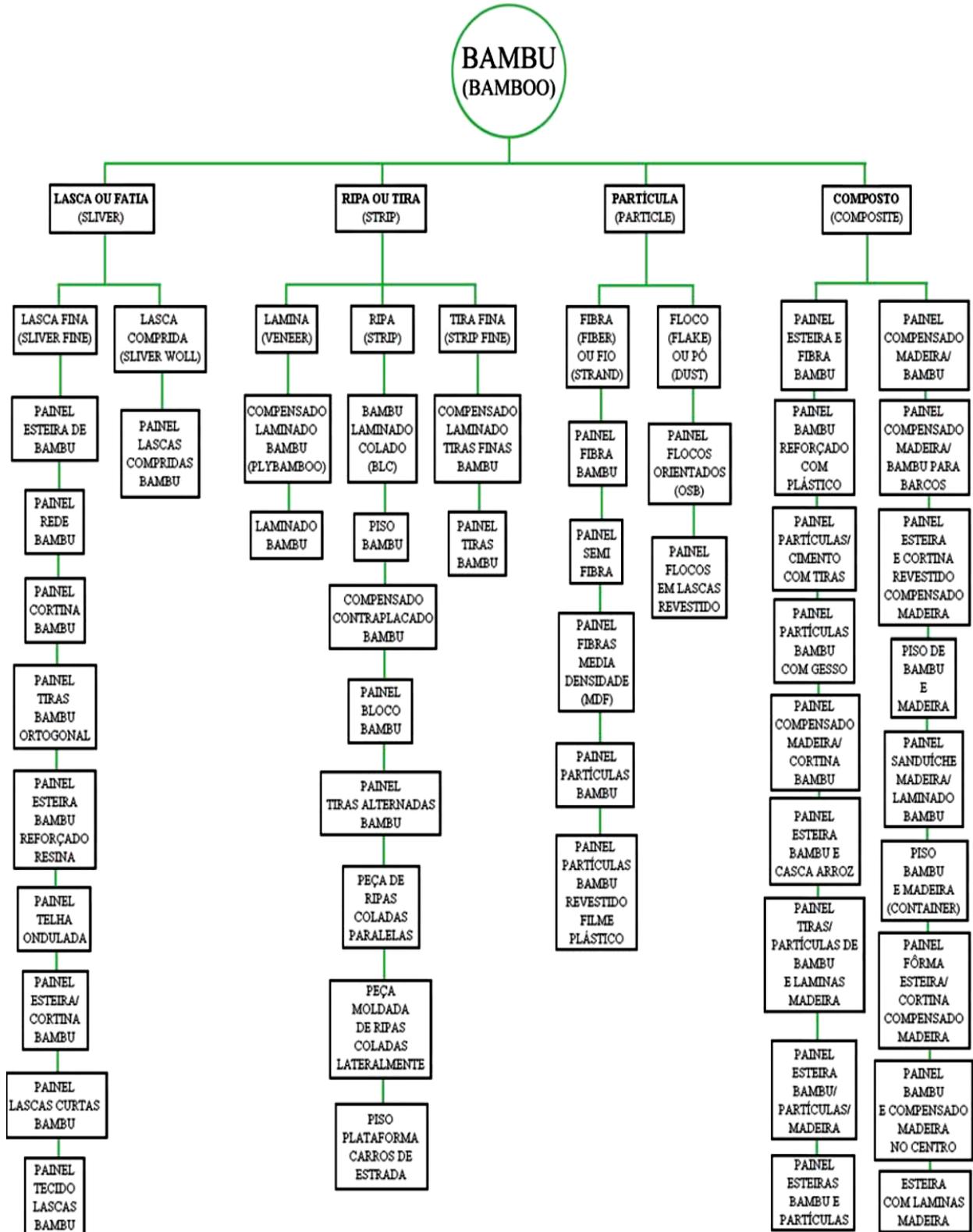
As partículas de bambu utilizadas na confecção de painéis aglomerado podem ser provenientes de espécies com colmos de pequeno diâmetro, espécies pouco conhecidas e até mesmo resíduos do seu processamento, aumentando dessa maneira as possíveis fontes de matéria prima. O processo de fabricação dos painéis utilizando-se partículas de bambu segue a mesma tecnologia utilizada na confecção do aglomerado de madeira, ou seja, corte, picagem, secagem, formação do colchão e prensagem (ROSA, 2013).

Conforme descrito por Moizés (2007), os painéis de bambu são classificados a partir de seu uso, estruturas, processo de fabricação, formato e tamanho do material utilização durante o processo, podendo ser confeccionados a partir de lascas finas, ripas finas, lâminas, partículas e fibras. Na literatura mundial, encontram-se painéis com diferentes denominações, de acordo com sua aplicação. Dessa maneira, as denominações variam de acordo com o país em questão.

Alguns dos principais painéis e peças confeccionados a partir de bambu são: Chapa de cortina de bambu (*Bamboo Curtain Board*); Chapa de esteira de bambu (*Bamboo Mat Board*); Esteira de Bambu (*Bamboo Mat*); Bambu Laminado Colado (*Bamboo Laminated Glued*); Bambu Laminado Colado contra-placado (*Bamboo Laminated Plybamboo*); Pisos de bambu (*Bamboo Floor Laminated Board*); Chapa de aglomerado de Bambu (*Bamboo Fiber Board*);

Chapa de partículas de bambu (*Bamboo Particle Board*), como mostra o organograma. (Figura 7).

Figura 7 - Produtos confeccionados a partir de bambu (Organograma)



Fonte: MOIZÉS (2007).

Beraldo e José (2006) compararam as propriedades físicas e mecânicas de chapas prensadas de partículas de bambu (*Bambusa vulgaris*) com outros três produtos comerciais (aglomerado, MDF e OSB). As chapas com partículas de bambu apresentaram bom comportamento especialmente em relação ao inchamento. Porém, o comportamento mecânico mostrou-se insatisfatório, principalmente quando comparadas com as chapas comerciais de OSB.

Segundo Calegari et al., (2006), o uso de colmos de bambu (*Bambusa vulgaris Schr.*) constitui-se uma alternativa viável para a produção de chapas aglomeradas, pois se comportou de forma similar às chapas produzidas somente com madeira. Entretanto, estudos realizados por Melo et al. (2015), evidenciaram que o aumento do percentual de partículas de bambu em painéis aglomerado pode proporcionar perda da qualidade nos mesmos (aumento da absorção de água e redução da resistência a flexão e arrancamento de parafusos).

Segundo o autor, o bambu quando combinado com partículas de madeira, promove a confecção de painéis aglomerado com propriedades físico-mecânicas similares aos confeccionados apenas com madeira. Almeida, Valarelli e Battistelli (2008) verificaram que os painéis de partículas constituídos de *Pinus spp* e de bambu (*Dendrocalamus giganteus*) apresentaram melhores resultados nos ensaios físicos quando misturado 50 % de *Pinus* e 50% de bambu.

3.2.5 *Phyllostachys nigra*

O gênero *Phyllostachys* é o mais conhecido entre os bambus encontrados no mundo de clima temperado, sendo que a maioria das espécies é nativa do leste da China e do Japão e apresenta ampla distribuição em Santa Catarina, notadamente na região oeste do estado.

Caracterizam-se por seus colmos fortes, resistentes e, geralmente, podem suportar o calor, frio e seca espalhando-se rapidamente. O gênero distingue-se dos demais pelos seus colmos impressionantemente altos, robustos, com um par de ramos em cada nó, e um sulco (um recuo no lado do colmo acima dos ramos). Destaca-se também pela grande variedade de cores de seus colmos (caramelo, preto, verde e amarelo), apresentando rápido crescimento e grande valor ornamental. (MOTOOKA et al., 2003)

A espécie *Phyllostachys nigra* (Figura 8) não permite o crescimento de outras plantas no mesmo local, deslocando a vegetação nativa dessa maneira. Também é considerada de difícil controle, sendo necessária primeiramente uma intervenção mecânica, seguida de aplicação de herbicidas para evitar a rebrota (MOTOOKA et al., 2003)

Figura 8 – Imagem ilustrativa de colmos de *Phyllostachys nigra*.



Fonte: MOTOOKA et al.(2003)

3.3 RESÍDUOS

3.3.1 Caracterização

Resíduo sólido é todo ou qualquer material proveniente das atividades diárias de um homem, cujo proprietário não considera que o mesmo possui valor suficiente para conservá-lo. A administração inadequada desse resíduo pode constituir-se um risco à comunidade, causando simultaneamente problemas de saúde pública e de degradação do meio ambiente (COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL, 1998).

Durante o processamento da madeira, os produtos principais estão associados à geração de resíduos sólidos, sendo estes originados desde o corte da árvore até as etapas de processamento (primário e secundário). Em serrarias, por exemplo, pode ser observada uma quantidade expressiva de resíduos madeireiros, os quais muitas vezes são inutilizados e armazenados em locais inadequados (BOA et al.,2014).

De acordo com Hillig et al., (2006), o percentual de resíduos gerados em relação à madeira processada depende de alguns fatores como: matéria – prima utilizada, processo empregado, condições tecnológicas do processo e produto final obtido. Em geral, as perdas no desdobro e nos cortes de resserra de madeira de reflorestamento situam-se entre 20% e 40% do volume das toras processadas (FINOTTI et al., 2006 apud CERQUEIRA et al.,2012).

Segundo Fontes (1994), os resíduos madeireiros podem ser classificados em três categorias:

- (a) Serragem, originada da operação de serras, em todas as indústrias, exceto as laminadoras;
- (b) Cepilho, também conhecida como maravalha, resíduo gerado por plainas;
- (c) Lenha, resíduo com maiores dimensões, gerado por todos os tipos de indústria, como por exemplo: refilos, aparas, resto de lâminas.

Em um estudo realizado em serrarias no município de Eunápolis-Ba, Cerqueira et al. (2012) constatou que os principais resíduos gerados pelas serrarias são serragem (36,17%), lenha (25,53%), maravalhas (23,40%) e cavacos (12,77%). Em relação à destinação dos resíduos gerados pelas serrarias avaliadas, constatou-se que a maioria das empresas (55%) realiza a venda dos resíduos para a geração de energia em cerâmicas próximas ao município, 17% realizam a venda dos resíduos para utilização em baias de animal, 16% doam a interessados, 8% descartam nos lixões e 2% utilizam para confecção de pequenos artefatos de madeira.

O descarte de resíduos pode ocasionar sérios problemas ambientais (DUTRA; NASCIMENTO; NUMARAZA, 2005; SANTANA, 2014). A carbonização e combustão da madeira podem ser consideradas alternativas de redução de resíduos de indústrias, porém, durante o processo ocorre a liberação de gases atmosféricos, os quais geram impactos ao meio ambiente, entre eles pode-se citar o Dióxido de Carbono (CO₂) (SANTANA, 2014; FONTES, 1994).

3.3.2 Reutilização de resíduos

A reutilização e a reciclagem têm como objetivo principal evitar a passagem sem controle de materiais e objetos usados (resíduos) para o meio ambiente. Conceitualmente, a reutilização difere de reciclagem, pois trata-se do aproveitamento do resíduo sem que o mesmo passe por qualquer processo, podendo ser utilizado para a mesma finalidade anterior ou outra qualquer, porém, sem alterações em suas características iniciais. A reciclagem, por sua vez, realiza uma série de processamentos no resíduo para que o mesmo retorne a cadeia produtiva como matéria prima, gerando dessa maneira novos produtos (SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE, 2010; COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL, 1998).

O conhecimento da quantidade e qualidade dos resíduos pode gerar possibilidades de uso que visem seu aproveitamento, evitando possíveis problemas gerados pelo seu incorreto

descarte. Dessa maneira, é possível aliar o retorno econômico com geração de renda e empregos, melhorando simultaneamente aspectos políticos, sociais e ambientais. Pode-se citar a utilização de resíduos em granjas, coberturas, compostagem, geração de energia, confecção de briquetes, carvão ativado e painéis de madeira reconstituída (SANTANA, 2014).

3.3.3 Painéis produzidos à base de resíduos

No Brasil, a indústria de painéis consome um volume significativo de madeiras provenientes de florestas plantadas, especialmente dos gêneros *Pinus* spp e *Eucalyptus* spp. Devido a crescente demanda de madeira, há necessidade de não só aumentar a área de plantio dessas espécies, mas também de considerar a utilização de novas opções de matérias-primas (MENDES et al., 2010).

Segundo Caraschi, Leão e Chamma (2009), a agroindústria brasileira disponibiliza uma grande quantidade de resíduos lignocelulósicos com potencialidade de aproveitamento na fabricação de novos materiais, inclusive painéis, como por exemplo: bagaço de cana de açúcar, palha e sabugo de milho, juta, fibra de coco, casca de arroz e casca de amendoim.

Mattos et al., (2011), utilizaram resíduos da casca de coco-verde na confecção de painéis de fibra. Os painéis elaborados apresentaram inchamentos de 4% e 6% (para 2 e 24 horas de imersão, respectivamente) e absorção de água de 23% e 31%. Esses valores estão situados bem abaixo dos níveis máximos permitidos para o MDF tipo 15, atendendo plenamente aos valores estabelecidos na padronização internacional JIS A 5905: 2003.

Razera (2006) destaca que os produtos reconstituídos de madeira (painéis de partícula e fibras), também podem ser confeccionados a partir do próprio resíduo madeireiro gerado através do processamento industrial (serraria, laminação, etc.) de baixo valor comercial. Dessa maneira, tonam-se produtos considerados ecologicamente corretos, pois utilizam materiais que seriam descartados e contribuem para a diminuição do impacto ambiental.

Andrade (2012) utilizou resíduos da laminação de madeira (lascas) para produzir e caracterizar painéis reconstituídos. A partir da caracterização física e mecânica dos resultados obtidos, constatou-se que os painéis possuíam propriedades elevadas de resistência à flexão, alta densidade, teor de umidade conforme a norma e inchamentos em espessura após 24h coerentes com painéis OSB estruturais de uso interno e externo.

3.4 ADESIVOS

Entre os fatores que influenciam a qualidade dos painéis, pode-se citar o tipo, quantidade e qualidade dos adesivos utilizados (BARROS FILHO, 2009). De acordo com Valarelli et al. (2013), adesivos são substâncias químicas utilizadas como elemento ligante na fabricação de aglomerados e laminados de madeira.

Até o século XX, ainda eram utilizados adesivos de origem animal ou à base de vegetais. A partir de 1930, o desenvolvimento de resinas líquidas à base de ureia-formaldeído e fenol-formaldeído possibilitou a obtenção de chapas de madeira de melhor qualidade (RIVERO, 2003). Atualmente, os adesivos utilizados de maneira predominante em painéis de madeira são sintéticos à base de petróleo (BARROS FILHO, 2009), e tem na resina uréia-formaldeído (UF) seu principal insumo que corresponde por cerca de 90% dos painéis MDP produzidos no mundo, motivo pelo qual foi a utilizada na presente avaliação.

O adesivo representa o maior custo durante a produção de painéis, dessa maneira, a forma de aplicação e quantidade utilizada deve ser bem planejada de acordo com as propriedades desejadas e uso final. Essa quantidade irá ser baseada de acordo com o peso seco das partículas, variando de 5 a 10%. Em painéis de multicamadas e de camadas graduadas, as partículas que compõem as camadas externas (partículas menores) exigem quantidades maiores de adesivo, se comparadas à camada interna (BARROS FILHO, 2009).

3.4.1 Ureia Formaldeído (UF)

Desenvolvida na década de 30, a resina uréia-formaldeído é atualmente aplicada de maneira ampla na indústria madeireira para colagem de madeira sólida, compósitos laminados e particulados. Na produção de painéis compósitos, ela está presente em cerca de 90% dos painéis produzidos no mundo, principalmente devido ao seu bom desempenho, seu baixo custo, cura rápida, fácil manuseio e coloração incolor (BARROS FILHO, 2009; VALARELLI et al., 2013). Entretanto, segundo Wiedman (2002), a resina UF possui baixa resistência à umidade, sendo classificada como de uso interior, além de emitir formol, gás tóxico que é liberado ao longo da vida útil das chapas e painéis.

Segundo Vick (1987), a resina UF pode ser comercializada na forma de pó seco ou na forma líquida, podendo ser misturada a outras resinas, como por exemplo, a melanim-formaldeído. Na forma seca (em pó), extensores, catalisadores ou endurecedores também podem ser adicionados à resina uréia-formaldeído, desempenhando a função de reativar a pré-

condensação e aumentar a velocidade de polimerização e cura da resina. Ainda, utiliza-se emulsão de parafina para reduzir a higroscopicidade das partículas de madeira e melhorar a estabilidade dimensional dos painéis (VALARELLI et al., 2013).

4 METODOLOGIA

4.1 COLETA E PROCESSAMENTO DAS MATÉRIAS PRIMAS

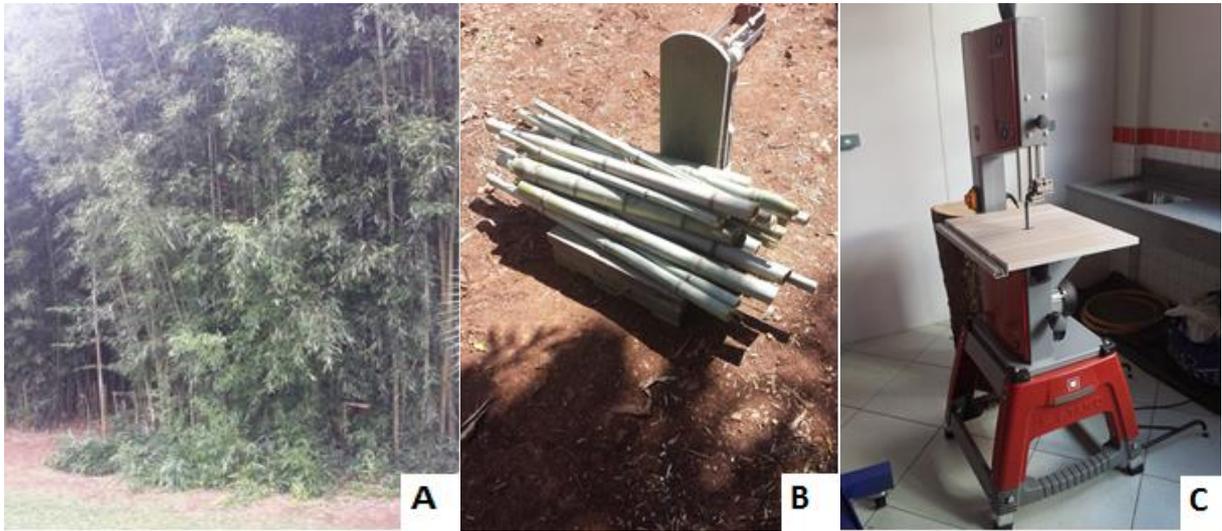
4.1.1 Resíduo Madeireiro

Os resíduos madeireiros de *Pinus* spp foram fornecidos pela empresa Berneck S.A. Painéis e Serrados, Unidade Curitibanos, sendo oriundos do processamento das toras e que normalmente são destinados para classificação e possível uso na linha MDF da empresa. Posteriormente, foram alocados no Laboratório de Recursos Florestais da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), localizado atualmente no Centro de Educação Profissionalizante (CEDUP) no município de Curitibanos – SC. Na sequência o material foi classificado em peneiras, utilizando-se malhas de 2,5 mm x 2,5 mm e 3,5 mm x 3,5 mm.

4.1.2 Bambu (*Phyllostachys nigra*)

Os colmos de bambu (*Phyllostachys nigra*), apresentados na Figura 9 A, foram coletados em uma propriedade particular localizada no interior do município de Frei Rogério-SC, com auxílio de moto serra. Ainda no local, os colmos foram cortados em amostras com aproximadamente 1 m de comprimento e pesados, totalizando aproximadamente 30 kg de material (Figura 9 B). Após a coleta, os mesmos foram transportados para o Laboratório de Recursos Florestais onde foram reduzidos a pequenas dimensões, com auxílio de Serra Fita da marca Einhell, modelo RT –SB 305 U. (Figura 9 C), para facilitar a posterior redução em partículas.

Figura 09 - Coleta e Processamento do Bambu (A) *Phyllostachys nigra* na propriedade em Frei Rogério – SC (B) Pesagem dos colmos (C) Serra Fita



Fonte: O autor (2015)

4.1.3 Adesivo

O adesivo utilizado na confecção dos painéis foi a base de ureia-formaldeído (UF), dosagem de 12%, doado pela empresa Sudati MDF Ltda., localizada no município de Otacílio Costa – SC. O adesivo apresentava teor de sólidos de 66%, sendo normalmente utilizado na confecção de painéis reconstituídos.

4.1.4 Parafina

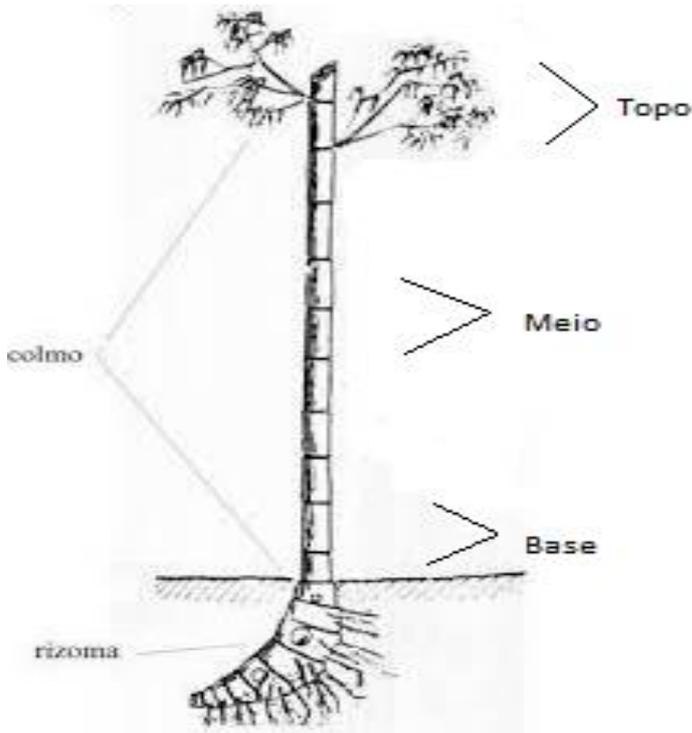
A parafina utilizada na confecção dos painéis, com dosagem de 1,5 %, também foi fornecida pela empresa Sudati MDF Ltda, A parafina apresentava teor de sólidos de 45%, sendo normalmente utilizado na confecção de painéis reconstituídos.

4.2 DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE BÁSICA DO BAMBU

Para a determinação da densidade básica do bambu (*Phyllostachys nigra*) foram selecionados 3 colmos, todos eles com idade aproximada de 3 anos. Retirou-se uma amostra com 15 cm de comprimento da base, meio e topo de cada colmo, totalizando 9 amostras, conforme Figura 10.

O método utilizado foi o de máximo teor de umidade, de acordo com a norma NBR 11941 (2003). Dessa maneira, as amostras primeiramente foram colocadas em água em temperatura ambiente para saturação. Após a saturação, pesaram-se as amostras em balança semi-analítica com precisão de 0,01 g. Na sequência, as mesmas foram transferidas para estufa ($103 \pm 2^\circ\text{C}$), realizando-se nova pesagem após atingirem peso constante.

Figura 10 – Local de retirada das amostras no colmo de bambu para determinação da densidade básica.



Fonte: O autor (2015)

O cálculo da densidade básica realizou-se através da Equação 1:

$$Db = \frac{1}{\frac{Pt}{Ps} - 0,346} \quad (1)$$

Onde :

Db= densidade básica (g/cm^3);

Pt= Massa saturada em água (g);

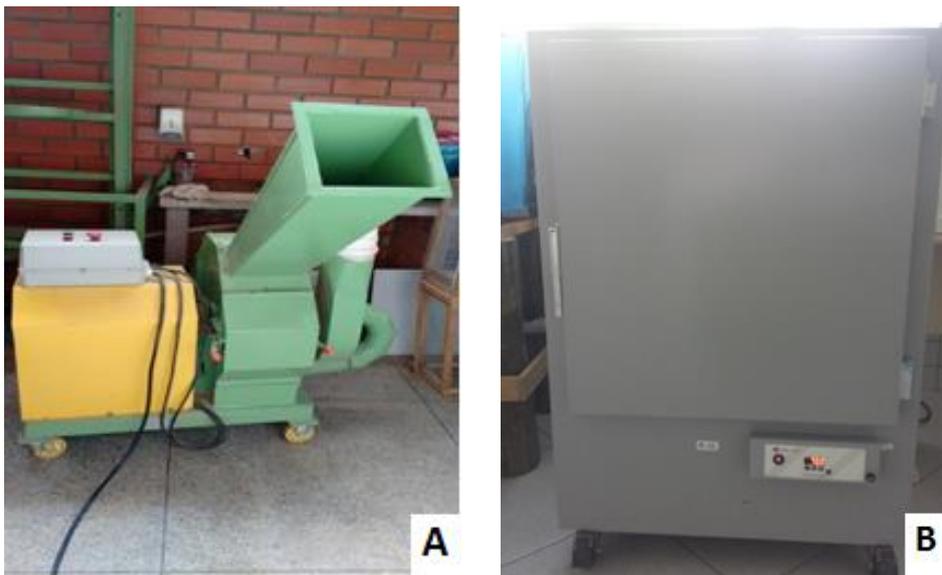
Ps= Massa seca (g).

Após o cálculo da densidade básica de cada uma das amostras, calculou-se a média entre os valores obtidos na base, meio e topo, obtendo-se o valor de densidade média para cada um dos 3 colmos e a média da espécie.

4.3 PROCESSAMENTO DOS COLMOS DE BAMBU EM PARTÍCULAS

Para a transformação dos colmos do bambu em partículas, utilizou-se primeiramente um picador (Figura 11 A), o qual está localizado no Centro de Ciências Agroveterinárias (CAV) da Universidade Estadual de Santa Catarina (UDESC) em Lages – SC. Porém, devido ao alto teor de umidade do material, o equipamento não foi capaz de realizar o processamento. Posteriormente, o material retornou ao Laboratório de Recursos Florestais, onde foi seco em estufa, marca Marq Labor, com circulação forçada de ar a 60°C por dois dias. (Figura 11B)

Figura 11 – Processamento e secagem dos colmos: (A) picador e (B) secagem em estufa



Fonte: O autor (2015)

Após a secagem, o material foi picado utilizando-se um triturador de galhos e resíduos orgânicos da marca TRAPP, modelo TR 200 (Figura 12 A), gentilmente fornecido pela UFSC. Entretanto, grande quantidade do material não atingiu a granulometria desejada, apresentando aspecto grosseiro, conforme a Figura 12 B.

Figura 12 - Trituração dos colmos: (A) triturador de galhos e resíduos orgânicos e (B) material após trituração.



Fonte: O autor (2015)

Em uma nova tentativa de picagem do bambu, utilizou-se então uma ensiladeira, a qual localizava-se em uma propriedade particular no município de Curitibanos - SC, conforme Figura 13 A. Após o processo, a quantidade de material obtido com granulometria desejada foi satisfatória (Figura 13 B).

Figura 13 - Picagem dos colmos: (A) ensiladeira e (B) partículas obtidas



Fonte: O autor (2015)

Posteriormente, para a classificação manual das partículas, foram utilizadas peneiras com malhas de 2,5 mm x 2,5 mm e 3,5 x 3,5 mm.

4.4 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

O estudo buscou produzir protótipos de painéis aglomerado homogêneo confeccionados com bambu e resíduo madeireiro, possuindo densidade nominal de 650 kg.m^{-3} e dimensões de 1,5 cm x 40 cm x 40 cm.

Deste modo, o delineamento piloto é composto por 3 tratamentos com 2 repetições cada, totalizando 6 painéis, sendo 2 painéis homogêneos de *Phyllostachys nigra*, com granulometria de 2,5 mm; 2 painéis homogêneos de *Phyllostachys nigra* com granulometria de 3,5 mm; e 2 painéis homogêneos confeccionados com resíduo madeireiro, sendo que em cada painel 50% das partículas apresentava granulometria de 2,5 mm e 50% apresentava granulometria de 3,5 mm (Tabela 2).

Tabela 2 - Delineamento piloto

Tratamento	<i>Phyllostachys nigra</i> (2,5mm)	<i>Phyllostachys nigra</i> (3,5mm)	Resíduo Pinus spp (2,5 mm)	Resíduo Pinus spp (3,5 mm)
T1	100 %	-	-	-
T2	-	100%	-	-
T3	-	-	50%	50%

4.5 CÁLCULO DOS COMPONENTES DOS PAINÉIS

O cálculo da quantidade de material necessário para a confecção de cada painel foi realizado através da Equação 2. Devido a perda de material durante o processo, adicionou-se 20% a mais de partículas e adesivos.

$$D = M/V \quad (2)$$

Onde:

D = Densidade desejada do painel (kg. m^{-3})

M = Massa necessária para se obter a densidade desejada (kg)

V = Volume do painel (m^3)

Com o cálculo foi possível obter a massa de partículas secas para confecção de painéis com 12% de umidade. Contudo, as partículas quando secas, podem chegar a valores inferiores

de umidade, o que leva a um novo cálculo para obter a quantidade de fibras neste teor de umidade, por meio da seguinte forma:

Em um painel com 12% de umidade tem-se:

100 partes de partículas a 0% de umidade;

12 partes de resina sólida;

1,5 partes de parafina

12 partes de umidade.

TOTAL 125,5 partes, onde:

125,5 partes correspondem a M (massa de partículas a 12% de umidade).

Calcula-se a massa de partículas a 0% de umidade:

$$M_0 = (M \times 100) / 125,5 \quad (3)$$

Onde:

M_0 = massa de partículas a 0% de umidade (g).

Com o cálculo do valor de M_0 se torna possível calcular a massa de partículas que será necessário para qualquer teor de umidade, da seguinte forma:

$$M_n = (n/100 + 1) \times M_0 \quad (4)$$

Onde:

M_n = massa de partículas a um determinado teor de umidade “n” (g);

n = teor de umidade das partículas pretendido (%).

O cálculo da quantidade de resina ureia formaldeído para teor de 12% com base no peso seco das partículas foi obtido através da Equação 5.

$$AS = M_0 \times 12 / 125,5 \quad (5)$$

Onde:

AS = quantidade de resina na forma sólida (g).

Para o cálculo da quantidade de parafina (teor de 1,5%), utilizou-se a equação 6.

$$AS_1 = M0 \times 1,5 / 125,5 \quad (6)$$

Onde:

AS_1 = quantidade de parafina na forma sólida (g).

Com uma regra de três simples é possível transformar a quantidade de resina e parafina em forma sólida para a massa em forma líquida, através da equação 7.

$$AL = AS \times 100 / TS \quad (7)$$

Onde:

AL = quantidade de resina/parafina na forma líquida (g)

TS = teor de sólidos contido na resina/parafina líquida (%).

4.6 CONFECÇÃO DOS PAINÉIS

A etapa de confecção dos painéis ocorreu no Centro de Ciências Agroveterinárias (CAV) da Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC) em Lages – SC, devido à disponibilidade dos equipamentos necessários, notadamente a prensa para conformação dos painéis.

4.6.1 Determinação do teor de umidade das partículas

Primeiramente, com o auxílio de uma termo balança de infravermelho (Figura 14), determinou-se o teor de umidade das partículas utilizadas na confecção dos painéis. As partículas de bambu (*Phyllostachys nigra*) apresentaram teor de 11,48%, enquanto as partículas de resíduo madeireiro (*Pinus* spp) apresentaram 11,1% de umidade.

Figura 14 - Termobalança de Infravermelho para determinação do teor de umidade.



Fonte: O autor (2015)

4.6.2 Aplicação de Resina e Parafina

De acordo com os tratamentos estabelecidos, todo o material utilizado na confecção dos painéis foi separado e pesado (Figura 15), o que incluiu: partículas, resina e parafina.

Figura 15 - Separação e pesagem das partículas.

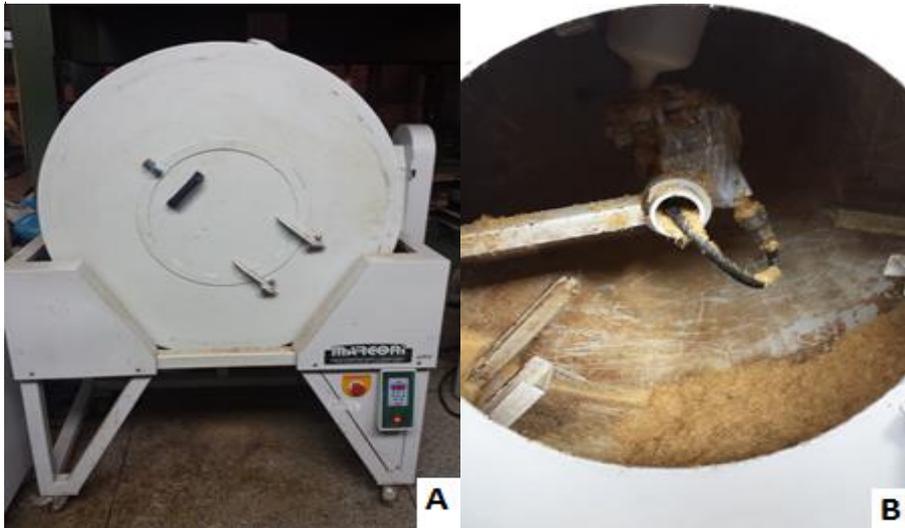


Fonte: O autor (2015)

Após a pesagem, as partículas foram dispostas internamente à encoladeira (Figura 16 A), do tipo tambor rotativo, marca Marconi, modelo MA686, com velocidade constante de 20 rotações por minuto e dimensões de 1,00 m de diâmetro e 0,75 m de profundidade. A aplicação de resina ocorreu com auxílio de uma pistola dotada de copo graduado (Figura 16 B) ligada a um compressor de ar, o qual fez a pulverização durante tempo médio de 10

minutos até a retirada total do adesivo do copo graduado. A aplicação de parafina também ocorreu com o auxílio de pistola dotada de copo graduado, durante aproximadamente 2 minutos.

Figura 16 - Aplicação de resina e parafina: (A) encoladeira e (B) pistola de aplicação.



Fonte: O autor (2015).

4.6.3 Pré Prensagem

Após a aplicação da resina e parafina, a massa de partículas foi disposta em uma caixa formadora (dimensões de 400 mm x 400 mm) (Figura 17), sofrendo uma pré - prensagem a frio com prensa hidráulica (pressão de 5 kgf.cm⁻² por 5 minutos), com a finalidade de reduzir os espaços de ar, além de evitar a perda de partículas durante o transporte até a prensa quente e concomitantemente facilitar seu fechamento.

Figura 17 - Caixa formadora para pré-prensagem dos painéis.



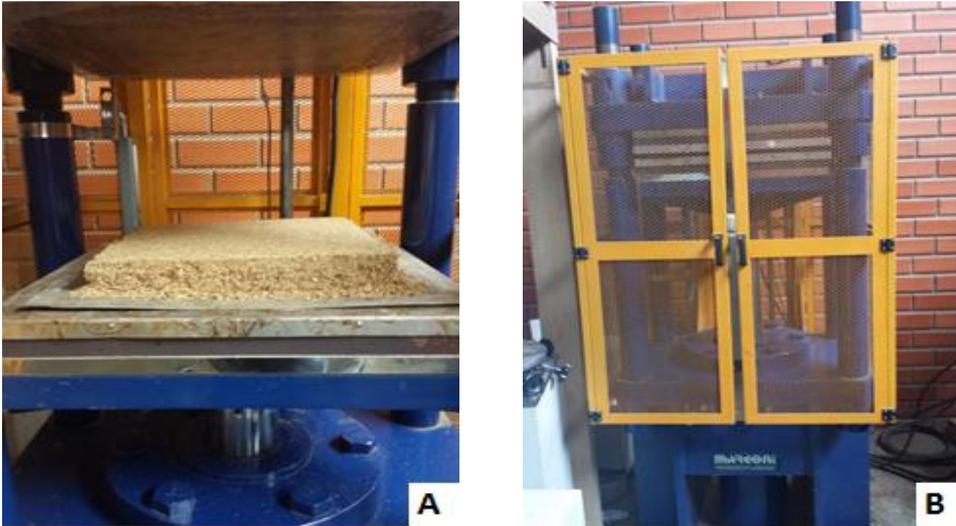
Fonte: O autor (2015)

4.6.4 Prensagem

Previamente à prensagem, o colchão foi disposto entre duas lâminas de alumínio (Figura 18 A), sendo que em suas bordas foram colocados espaçadores de 15 mm, para delimitação da espessura do painel.

O ciclo de prensagem foi executado em prensa a quente da marca Marconi, modelo MA098 (Figura 18 B), aplicando-se pressão de 40 kfg. cm⁻² e temperatura de 140°C por um período de 8 minutos.

Figura 18 – Prensagem: (A) colchão de partículas e (B) prensa hidráulica.



Fonte: O autor (2015)

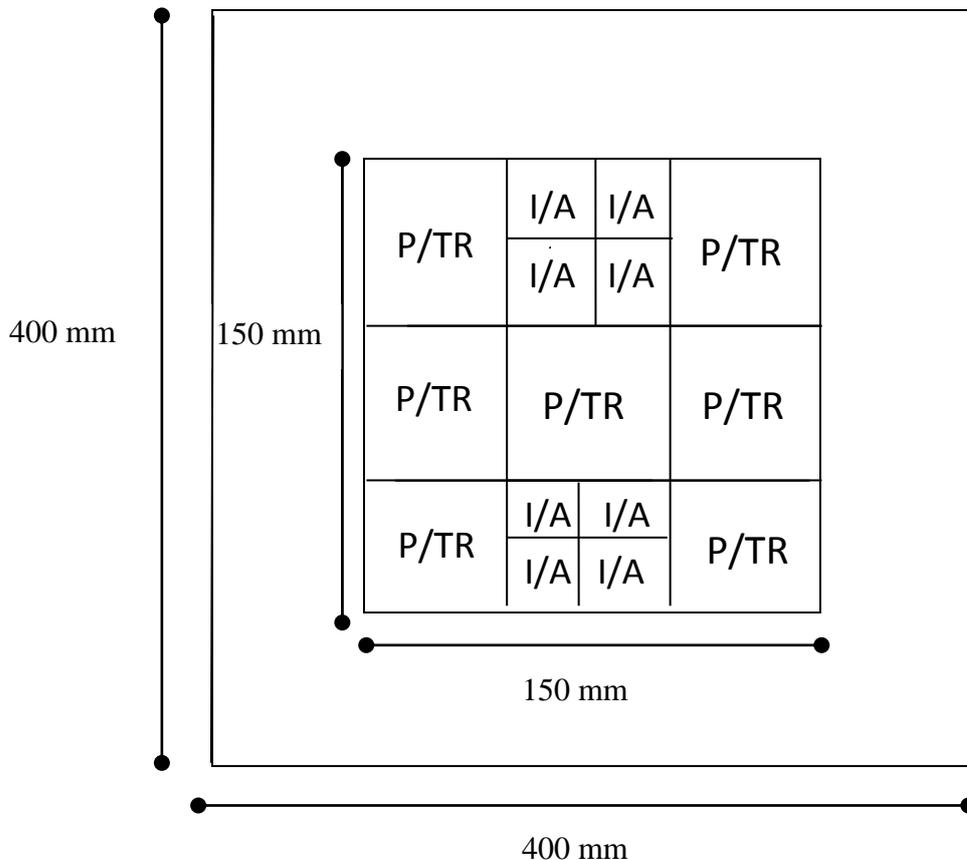
Após a confecção dos painéis, os mesmos foram acondicionados para climatização às condições de temperatura e umidade relativa do ambiente para completa cura do adesivo.

4.7 CARACTERIZAÇÃO DOS PAINÉIS

4.7.1 Caracterização das propriedades físico - mecânicas

Para a caracterização tecnológica dos painéis, do total de 2 painéis (15 x 400 x 400 mm) confeccionados em cada tratamento proposto, 1 painel de cada tratamento foi utilizado para produção dos corpos de prova (Figura 21).

Figura 21 – Layout de retirada dos corpos de prova dos painéis.



P: Perfil de densidade; TR: Resistência à tração perpendicular; I: Inchamento em espessura; A: Absorção de água. Fonte: O autor (2015).

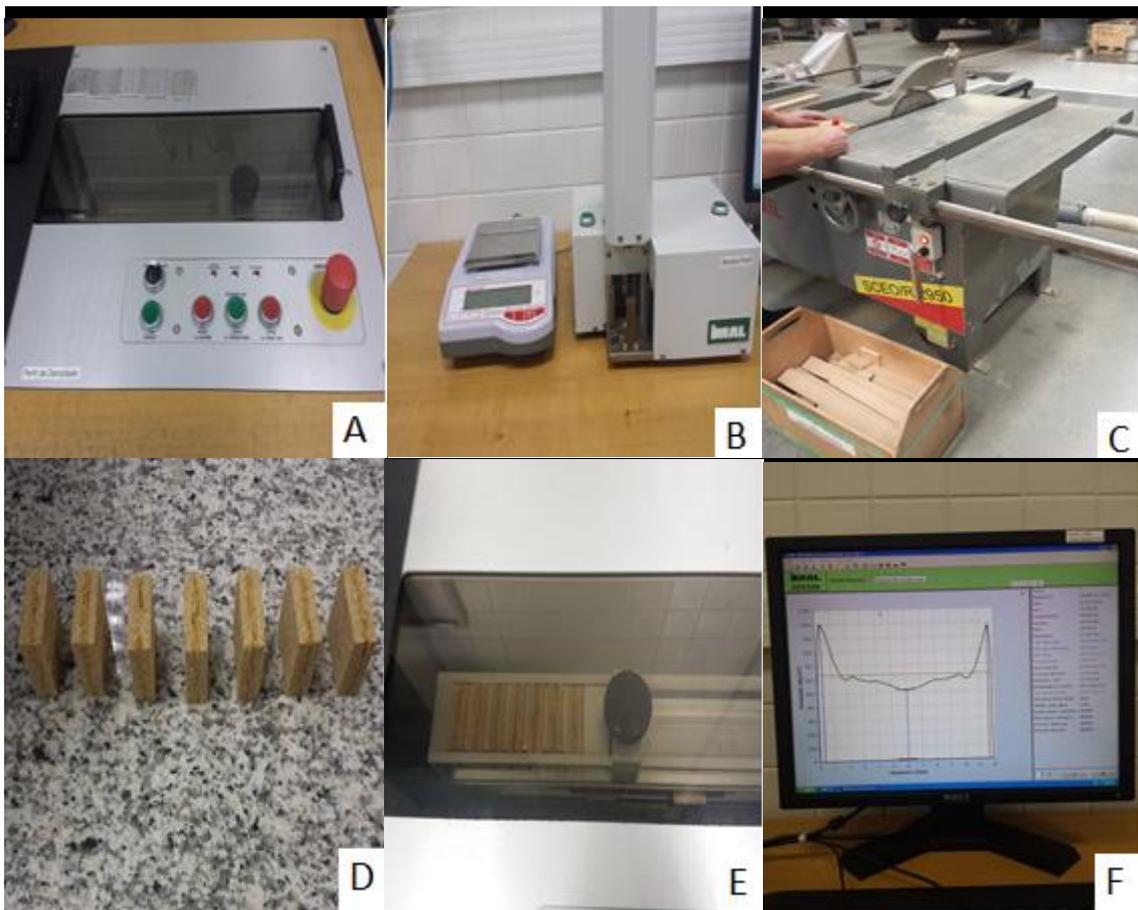
A caracterização físico - mecânica contemplou a análise das seguintes variáveis tecnológicas:

Perfil de densidade – PERFIL: amostras de painéis (50 x 50 mm) foram analisadas por atenuação de raios X determinando-se a sua densidade média e o gradiente de variação ao longo da espessura.

Os perfis para caracterização da densidade ao longo da espessura dos painéis foram obtidos através de densitômetro, marca IMAL, pertencente à empresa Berneck S.A. Painéis e Serrados, unidade Curitiba-SC. Trata-se de técnica rotineira de análise industrial, mas inovadora em âmbito institucional, não destrutiva, que revela parâmetros fundamentais para análise e interpretação da qualidade dos compósitos e possíveis atuações/melhoria das variáveis de prensagem.

Para cada tratamento, foram demarcados e obtidos 7 corpos de prova com dimensões de 50 x 50 mm, totalizando 21 perfis. A Figura 19, ilustra o equipamento (Figura 19 A, B), as etapas de corte das amostras (Figuras 19 C, D), a disposição no porta amostra e início da leitura do perfil ao longo da espessura (Figuras 19 E) e a ilustração de um perfil experimental (Figura 19 F) em saída computacional.

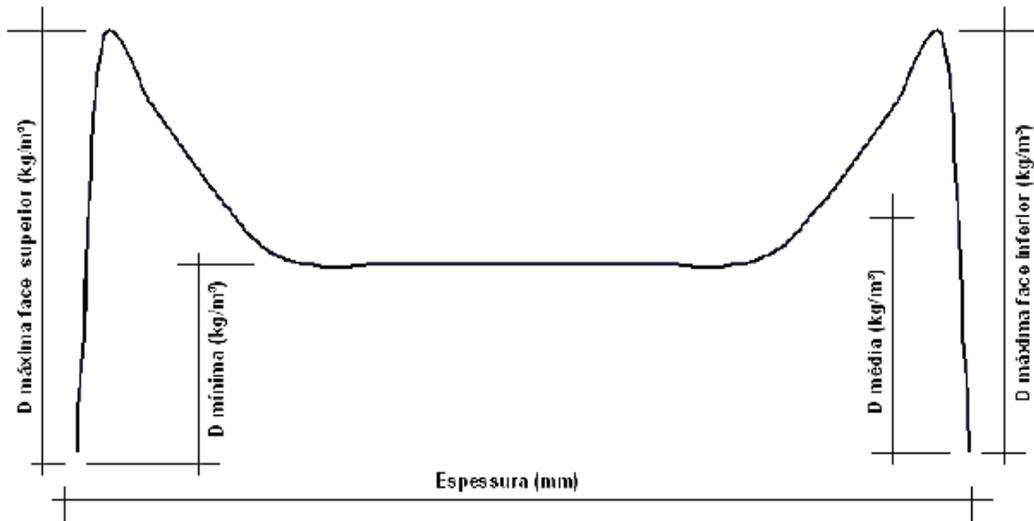
Figura 19 - Obtenção do perfil de densidade dos painéis por densitometria de raios X.



Fonte: O autor (2015)

Como dados quantitativos dos perfis, foram obtidos os valores de: (i) densidade máxima das faces superior e inferior; (ii) densidade média e (iii) densidade mínima, conforme Figura 20.

Figura 20 - Parâmetros quantitativos de densidade avaliados no perfil densitométrico.



Fonte: BELINI, 2012.

Resistência à tração perpendicular ao plano – TR (Kgf.cm^{-2}): amostras de painéis (50 x 50 mm) foram submetidas à força de tração aplicada perpendicularmente à sua superfície até a ruptura, conforme Figura 22.

Figura 22- Ensaio de Resistência à tração perpendicular.



Fonte: O autor (2015)

O ensaio foi realizado em máquina de ensaio universal (Figura 23), marca EMIC, pertencente à empresa Berneck S.A. Painéis e Serrados, unidade Curitibaanos.

Figura 23 - Máquina de Ensaio Universal.



Fonte: O autor (2015)

Inchamento em espessura - INCH (%): amostras de painéis (25 x 25 mm) do mesmo corpo de prova para determinação de absorção, são imersas em água (2h; 20° C) avaliando-se seu incremento em espessura.

Absorção – ABS (%): amostras de painéis (25 x 25 mm) imersas em água (2h; 20°C), conforme Figura 24, determinando-se o seu aumento em massa.

Figura 24 - Equipamento de imersão em água para ensaio de inchamento e absorção.



Fonte: O autor (2015)

Para cada um dos 3 tratamentos, foram realizados 7 determinações do perfil de densidade e resistência à tração perpendicular; e 8 determinações de inchamento e absorção. Todas as determinações foram realizadas de acordo com a norma ABNT NBR 14810

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 DENSIDADE BÁSICA

Os valores médios de densidade básica dos colmos de bambu *Phyllostachys nigra* estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Valores médios de densidade básica (g/cm^3) dos colmos de bambu *Phyllostachys nigra*.

Colmos	Base	Meio	Topo	Média	DP	CV (%)
1	0,59	0,64	0,67	0,64	0,10	9,8
2	0,54	0,60	0,62	0,59	0,07	9,6
3	0,58	0,61	0,66	0,62	0,09	10,1
Média				0,62		

De acordo com a Tabela 3, os valores médios de densidade básica dos colmos 1, 2 e 3 aos 3 anos de idade foram, respectivamente, 0,64; 0,59 e 0,62 g/cm^3 , resultando em um valor médio de 0,62 g/cm^3 . Analisando os valores encontrados em cada região do colmo, conclui-se que ocorre um acréscimo no valor de densidade na direção base- topo, ou seja, a região do topo dos colmos é mais denso.

O valor médio de densidade encontrado é semelhante ao obtido por Berndsen et al., (2010), que ao estudarem o mesmo gênero de bambu (*Phyllostachys pubescens*) em diferentes idades e posições do colmo obtiveram um valor médio de 0,67 g/cm^3 em colmos com 3 anos de idade. Aos 5 anos, a densidade aumentou para 0,76 g/cm^3 . Segundo os autores, o aumento da densidade básica média com a maturação do bambu ocorre, provavelmente, pelo aumento na espessura da parede das células dos feixes vasculares e pela consequente diminuição do lúmen.

Miskalo (2009) avaliou a espécie de bambu *Dendrocalamus giganteus* e encontrou valores médios de densidade de 0,54; 0,61 e 0,73 g/cm^3 nas regiões inferior, média e superior dos colmos, respectivamente. Com base no registro fotográfico tiradas durante o experimento, o autor justifica que o aumento da densidade básica da região inferior para a superior do colmo ocorre em função da variação da estrutura anatômica, havendo maior relação concentração de feixes de fibras e tecido parenquimatoso na parte superior do bambu.

Outros gêneros de bambu - *Gigantochloa* spp, *Thyrsostachys* e *Ochlandra* - apresentaram valores de densidade básica de 0,67; 0,65 e 0,70 g/cm³, respectivamente (AZZINI, CIARAMELLO & NAGAI, 1972). A diferença entre resultados pode ser justificada pela diferença entre espécies, condições de crescimento, métodos de ensaio e sítio.

A densidade da matéria - prima constitui um dos fatores determinantes na qualidade dos painéis, pois afeta suas propriedades físico-químicas. A confecção de painéis aglomerado com a utilização de espécies de baixa densidade proporciona uma razão de compactação mais elevada, e conseqüentemente, maior superfície de contato. Dessa maneira, os painéis apresentam-se mais uniformes e com capacidade mais elevada de transmitir esforços entre as partículas, resultando em propriedades de ligação interna e flexão mais elevadas (VALARELLI et al., 2013). Porém, Dias e Lahr (2004), afirmam que espécies de densidades mais elevadas podem ser utilizadas em misturas com espécies de menor densidade, resultando em aglomerados de boa qualidade.

5.2 CLASSIFICAÇÃO GRANULOMÉTRICA

5.2.1 *Phyllostachys nigra*

A distribuição em tamanho das partículas de bambu (*Phyllostachys nigra*) em peneiras nas aberturas delineadas indicou os percentuais descritos na Tabela 4.

Tabela 4 - Abertura da Peneira (mm) e material de *Phyllostachys nigra* retido (Kg) por abertura.

	<i>Over size</i>	3,5 mm	2,5 mm	Total
Total (Kg)	7,4	8,2	8,9	24,5
Total (%)	30,0	34,0	36,0	100,0

A classificação granulométrica das partículas de *Phyllostachys nigra* resultou em quantidades bastante semelhantes entre as diferentes aberturas de peneira. Verifica-se que 36% das partículas foram utilizadas diretamente na confecção dos painéis que compõe o Tratamento 1 e 34% na confecção dos painéis que compõe o Tratamento 2.

Apesar da distribuição similar entre as diferentes aberturas de peneira, a quantidade obtida de material *Over size* foi bastante significativa, ocasionando grande perda de material, já que essa fração não foi utilizada na confecção dos painéis, podendo ser aproveitada apenas em casos de reprocesso do material.

Belini et al., (2014) realizaram a classificação granulométrica de partículas de *Bambusa vulgaris* para confecção de painéis aglomerado, obtendo-se 12,5 %, ; 65,2 % e 19,3% de material para as aberturas de peneira de 8 mm, 4-2-1 mm e 0,6 - 0,3 mm, respectivamente. Comparando os resultados, percebe-se que os autores alcançaram uma melhor distribuição granulométrica entre as partículas, resultando em menor quantidade de material oversize. Também obtiveram partículas com menor dimensão (0,6 -0,3 mm), permitindo sua utilização nas camadas externas.

A Figura 25 ilustra o aspecto visual da granulometria das partículas de *Phyllostachys nigra* nas diferentes dimensões.

Figura 25 – Aspecto visual da granulometria das partículas de *Phyllostachys nigra* (A) Partículas com dimensões 2,5 x 2,5 mm (B) Partículas com dimensões 3,5 x 3,5 mm.



Fonte: O autor (2015)

Analisando visualmente o aspecto das partículas, percebe-se que a fração de maior dimensão (3,5 mm x 3,5 mm) contém uma expressiva quantidade de material em feixes, com espessura e comprimento acima do desejado. A grande quantidade de feixes presentes pode ser explicada pela grande dificuldade de processamento dos colmos em partículas, principalmente pela ineficiência dos equipamentos utilizados, os quais não eram apropriados para o processamento de bambu.

As partículas com dimensões de 2,5 x 2,5 mm também continham feixes de bambu presentes, porém, foram as que mais se aproximaram do desejado, refletindo positivamente sobre o desenvolvimento dos ensaios.

De acordo com Bittencourt (2002), a estrutura dos painéis de partículas é muito influenciada pela distribuição granulométrica e pela forma das partículas utilizadas na fabricação dos mesmos. Na Tabela 5, o autor apresenta a relação existente entre geometria das partículas, processamento e propriedades.

Tabela 5 – Inter- relações entre geometria das partículas, processamento e propriedades.

Processamento	Estrutura	Propriedades
Distribuição granulométrica Forma das partículas Pressão de compactação Temperatura de prensagem	Geometria das partículas	Módulo de elasticidade Módulo de ruptura Ligação interna Absorção de água Inchamento em espessura Fluência

Fonte: BITTENCOURT (2002).

A geometria das partículas também influi nas propriedades físicas dos painéis, como absorção de umidade, mudanças dimensionais e características de superfície (VALARELLI et al., 2013).

5.2.2 Resíduo madeireiro (*Pinus* spp).

A distribuição em tamanho das partículas de resíduo madeireiro (*Pinus* spp) em peneiras nas aberturas delineadas indicou os percentuais descritos na Tabela 6.

Tabela 6 - Abertura da Peneira (mm) e resíduo madeireiro retido (Kg) por abertura.

	<i>Over size</i>	3,5 mm	2,5 mm	Total
Total (Kg)	28,9	10,9	7,5	47,3
Total (%)	61,0	23,0	16,0	100,0

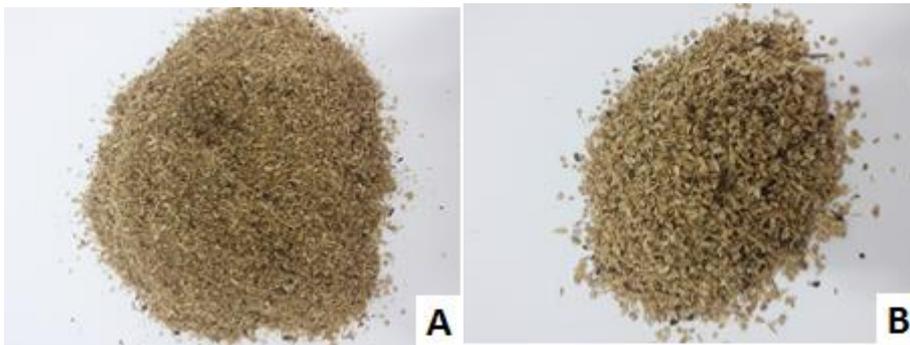
A classificação granulométrica do resíduo madeireiro de *Pinus* spp resultou em grande quantidade de material *over size* (61% do total), composto principalmente por cavacos e casca. Devido à necessidade de reprocessamento deste material, o mesmo acabou não sendo utilizado na confecção dos painéis, gerando dessa maneira baixa quantidade de material apto à utilização e indicando a necessidade de repicagem deste tipo de resíduo para a confecção de painéis tipo aglomerado. A fração com dimensão de 2,5 mm correspondeu a 16% do material, e a fração com dimensão de 3,5 mm correspondeu a 23% do total, sendo que as duas frações foram utilizadas conjuntamente na confecção dos painéis correspondentes ao Tratamento 3.

Silva (2013) ao analisar a classificação granulométrica da maravalha de *Pinus* spp, conseguiu realizar a separação do material em frações de menor dimensão, ocorrendo a concentração de partículas na peneira de diâmetro 1,18mm, correspondendo à

aproximadamente 80% do material A utilização de um agitador de peneiras pelo autor facilitou a separação granulométrica, permitindo a obtenção de granulometria variando entre 0,075 mm e 38mm.

A Figura 26 ilustra o aspecto visual da granulometria das partículas de *Pinus* spp nas diferentes dimensões.

Figura 26 – Aspecto visual da granulometria das partículas de *Pinus* spp: (A) Partículas com dimensões 2,5 x 2,5 mm (B) Partículas com dimensões 3,5 x 3,5 mm.



Fonte: O autor (2015)

O aspecto visual das partículas obtidas foi considerado satisfatório, atingindo a granulometria desejada e permitindo a diferenciação entre as duas frações. Porém, a utilização de peneiras vibratórias facilitaria a classificação, permitindo a separação do material em maior número de classes granulométricas e maior similaridade entre as frações.

Para ambas as matérias primas (resíduo e bambu) foi necessário novo peneiramento, em malha de aproximadamente 1 mm de abertura, para retirada de frações finas (pó) prejudiciais às etapas de prensagem, e que foi realizado previamente à prensagem nos Laboratórios da UDESC.

5.3 PERFIL DE DENSIDADE

A Tabela 7 apresenta os valores médios de densidade dos painéis nos diferentes tratamentos.

Tabela 7 - Valores médios de densidade máxima, média e mínima dos painéis (Kg.m^{-3}) de diferentes tratamentos.

Tratamentos	Densidade			
	Máxima Superior	Máxima Inferior	Média	Mínima
	Kg.m^{-3}			
T1	738,9	742,7	604,2	451,9
T2	747,0	747,1	565,6	301,8
T3	828,1	923,3	725,2	633,1

Tratamentos: T1 = *Phyllostachys nigra* 2,5 mm; T2 = *Phyllostachys nigra* 3,5 mm; T3 = Resíduo madeireiro *Pinus* spp.

De acordo com a Tabela 7, observam-se variações de densidade entre os painéis confeccionados com bambu e com resíduo madeireiro. Inicialmente, os painéis foram planejados com densidade média de 650 kg.m^{-3} sendo que apenas o Tratamento 3 atingiu e superou o desejado, apresentando média de 725 Kg.m^{-3} . Os tratamentos 1 e 2 apresentaram densidade média de $604,2 \text{ kg.m}^{-3}$ e $565,6 \text{ kg.m}^{-3}$ respectivamente.

Os valores de densidade máxima das faces superior e inferior nos tratamentos 1 e 2 foram muito próximos, variando de $738,9 \text{ kg.m}^{-3}$ a $747,0 \text{ kg.m}^{-3}$ e $742,7 \text{ kg.m}^{-3}$ a $747,1 \text{ kg.m}^{-3}$, respectivamente. Porém, o Tratamento 2 apresentou um valor inferior de densidade mínima, muito abaixo do desejável ($301,8 \text{ kg.m}^{-3}$)

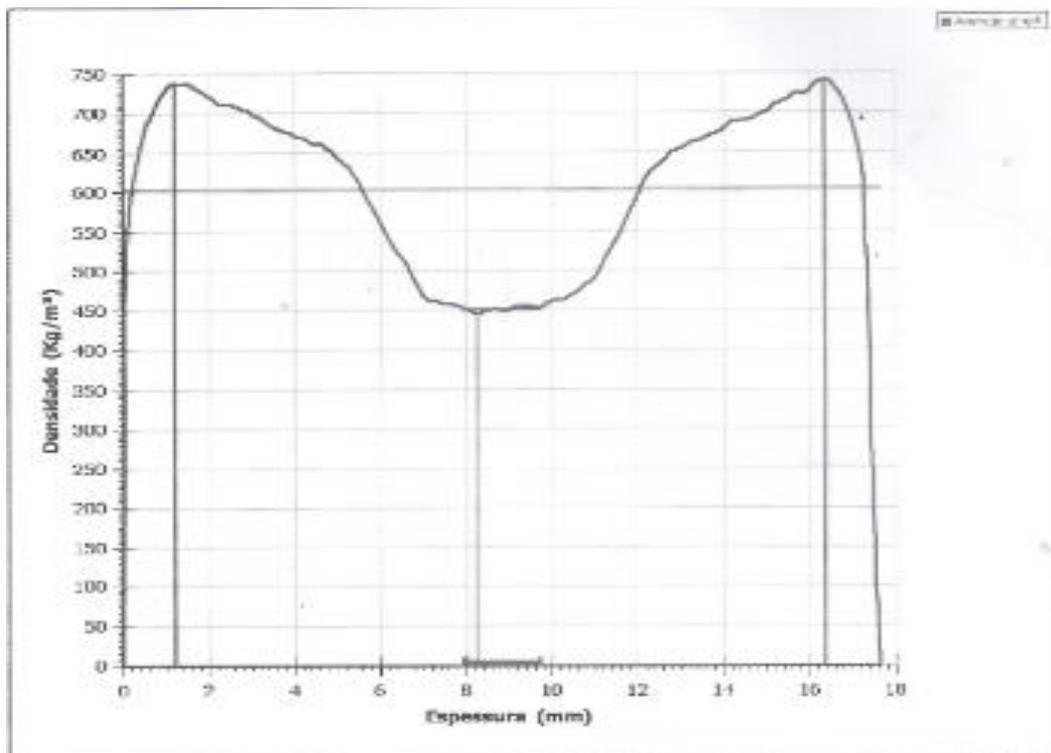
O Tratamento 3 apresentou os maiores valores de densidade máxima, atingindo $828,1 \text{ kg.m}^{-3}$ na face superior e $923,3 \text{ kg.m}^{-3}$ na face inferior. Também apresentou o maior valor de densidade mínima entre os tratamentos ($633,1 \text{ kg.m}^{-3}$). Dessa maneira, o Tratamento 3 se destacou entre os demais, apresentando valores de densidade bastante próximos do desejado e maior homogeneidade, indicando uma melhor conformação entre partículas e resina.

A diferença de densidade entre os tratamentos pode ser justificada por inúmeros fatores, que vão desde a escolha da matéria-prima, processamento, e confecção dos painéis. Segundo Kelly (1977), a densidade do painel não depende apenas da quantidade e da densidade do material empregado, mas também das condições de processamento anteriores à prensagem, como por exemplo, a espécie utilizada, preparação e secagem do material, teor de resina e de outros aditivos utilizados. Durante a confecção dos painéis, a autora afirma que os fatores que influenciam a densidade dos painéis são a distribuição de umidade no colchão, razão de compactação, tempo de fechamento da prensa, temperatura dos pratos da prensa,

reatividade da resina, e resistência à compressão das partículas, bem como perda lateral de material devido a conformação incorreta do colchão durante o contato com os pratos aquecidos e tempo de fechamento da prensa.

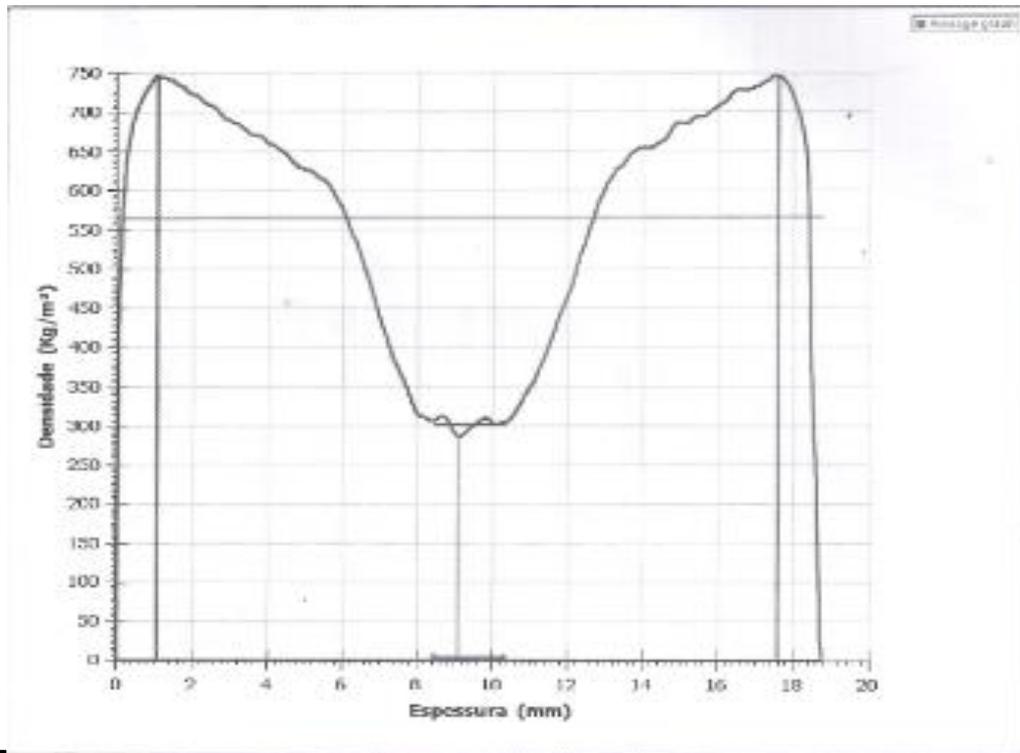
As Figuras 27, 28 e 29 apresentam o perfil de densidade obtido em espessura ao longo dos corpos de provas nos 3 tratamentos, ou seja, T1, T2, e T3, respectivamente.

Figura 27 - Perfil de densidade médio dos painéis correspondentes ao Tratamento 1 (*Phyllostachys nigra* com granulometria de 2,5 mm).



Fonte: O autor (2015)

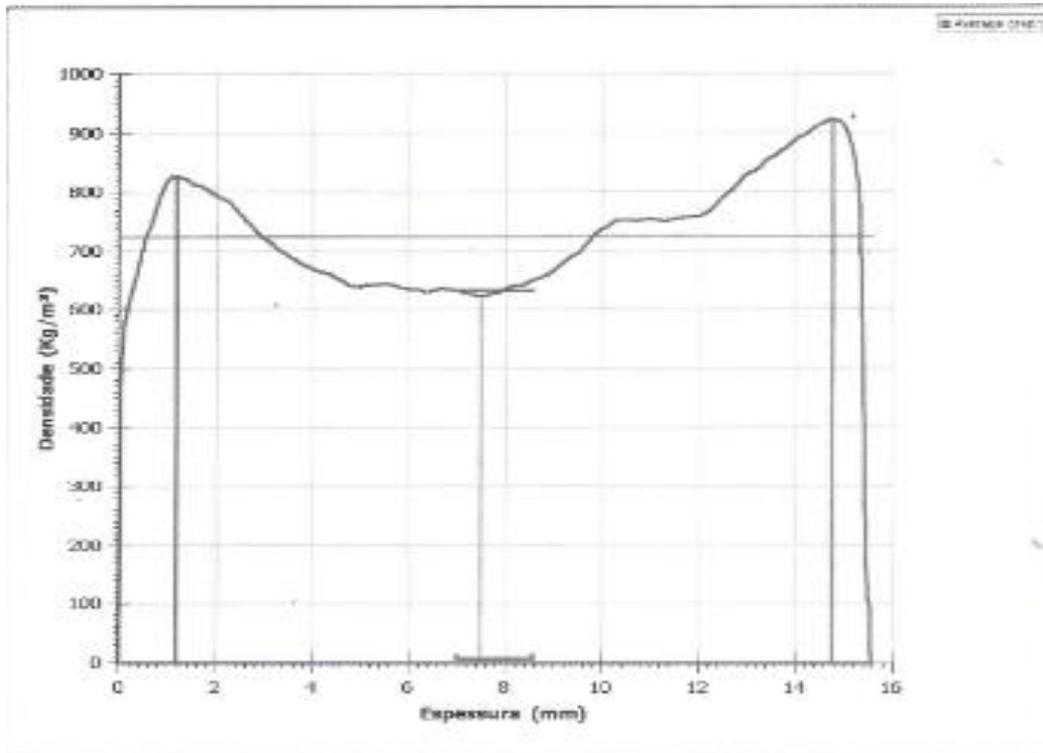
Figura 28 - Perfil de densidade médio dos painéis correspondentes ao Tratamento 2 (*Phyllostachys nigra* com granulometria de 3,5 mm).



Fonte: O autor (2015)

Na Figura 28, referente ao Tratamento T2, observa-se baixo valor de densidade mínima no centro do painel, na faixa de 300 kg.m^{-3} , na comparação com o Tratamentos T1 (Figura 27) e Tratamento T3 (Figura 29) e que resultou na impossibilidade de utilização deste tratamento para caracterização tecnológica.

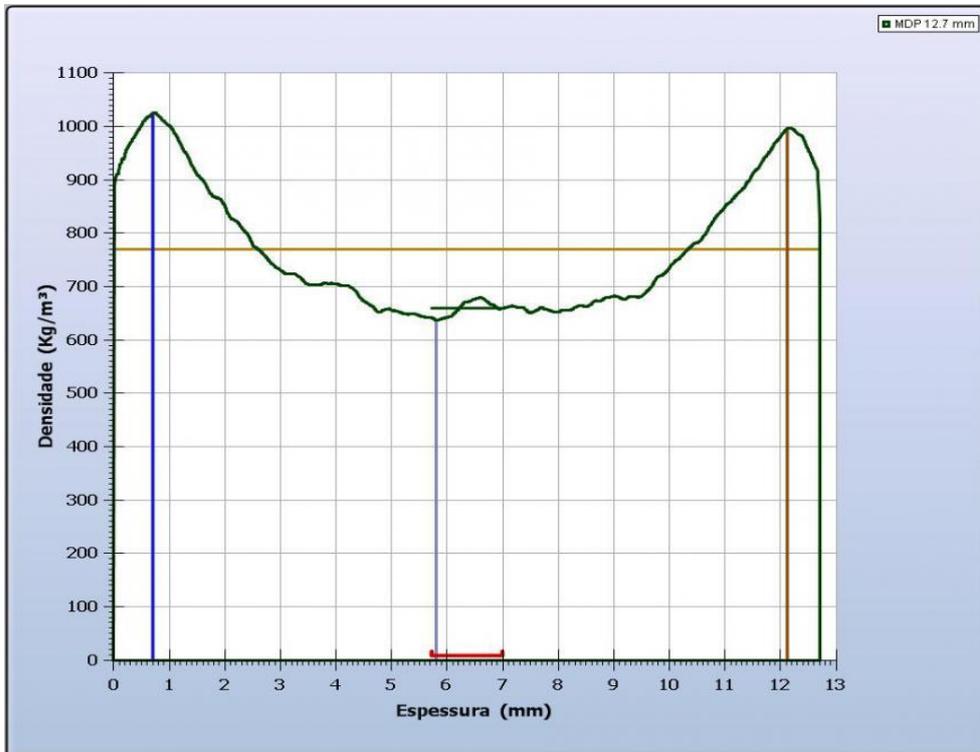
Figura 29 - Perfil de densidade médio dos painéis correspondentes ao Tratamento 3 (Resíduo *Pinus* spp).



Fonte: O autor (2015)

A Figura 30 ilustra o perfil de densidade de um painel aglomerado com espessura de 12,7 mm, confeccionado com madeira de *Pinus* spp, produzido e exportado aos Estados Unidos pela empresa Berneck S.A. Painéis e Serrados, o qual foi fornecido pela própria empresa para fins comparativos com os painéis produzidos nessa pesquisa e que utiliza condições industriais de obtenção, normalmente mais efetiva que condições laboratoriais com novas matérias primas.

Figura 30 - Perfil de densidade do painel aglomerado confeccionado e comercializado pela empresa Berneck S.A. Painéis e Serrados.



Fonte: Berneck S.A. Painéis e Serrados (2015).

A Tabela 8 apresenta os valores de densidade do painel confeccionado pela empresa Berneck, o qual é representado pelo perfil ilustrado acima.

Tabela 8 - Valores de densidade máxima, média e mínima do painel (Kg.m^{-3}) confeccionado e comercializado pela empresa Berneck S.A. Painéis e Serrados.

Densidade			
Máxima Superior	Máxima Inferior	Média	Mínima
Kg.m^{-3}			
997,2	1025,4	770,1	637,2

Comparando os valores de densidade obtidos para o Tratamento 3 e os valores de densidade fornecidos pela empresa Berneck, percebe-se que a densidade máximas das faces superior e inferior do tratamento ficaram um pouco abaixo do ideal. Porém, os valores obtidos de densidade média e mínima foram similares aos valores fornecidos pela empresa, resultando

em perfis semelhantes visualmente, ratificando a necessidade de ajustes para obtenção de protótipos com melhores características, notadamente redução da umidade de partículas, para continuidade de pesquisas.

5.4 TRAÇÃO PERPENDICULAR, ABSORÇÃO E INCHAMENTO DOS PAINÉIS

Os valores médios de tração perpendicular, absorção e inchamento dos painéis são apresentados na Tabela 9, juntamente com seus respectivos valores de desvio padrão (DP) e percentuais de coeficientes de variação (CV).

Os ensaios de tração perpendicular, absorção e inchamento referentes ao Tratamento 2 não puderam ser realizados devido a baixa resistência mecânica dos painéis, impossibilitando a confecção dos corpos de prova, corroborando com os resultados do item 5.2 e Figura 28 e que foi, principalmente, devido ao alto teor de umidade (cerca de 11-12%) anteriormente à prensagem, e que deve ser ajustado para valores entre 3-5% na confecção de novos painéis.

Tabela 9 - Valores médios de tração perpendicular (kgf.cm^{-2}), inchamento (%) e absorção (%) dos painéis.

Tratamentos	Tração Perpendicular			Inchamento 2h			Absorção 2h		
	Kgf.cm^{-2}	DP	CV	%	DP	CV	%	DP	CV
T1	0,8	0,2	0,03	7,8	0,6	0,3	55,8	3,4	18,2
T3	6,8	0,7	0,5	34,0	5,5	29,7	100,9	5,1	22,3

Tratamentos: T1 = *Phyllostachys nigra* 2,5 mm; T3 = Resíduo madeireiro *Pinus* spp.

De acordo com a norma ABNT NBR 14810 (2006), o valor mínimo para tração perpendicular é de 0,35 MPa, ou 3,5 kgf.cm^{-2} . Analisando os valores obtidos, apenas o Tratamento 3 está dentro do exigido pela norma, apresentando um valor médio de 6,8 kgf/cm^2 . Iwakari (2001), também obteve valores superiores ao exigido pela norma em chapas aglomeradas produzidas com várias espécies de *Pinus*. O autor relatou valores médios de ligação interna que variaram de 7,24 kgf.cm^{-2} a 10,54 kgf.cm^{-2} .

O Tratamento 1 apresentou um valor médio bastante inferior ao exigido pela norma (0,8 kgf/cm^2). Os fatores responsáveis pela baixa qualidade dos painéis, provavelmente estão relacionados ao alto teor de umidade das partículas (11,48%) e conseqüentemente a má distribuição de resina entre as partículas, ocorrendo a formação de grumos em algumas

regiões dos painéis, causando dessa maneira, a baixa qualidade de colagem. Ressalta-se ainda que a encoladeira utilizada neste estudo não possui alta eficiência na distribuição da resina, contribuindo para a diminuição da qualidade de colagem.

Segundo Kollmann (1975), partículas com umidade muito elevada causam bolsões de vapor na região central do painel durante a prensagem. Esses bolsões de vapor prejudicam a resistência dos painéis, especialmente a tração perpendicular, tornando-a muito reduzida. O autor ainda destaca que partículas muito úmidas necessitam de um período mais longo de prensagem, sendo que neste experimento a prensagem não foi prolongada como recomenda o autor.

Comparando os dois tratamentos, pode-se afirmar que os resultados obtidos evidenciaram uma grande disparidade em relação à tração perpendicular dos painéis. Os painéis confeccionados com bambu apresentaram valores extremamente baixos, os quais apontam problemas durante a confecção dos mesmos. Calegari et al., (2007) também observaram que painéis confeccionados com maiores proporções de partículas de bambu apresentaram uma redução na resistência à ligação interna dos painéis.

O alto teor de umidade das partículas a má distribuição da resina entre as partículas foram problemas encontrados nos dois tratamentos (Tratamento 1 e 3). Porém, apenas o Tratamento 1 apresentou um baixo valor de tração perpendicular, o que evidencia que outros fatores, além dos citados, foram causadores da baixa resistência, como por exemplo, geometria das partículas.

Segundo Kollmann (1975) e Maloney (1993) a geometria das partículas é um dos fatores básicos determinante nas características das chapas de partículas e que afeta diretamente suas propriedades mecânicas. O Tratamento 3 apresentou partículas de melhor geometria, se comparadas ao Tratamento 1, o qual apresentou pequenos feixes de bambu misturados às partículas.

Lee et al. (1997), observaram que a orientação das partículas favorece as propriedades mecânicas. Portanto, a ausência de orientação dos feixes ou tiras também contribuem para sua ineficiência. Dessa maneira, a baixa tração perpendicular encontrada no Tratamento 1 pode ser justificada pela mistura de feixes e partículas de bambu utilizada para confecção dos painéis, remetendo à baixa eficiência dos equipamentos utilizados nesse estudo para a picagem do bambu.

De acordo com a norma ABNT NBR 14810 (2006), o inchamento máximo permitido é de 8% para 2h. Dessa maneira, apenas o Tratamento 1 se enquadrou dentro do valor estipulado, apresentando um inchamento de 7,8%. Almeida et al., (2008), obteve resultados

similares analisando a espécie *Dendrocalamus giganteus*, a qual apresentou 8,96% de inchamento em 2 horas e 17,28% em 24 horas, utilizando também parafina. Em chapas aglomeradas de *Bambusa vulgaris* produzidas com 10% de UF e emulsão de parafina, Calegari et al. (2007) encontrou valores inferiores de inchamento: 3,78% em 2 horas.

Segundo Del Menezzi (1996), a utilização de parafina em painéis aglomerado proporciona menor absorção de água, e, conseqüentemente, menor inchamento em espessura, possibilitando, assim, que os painéis estejam de acordo com as normas.

O Tratamento 3 apresentou inchamento de 34%, valor semelhante ao encontrado por Iwakiri (2000), que obteve um valor de 32,24% em painéis aglomerados de *Pinus* com densidade de 700 kg/m³. O valor encontrado difere do descrito por Morais (2011), o qual encontrou um valor de 19% de inchamento em painéis homogêneos de *Pinus* em 2 horas.

Percebe-se uma diferença entre os valores de inchamento dos Tratamentos 1 e 3. Segundo um experimento desenvolvido por Iwakiri (2005), esta diferença pode ser atribuída à densidade dos painéis. Em seu experimento, o autor constatou que painéis de maior densidade apresentaram maior inchamento em espessura, pois quanto maior a densidade maior o volume de partículas e, conseqüentemente maior a liberação das tensões de compressão impostas durante a prensagem. Por sua vez, Gonçalves et al., (2013) constataram durante uma pesquisa que os painéis de menor densidade apresentaram menor inchamento, isso devido às partículas menores, que se compactam melhor, deixando menos espaços vazios na chapa. Ainda segundo os autores, o inchamento e absorção de água estão diretamente ligados à combinação dos fatores densidade e tamanho das partículas.

De fato, o Tratamento 1 apresentou o menor valor de densidade média (604,2 kg/m³) e também os menores valores de inchamento e absorção. O Tratamento 3, com densidade média de 725,2 kg/m³ apresentou valores mais elevados para os quesitos inchamento e absorção.

Analisando os valores obtidos para absorção, o Tratamento 1 apresentou o menor valor, atingindo um percentual de 55,7%, enquanto o Tratamento 3 absorveu o dobro de água, resultando em 100,9%.

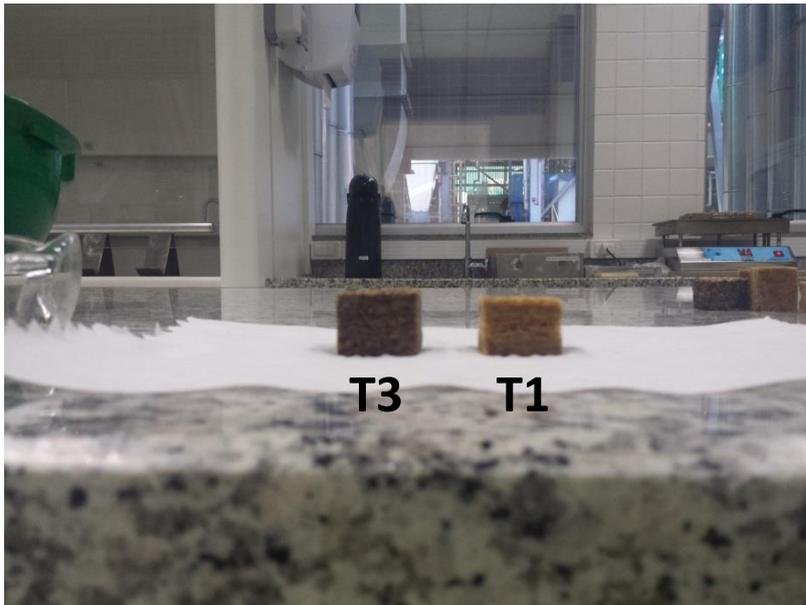
A NBR não apresenta valores de referencia para absorção de água, porém Nascimento (2008) afirma que painéis particulados de média densidade, confeccionados com *Pinus* apresentam valor médio de absorção em água para 2h de 12%, valor bem abaixo ao encontrado. Em outra pesquisa, Silva (2013), utilizando resíduos de *Pinus* (maravalha) obteve um valor de absorção de água semelhante (72,13%) após 2 horas.

Arruda (2009), ao pesquisar a espécie de bambu *Guadua magna* encontrou um valor semelhante de absorção (53,9%) após duas horas. Porém, Morais (2011) ao estudar as

propriedades físicas – mecânicas de chapas aglomeradas confeccionadas com *Bambusa tuldooides* encontrou resultados superiores de absorção (91,5%) em 2 horas.

A Figura 31 ilustra os corpos de prova após imersão em água por 2 horas, de acordo com seus respectivos tratamentos.

Figura 31 – Corpos de prova após imersão em água de acordo com os respectivos tratamentos



Fonte: O autor (2015).

Visualmente, é possível perceber a diferença entre os tratamentos, sendo que o corpo de prova referente ao Tratamento 3 apresenta maior inchamento e absorção se comparado ao Tratamento 1. Dessa maneira, o bambu apresentou melhor desempenho nos quesitos absorção e inchamento.

O melhor desempenho do bambu pode ser explicado devido a menor densidade dos painéis. Porém, ressalta-se que a utilização de resíduo madeireiro para confecção dos painéis também pode justificar o aumento dos valores de absorção e inchamento, principalmente devido à presença de componentes como a casca, a qual absorve quantidades significativas de água.

Calegari et al. (2007), chegaram à conclusões diferentes durante a realização de suas pesquisas. Os autores observaram que painéis de madeira produzidos com adição de bambu, apresentaram uma maior absorção, quando comparados àqueles em que fora empregado exclusivamente madeira. Essa maior absorção de água nos painéis com bambu, segundo os autores, pode estar relacionada à características anatômicas (elevada porosidade) e química (maior percentual de hemicelulose e extrativos) deste material. Adicionalmente, ressalta-se a

influência do menor teor de lignina do bambu, quando comparado à madeira, constituinte químico que apresenta característica hidrofóbica.

5.5 ASPECTOS VISUAIS DOS PAINÉIS

Foi possível a obtenção de uma satisfatória qualidade superficial atrelada à utilização de partículas de bambu com granulometria 2,5 mm (T1), em detrimento à partículas com granulometria 3,5 mm (T2), conforme Figura 32. Ainda, a mesma figura indica aspecto visual heterogêneo para os painéis confeccionados com resíduos (T3) devido à presença de casca e de grumos de resina e partículas. Destaca-se que a formação dos grumos ocorreu em todos os tratamentos, porém, tornaram-se mais evidentes nos painéis correspondentes ao Tratamento 3, devido à coloração do resíduo utilizado.

Deve-se ressaltar que o Tratamento 3 (T3) apresentou melhor qualidade tecnológica de acordo com as normas vigentes, sendo que o aspecto visual pode ser contornado com acabamentos de pintura ou colagem de laminados (madeira, plásticos, fórmica, etc).

Figura 32 - Aspecto visual dos painéis de acordo com os respectivos tratamentos.



Fonte: O autor (2015).

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho, que objetivou o estudo granulométrico de resíduo madeireiro de *Pinus* spp e de partículas de bambu do gênero *Phyllostachys*, bem como a confecção de protótipos de painéis particulados em camadas homogêneas de ambas matérias primas, aglutinados com resina UF e sua posterior caracterização tecnológica, apresenta como resultados:

Referentes às matérias primas e seu estudo granulométrico:

- A determinação da densidade básica dos colmos de bambu do gênero *Phyllostachys*, indicou valores médios de 0,64 ; 0,59 e 0,62 g/cm respectivamente, e que condizem com valores de literatura;
- A dificuldade de processamento dos colmos afetou diretamente a granulometria das partículas, resultando em uma expressiva quantidade de pequenos feixes de bambu;
- O peneiramento em malhas de 2,5 mm e 3,5 mm foi efetivo para obtenção de partículas que podem ser utilizadas, respectivamente, nas camadas externas (CE) e internas (CI) de painéis de partículas;

Referentes à obtenção e caracterização dos painéis protótipos:

- Foi constatada alta umidade das partículas anteriormente à prensagem, que comprometeu a o desempenho de alguns tratamentos, havendo necessidade de redução para umidades entre 3-5% para confecção de novos painéis;
- A alta umidade das partículas e a baixa qualidade de colagem prejudicaram o desempenho tecnológico dos painéis confeccionados com bambu, porém os protótipos obtidos apresentaram excelente acabamento visual e superficial, notadamente para o tratamento com partículas de 2,5 mm;
- Os perfis densitométricos foram efetivos para mapear os valores de densidade ao longo da espessura dos painéis e identificar possíveis desvios, como verificado para o Tratamento T2 que apresentou baixo valor de densidade mínima (no centro do painel);
- Os painéis confeccionados com resíduos madeireiros apresentaram melhor qualidade tecnológica nos quesitos resistência à tração perpendicular e densidade, estando de acordo com a norma NBR 14810 (2006). Porém, apresentaram valores de inchamento superiores ao estabelecido pela norma;

- A confecção e análise dos protótipos de painéis utilizando partículas de *Phyllostachys nigra* e também resíduo madeireiro foram efetivas para indicar a potencialidade destes recursos lignocelulósicos para confecção de compósitos na região de Curitiba-SC, demonstrando que há necessidade de continuidade das pesquisas para promover ajustes finos nas condições de prensagem que promovam a adequação das variáveis tecnológicas.

7 RECOMENDAÇÕES

Com base nos resultados e conclusões obtidas nesse estudo são feitas as seguintes recomendações:

- Processar, classificar e avaliar novas granulometrias de partículas de bambu e resíduo madeireiro;
- Complementar a caracterização física e mecânica dos painéis, para que se possa avaliar todas as suas propriedades tecnológicas e dessa maneira, indicar a real viabilidade de uso do bambu e de resíduos madeireiros na confecção de painéis aglomerado.
- Propor tratamentos que vislumbrem a confecção de painéis aglomerado em multicamadas;
- Propor tratamentos que utilizem a combinação de bambu e resíduos madeireiros em diferentes proporções, caracterizando e comparando suas propriedades tecnológicas.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, C. E. C. **Intervenções de variáveis no ciclo de prensagem de aglomerados**. 150 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR. 2002.
- ALMEIDA, A. L. A.; VALARELLI, I. D.; LIMA, F. L. S.; BATTISTELLE, R. A. G. Avaliação das propriedades físicas das chapas homogêneas compostas de bambu e pinus utilizando resina poliuretana a base de mamona. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRA E ESTRUTURAS DE MADEIRA, 11.2008, Londrina. **Anais eletrônicos...** Londrina: UEL, 2008.
- ANDRADE, A.B.P.P. **Aproveitamento de resíduos de laminação da madeira para a produção de painel estrutural**. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Industrial Madeireira)- Universidade Estadual Paulista, Campus Experimental de Itapeva, 2012.
- ARRUDA, L. M. **Propriedades de painéis aglomerados com resinas sintéticas a partir da mistura do bambu *Guadua magna* Londoño & Filgueiras e da madeira de *Pinus taeda* L.** Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Florestal), Universidade de Brasília, Brasília, 2009.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14810 – Chapa de madeira aglomerada**. Rio de Janeiro, 2006.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11941 - Madeira - Determinação da densidade básica**. Rio de Janeiro, 2003.
- AZAMBUJA, M.A.; SILVA, J.M. **Chapas de madeira aglomerada compostas de Bambu e Cedrinho: Resistência à flexão e adesão interna**. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRA E ESTRUTURA DE MADEIRAS, 14.2014, Natal.
- AZZINI, A.; CIARAMELLO, D. & NAGAI, A. Celulose de bambu. In: CONVENÇÃO ANUAL DA ABCP, 5, São Paulo, 1972. **Anais**. São Paulo, ABCP, 1972. p.195-201.
- BARROS FILHO, R.M. **Painéis aglomerado a base de bagaço de cana-de-açúcar e resinas uréia – formaldeído e melamina formaldeído**. Ouro Preto: REDEMAT, 2009. Dissertação (mestrado) – Programa de Pós Graduação em Engenharia de Materiais, Faculdade de Engenharia de Materiais, Rede Temática em Engenharia de Materiais, Ouro Preto, 2009.
- BELINI, U. L., TOMAZELLO FILHO, M., LOUZADA, J. L. P. C., RODRIGUES, J. C., ASTOLPHI, J. R. S. Pilot study for MDF manufacture from sugarcane bagasse. **European Journal of Wood and Wood Products**, Berlin, v.70, n. 5, p. 537-539, 2012.
- BELINI, U.L.; SAVASTANO JUNIOR, H.; BARRERO, N.G.; SARTORI, D.; LEITE, M.K.; FIORELLI, J.; TOMAZELLO FIHO, M. Painel multicamada com reforço de partículas de bambu. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 42, n. 103, p. 421-427, set. 2014.
- BERALDO, A.L.; JOSÉ, F.J. Tableros de partículas de bambú (*Bambusa vulgaris* Schrad) y resina poliuretana a base de aceite de rícino (*Ricinus communis* L.). **Ambient. constr.** (Online).Porto Alegre, v. 10, n. 4, p. 259-266, Dec. 2010 . Disponível em:

<http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S16786212010000400018&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 28 abril, 2015.

BERNDSSEN, R.S.; KLITZKE, R.J.; BATISTA, D.C.; NASCIMENTO, E.M.; OSTAPIV, F. Propriedades físicas do Bambu- Mossô (*Phyllostachys pubescens* Mazel ex H. de Lehaie) em diferentes idades e posições do colmo. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 40, n. 1, p. 183-192, jan./mar. 2010.

BITTENCOURT, E. **Processamento e caracterização de compósitos lignocelulosicos a partir de resíduos de madeira particulado e fibras vegetais**. 2002. 216 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Materiais) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

BOA, A.C.; GONÇALVES, F.G.; OLIVEIRA, J.T.S.; PAES, J.B.; ARANTES, M.D.C. Resíduos madeireiros de eucalipto colados com resina ureia formaldeído à temperatura ambiente. **Scientia Florestalis**, Piracicaba, v. 42, n. 102, p. 279-288, jun. 2014.

BRITO, E. O. **Produção de chapas de partículas de madeira a partir de maravalhas de *Pinus elliottii* Engelm. Var. *elliottii* plantado no sul do Brasil**. Curitiba: 1995. 123f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, 1995.

CASTRO, M.B.; ABREU, Raul de; MENDES, L.M.; SANTOS, R.C. Painéis Aglomerados de Candeia e Eucalipto. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRA E ESTRUTURA DE MADEIRA, 12., 2010, Lavras. **Anais...** Lavras: EMBRAMEM, 2010

CALEGARI, L.; HESELEIN, C.R.; SCARAVELLI, T.L.; SANTINI, E.J.; STANGERLIN, D.M.; GATTO, D.A.; TREVISAN, R. Desempenho físico-mecânica de painéis fabricados com Bambu (*Bambusa vulgaris* Schr.) em combinação com madeira. **Cerne**, Lavras, v. 13, n. 1, p. 57-63, jan./mar. 2007

CARASCHI, J.C.; LEÃO, A.L.; CHAMMA, P.V.C. Avaliação de Painéis Produzidos a partir de Resíduos Sólidos para Aplicação na Arquitetura. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, vol. 19, nº 1, p. 47-53, 2009.

CERQUEIRA, P.H.A; VIEIRA, G.C.; BARBARENA, I.M.; MELO, L.C.; FREITAS, L.C. Análise dos Resíduos Madeireiros Gerados Pelas Serrarias do Município de Eunápolis-BA. **Floresta e Ambiente**. Rio de Janeiro, v.19, n.4, p. 506-510, out/dez, 2012.

CHAMMA, P. V. C. - **Produção de Painéis a Partir de Resíduos Sólidos Para Uso Como Elemento Arquitetônico**, Tese de Doutorado, Universidade Estadual Paulista, 2004.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (CETESB). **A cidade e o lixo**. São Paulo: Secretaria de Estado de Meio ambiente. 1998.

DEL MENEZZI, C. H. S.; SOUZA, M. R.; GONÇALEZ, J. C. Fabricação e avaliação tecnológica da chapa aglomerada. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 20, n. 3, p. 371-379, 1996.

DIAS, F.M.; LAHR, F.A.R. Estimativa de propriedades de resistência e rigidez da madeira através da densidade aparente. **Scientia Florestalis**, Piracicaba, n.65, p. 102-103, jun. 2004.

DONATI, R. D. **Produção de painéis reconstituídos no Brasil - passado, presente e futuro.** 2010. Disponível em: <<http://www.abipa.org.br/entrevistaRosane.php>>. Acesso em: 20 abril, 2015.

DUTRA, R.I.J.P; NASCIMENTO,S.M.; NUMAZAWA,S. Resíduos de Indústria Madeireira: Caracterização, consequências sobre meio ambiente e opções de uso. **Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal.** n.5, 2005. Disponível em: <http://faef.revista.inf.br/imagens_arquivos/arquivos_destaque/7kc54tJmvnT43dW_2013-4-25-14-47-28.pdf>. Acesso em 27 abril, 2015.

ENGENHARIA APLICADA À VALORIZAÇÃO DA MADEIRA. **Plantas industriais pequenas para a produção de painéis aglomerados (MDP) no Brasil**, s.d. Disponível em: <http://www.envalma.com/wa_files/ENVALMA-Paineis_20Aglomerados.pdf>. Acesso em: 18 abril. 2015.

FILGUEIRAS, T.; GONÇALVES, A. P. A checklist of the basal grasses and bamboos in Brazil (Poaceae). **Bamboo Science and Culture: The Journal of the American Bamboo Society.** v. 18, n. 1, p. 7-18, 2004.

FIORELLI, J.; CURTOLO, D. D.; GARZON, N. B.; JOHNSON, R.; SAVASTANO JUNIOR, H. Particulate composite based on coconut fiber and castor oil polyurethane adhesive: An ecoefficient product. **Industrial Crops and Products**, v. 40, p. 69-75, 2012.

FONTES, P.J.P. **Auto-Suficiência Energética em Serraria de Pinus e Aproveitamento dos Resíduos.** Curitiba: UFPR, 1994. Dissertação (mestrado) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1994.

GANAPATHY, P.M.; HUAN-MING, Z.; ZOOLAGUD, S.S.; TURCKE, D.; ESPILOY, Z.B. **Bamboo Panel Boards a State-of-the-Art Review.** Beijing, China: International Network for bamboo and rattan. 1999. Technical Report No. 12

GRECCO, T.M.; CROMBERG, M. **BAMBU: Cultivo e Manejo.** Florianópolis: Insular, 2011.

GRUBERT, W. **Utilização de feixes de fibras de Pinus spp e partículas de polietileno de baixa densidade (PEBD) para produção de painéis aglomerado.** Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Florestal)- Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Curitibanos, 2014.

GOMIDE, J.L.; OLIVEIRA, R.C.; COLODETTE, J.L. Influencia da idade do Bambusa Vulgaris nas suas características químicas e anatômicas visando a produção de polpa celulósica. 1981. In: CONGRESSO ANUAL DA ABCP, 14.,1981, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABTCP, 1981.v.1, p. 05-29.

GONÇALVES, D.S.; REZENDE, L.S.H; SILVA, C.A.; B,R. Utilização de resíduos na fabricação de chapas de partículas. **Engvista**, v.15, n.2. p. 148-158, agosto 2013.

HILLIG, E.; SCHNEIDER, V.E.; WEBER, C.; TECCHIO, R.D. Resíduos de madeira da indústria madeireira – caracterização e aproveitamento. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 16., 2006, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: ENEGESP, 2006.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE FLORESTAS. Indicadores de desempenho do setor nacional de árvores plantadas referentes ao ano de 2013. Disponível em:

< http://www.iba.org/shared/iba_2014_pt.pdf>. Acesso em: 13 abril, 2015.

IWAKIRI, S. et al. Utilização de resíduos de serraria na produção de chapas de madeira aglomerada de *Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus citriodora* e *Eucalyptus pilularis*. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v.7, n.1, p.251-256, 2000.

IWAKARI, S. et al. Produção de madeiras aglomeradas de cinco espécies de pinus tropicais. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v.8, n.1, p.137-142, jan./dez. 2001.

IWAKIRI, S. et al. Produção de painéis de madeira aglomerada de alta densificação com diferentes tipos de resinas. **Scientia Florestalis**, São Paulo, n.68, p.39-43, ago.2005.

JANSSEN, J.J. **Designing and building with bamboo**. Beijing, China: Internacional Network for bamboo and rattan, 2000. Technical report n.20.

JANZEN, D.H. Why bamboos wait so long to flower?. **Annual Review of Ecology & Systematics** v.7, p. 347-391, 1976.

JARAMILLO, S. V. La Gradua em los grandes proyectos de inversion. In: CONGRESSO MUNDIAL DE BAMBU/GUADUA, I., 1992, Pereira. **Anais...** Pereira,1992. 219 p.

KELLY, M.W. **Critical literature review of relationships between processing parameters and physical properties of particleboard**. USDA For. Ser. Gen. Tech. Rep. FPL, Madison, USA. 1977. 66 p.

KHALIL, A. H. P. S.; FAZITA, M. R.; BHAT, A. H.; JAWAID, M.; FUAD, N. A. Development and material properties of new hybrid plywood from oil palm biomass. **Materials and Design**, Reigate, v. 31, n. 1, p. 417–424, 2010.

KOLMANN, F.F.P.; KUENZI, E.W.; STAMM, A.J. **Principles of woos science and technology II – wood based materials**. New York: Springer – Velarg, 1975.

LEE, A. W. C.; BAI, X.; BANGI, A. P. Flexural properties of bamboo-reinforced southern pine OSB beams. **Forest Products Journal**, Madison, v. 47, n. 6, p. 74-78, June 1997.

LEE, S. Mechanical and physical properties of agro based fiberboard. **Holz Als Roh-Und Werkstoff**, Berlin, v. 64, p. 74-79, 2006.

LIESE, W. & DING, Y. **The anatomy of bamboo culms**. Beijing, China: International Network for bamboo and rattan, 1998. Technical report.

LOPES, T.A.; BUFALINO, L.; CÉSAR, A.S.; MENDES, L.M. Propriedades Físico-Mecânicas em painéis aglomerado de diferentes densidades. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRA E ESTRUTURAS DE MADEIRA, 14.,2014, Natal. **Anais....**Natal: EBRAMEN, 2014.

MANHÃES, A.P. **Caracterização da cadeira produtiva do bambu no Brasil: abordagem preliminar**. 2008. 32 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Florestal) – Instituto de Florestas, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2008.

MALONEY, T. M. Modern particleboard & dry-process fiberboard manufacturing. **Miller Freeman Inc.**, p. 689, San Francisco, 1993.

MATTOS, A.D.A.; ROSA, M.F.; FILHO, M.S.M.S.;MORAIS,J.P.S.; ARAÚJO JUNIOR, C.P. **Painéis Elaborados com Resíduos da Casca de Coco-Verde**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2011. 3 p. (Embrapa Agroindústria Tropical. Circular Técnica, 35).

MELO, R.R.; STANGERLIN, D.M.; SOUSA, A.P.; CADEMARTORI, P.H.G.; SCHNEID, E. Propriedades físico-mecânicas de painéis aglomerado madeira-bambu. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.45, n.1, p.35-42, jan, 2015.

MENDES, L.M.; ABUQUERQUE, C.E.C.; IWAKIRI, S. Perspectivas do processo de produção de painéis OSB. In: EBRAMEM, 7, 2000, São Carlos. **Anais...** . São Carlos: [s.n.], 2000.

MENDES, R.F.; MENDES, L.M.; ABRANCHES, R.A.S.; SANTOS, R.C.S.; GUIMARÃES JUNIOR, J.B. Painéis aglomerados produzidos com bagaço de cana em associação com madeira de eucalipto. **Scientia Florestalis**, Piracicaba, v. 38, n. 86, p. 285-295, jun. 2010.

MISKALO ,E.P. Avaliação do potencial de utilização de Bambu (*Dendrocalamus giganteus*) na produção de painéis de partículas orientadas. Dissertação (mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia mecânica e de materiais, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

MOIZES, F.A. **Painéis de Chapas de Bambu: Uma experiência didática nos cursos de design em Bauru**. Bauru: UNESP, 2007. 113 p. Dissertação (mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Desenho Industrial, Faculdade Arquitetura, Arte e Comunicação, Universidade; Estadual Paulista, Bauru, 2007.

MORAIS, W. W. C. **Propriedades físico-mecânicas de chapas aglomeradas produzidas com bambu, pinus e eucalipto**. 132 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.

MOTOOKA, P.; CASTRO, L.; NELSON, D.; NAGAI, G.; CHING, L. **Weeds of Hawaii's Pastures and Natural Areas: An Identification and Management Guide**. Disponível em: < http://www.ctahr.hawaii.edu/invweed/WeedsHI/W_Phyllostachys_nigra.pdf >. Acesso em: 15 jun.2015.

MUDOI, K.D.; SAIKIA, S.P.; GOSWAMI, A.; GOGOI, A., BORA, D., ORTHAKUR, M. Micropropagation of important bamboos: A review. **African Journal of Biotechnology**, v.12, n. 20, p. 2770-2785, 2013.

MURAD, J.R.L. **Estudo experimental das propriedades físicas, mecânicas e aplicações estruturais do bambu Guadua spp de Assis Brasil – AC**. (Tese) Doutorado em Engenharia Civil – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Fluminense. Rio de Janeiro, RJ, 2011.

NADGAUDA, R.S.; JOHN, C.K.; MASCARENHAS, A.F. Floral biology and breeding behavior in the bamboo *Dendrocalamus strictus* Nees. **Tree Physiology** 13: 401-408, 1993.

NASCIMENTO, M.F. **Chapas de partículas homogêneas – madeiras do nordeste do Brasil**. Derivados da Madeira - Produtos – Escola de Engenharia de São Carlos, Departamento de Engenharia de Estruturas, São Carlos, 2008.

NOGUEIRA, M. **Determinação de módulos de elasticidade à compressão da madeira de *Pinus taeda* L. com o uso de ultra-som**. Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrônomicas da UNESP – Campus de Botucatu, para a obtenção do título de Mestre em Agronomia. BOTUCATU –SP. Maio – 2003.

OPRINS, J.; GRUNEWALD, W.; GILLIS, K.; DELAERE, P.; PEETERS, H.; GIELIS, J. Micropropagation: a general method for commercial bamboo production. In: WORLD BAMBOO CONGRESS, 7, 2004, New Delhi. **Proceedings of the 7th World Bamboo Congress**, New Delhi, India, 2004.

ORTUNÕ, T. G.; RODRÍGUES, J. A.; GARCÍA, M. T. F.; VILLENA, M. F.; GARCÍA, C. E. F. Evaluation of the physical end mechanical properties of particleboard made from giant reed (*Arundo donax* L.). **BioResources**, Raleigh, v. 6, n. 1, p. 477-486, 2011.

PEREIRA, M.A.R.; BERALDO, A.L. **Bambu de Corpo e alma**. Bauru, SP: Canal6, 2008.

RASERA, D.L. **Estudo sobre as interações entre as variáveis do processo de produção de painéis aglomerados e produtos moldados de madeira**. Curitiba: UFPR, 2006. 157 p. Tese (doutorado) – Programa de Pós- Graduação em Engenharia Florestal, Faculdade de Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

RIPPER, L.A. Multidisciplinaridade para as sustentabilidades no ensino básico: elaboração de projetos sustentáveis na escola parque, RJ (Brasil). **Didáticas Específicas**, n.6, p. 55-71, 2012.

RIVERO, L.A. **Laminado Colado e Contraplacado de Bambu**. Campinas: UNICAMP, 2003. Dissertação (mestrado) – Programa de Pós Graduação em Construções Rurais e Ambiente, Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

ROQUE, C.A.L; VALENCA, A.C.V. **Painéis de madeira aglomerada**. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 8, p. 153-170, set. 1998.

ROSA, R.A. **Caracterização do Bambu laminado colado como alternativa tecnológica industrial**. Jerônimo Monteiro: UFES, 2013. 90 p. Dissertação (mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2013.

SALDANHA, L. K. **Alternativas tecnológicas para a produção de chapas de partículas orientadas “OSB”**. 2004. 97p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

SANTANA, G.M. **Resíduos de Bambu (*Bambusa vulgaris* Schard.) para a produção de Carvão ativado**. Lavras: UFL, 2014. Dissertação (mestrado) – Programa de Pós Graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2014.

SANTOS ANDIRÁ MOVÉIS. **MDP Painéis de partículas de média densidade**. Disponível em: <<http://www.isa.com.br/index.jsp?view=387>> Acesso em: 01 set. 2015.

SCHORODER, S. **Bambusa vulgaris**. 2011. Disponível em:<<http://www.guaduabamboo.com/species/bambusa-vulgaris>>. Acesso em: 17 abril, 2015

SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE – GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO. Apostilas Ambientais. **Resíduos sólidos**.,. Disponível em: <<http://www.ambiente.sp.gov.br/wp-content/uploads/publicacoes/sma/6-ResiduosSolidos.pdf>>. Acesso em: 28 abril, 2015.

SILVA, A.A. **Aproveitamento de resíduos de madeira (Maravalha) de pinus e bagaço de cana de açúcar para produção de chapas de madeira aglomerado**. 2013. 73 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2013.

SILVA, J.T. **Caracterização citogenética de espécies e variedades de bambu com potencial econômico no nordeste**. Recife: UFRPE, 2007. Dissertação (mestrado) – Programa de Pós Graduação em Ciências Florestais, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2007.

SILVA, R.M.C. **O Bambu no Brasil e no mundo**, 2005. Disponível em: <<http://pt.scribd.com/doc/55662853/Bambu-No-Brasil-e-No-Mundo-56403>>. Acesso em: 15 maio, 2015.

SINGH, S. R.; SINGH, R.; KALIA, S.; DALAL, S.; DHAWAN, A. K.; KALIA, R. K. Limitations, progress and prospects of application of biotechnological tools in improvement of bamboo—a plant with extraordinary qualities. **Physiology and Molecular Biology of Plants**, v.19, n.1, p. 21-41, 2013.

SPOLIDORO, P.V. **Características dendométricas e propriedades físicas dos colmos de *Bambusa vulgaris* e *Bambusa tuldoides***. Seropédica: UFRRJ, 2008.

SWAMY, R.N. Vegetable fiber reinforced cement composites – a false dream or a potencial reality. In: INTERNACIONAL SYMPOSIUM VEGETABLE PLANTS AND THER FIBRES AS BUILDING MATERIALS, 2., 1990, Salvador. **Proceedings...** London: Chapman and Hall, 1990. P -3-8. (Rilem Proceedings, 7).

VALARELLI, I.D.; BATTISTELLE, R.A.G.; AZAMBUJA, M.A.C.; CAMPOS, C.I. Avaliação do desempenho de painéis de partículas aglomeradas de bambu da espécie *Dendrocalamus giganteus*. Em: LAHR, Francisco Antonio Rocco; CHRISTOFORO, André Luis (Org.). **Painéis de partículas de madeira e de materiais lignocelulósicos**. 1 ed. São Carlos. : EESC - USP. 2013. v. 1, p. 179-217.

VICK, C. B. Adhesive bonding of wood materials. In: **Wood Handbook: wood as an engineering material**. Agric. Handb.72. Washington, DC: United States Department of Agriculture; rev. 1987.

VIDAL, A. C. F.; HORA, A.B. **Panorama de mercado: painéis de madeira**. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n.40, p. 323-384, set. 2014.

VITAL, B. R.; WILSON, J. B. Efeito da forma geométrica dos flocos e partículas, da densidade das chapas e do tipo de adesivo nas propriedades mecânicas das chapas de madeira aglomerada. **Árvore**, Viçosa, v. 4, n. 2, p. 179-187, 1980.

WIEDMAN, G. A. **Fibra de coco e resinas de origem vegetal para a produção de componentes de mobiliário e da construção civil**. São Paulo: USP, 2002. Tese (doutorado). Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

WORLD WILDLIFE FUND FOR NATURE. **Living Forest Report**: Chapter 2, 2011
Disponível em: < http://assets.panda.org/downloads/living_forests_chapter2_report.pdf >.
Acesso em: 13 abril, 2015.