

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”  
GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA INDUSTRIAL MADEIREIRA  
CAMPUS DE ITAPEVA

RODRIGO MONTEIRO DE ALMEIDA SILVA

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA CONCENTRAÇÃO DE  
FEIXES DE FIBRAS DE BAMBU EM ENSAIOS DE PISO**

Itapeva - SP

2010

RODRIGO MONTEIRO DE ALMEIDA SILVA

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA CONCENTRAÇÃO DE  
FEIXES DE FIBRAS DE BAMBU EM ENSAIOS DE PISO**

Trabalho de Graduação apresentado no Campus Experimental de Itapeva - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", como requisito para a conclusão do curso de Engenharia Industrial Madeireira.

Orientadora: Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Juliana Cortez Barbosa

Itapeva - SP

2010

**FICHA CATALOGRÁFICA**

S586a	<p>Silva, Rodrigo Monteiro de Almeida. Análise da influência da concentração de feixes de fibras de bambu em ensaios de piso / Rodrigo Monteiro de Almeida Silva. -- Itapeva, 2010. 88 f.; il.</p> <p>Trabalho de Graduação do Curso Engenharia Industrial Madeireira apresentado ao Campus Experimental de Itapeva – UNESP, 2010. Orientador: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Juliana Cortez Barbosa Banca examinadora, Prof.<sup>o</sup> Dr.<sup>o</sup> Alexandre Jorge Duarte de Souza, Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Elen Aparecida Martines Morales. Inclui bibliografia</p> <p>1. Bambu. 2. Pisos. 3. Aplicações - Bambu. I. Título. II. Itapeva - Curso de Engenharia Industrial Madeireira.</p> <p>CDD 633.58</p>
-------	--

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca da UNESP – Campus Experimental de Itapeva.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”  
GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA INDUSTRIAL MADEIREIRA  
CAMPUS DE ITAPEVA

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA CONCENTRAÇÃO DE  
FEIXES DE FIBRAS DE BAMBU EM ENSAIOS DE PISO**

RODRIGO MONTEIRO DE ALMEIDA SILVA

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO  
COMO PARTE REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE  
**GRADUADO EM ENGENHARIA INDUSTRIAL MADEIREIRA**

APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO  
DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA INDUSTRIAL MADEIREIRA

Prof. Dr. José Cláudio Caraschi  
Coordenador de Curso

**BANCA EXAMINADORA:**

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Juliana Cortez Barbosa  
Orientador – Campus Experimental de Itapeva/UNESP

Prof. Dr<sup>o</sup>. Alexandre Jorge Duarte de Souza  
Campus Experimental de Itapeva/UNESP

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Elen Aparecida Martines Morales  
Campus Experimental de Itapeva/UNESP

À minha mãe que muito me auxiliou, dando me apoio, incentivo e dedicação.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente à minha mãe pela dádiva da vida e pelo carinho e atenção dispensados em todos os momentos de minha vida.

À minha família como um todo, pelo apoio e dedicação.

Aos amigos de maneira geral e à dois em especial que muito contribuíram para este momento, Felipe e Rafael muito obrigado por me apoiarem nos momentos de dificuldade e me suportarem todos esses anos.

Aos amigos do trabalho que tantas vezes me ajudaram e, em especial ao José Afonso me auxiliou na grade horária tantas vezes que não consigo mais contar.

Aos professores, pelo aprendizado que me foi passado, especialmente à Professora Juliana, pela orientação, dedicação e paciência para comigo. Também ao Professor Alexandre pelo auxílio na realização deste trabalho.

Ao professor José Reinaldo e sua equipe que nos receberam muito bem e nos auxiliaram na execução dos ensaios.

E a todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para este dia.

“É preciso muita fibra para chegar às alturas e, ao mesmo tempo, muita flexibilidade para se curvar ao chão”.

(Covey)

## RESUMO

O bambu apresenta uma das mais elevadas taxas de crescimento entre os vegetais, entretanto a sua lignificação (o que lhe confere resistência) leva em torno de alguns anos e, portanto, certas características físicas e mecânicas, que dependam deste processo somente serão adquiridas entre os três a seis anos de idade. Além disso, o bambu também apresenta significativas variações de densidade nos diversos pontos do colmo, tanto no sentido radial como no axial. Em especial o sentido radial, onde a densidade encontrada na região interna e externa (próxima a casca) de um mesmo colmo pode oscilar em média de 0,5 a 0,9 g/cm<sup>3</sup>. Sendo assim, na aplicação do bambu como piso, há de se analisar se ambas as faces do bambu (internas e externas), oferecem propriedades de resistência necessárias a este uso. Neste trabalho buscou-se caracterizar e quantificar a influência da concentração de feixes de fibras nas faces interna e externa de régua ou taliscas de bambu através de ensaios de piso em serviço. As análises realizadas tiveram por base a norma ASTM D 2394-83 para pisos em madeira e derivados. Isto se fez necessário em virtude da não existência de uma norma específica de uso e ensaio de pisos fabricados com bambu e derivados. As análises realizadas foram: ensaio de endentação por esfera cadente, ensaio de resistência à abrasão, ensaio de endentação por esforço/carga rolante e ensaio de endentação por cargas aplicadas a pequenas áreas – teste do salto. Os resultados obtidos nos ensaios foram extremamente favoráveis ao bambu, mesmo este apresentando consideráveis divergências entre as resistências obtidas pelo ensaio da capa da face externa e da interna, sendo esses comparáveis com muitas das madeiras comumente utilizadas no fabrico de pisos. Esta comparação foi possível por meio de dados da literatura de ensaios de pisos realizados com madeiras diversas.

**Palavras chave:** Bambu, piso, pinus, concentração de feixes de fibras, ensaios de piso.



## ABSTRACT

Bamboo has one of the highest growth rates among plants, however, its lignifications (which confers resistance) takes around a few years and, therefore, certain physical characteristics and mechanical, that depend on this process will only be acquired between the three to six years old. In addition, bamboo also has significant density variations in different parts of the stem, both in the radial direction as the axial. In particular the radial direction, where the density found in the inner and outer (near the bark) of a single stem can range on average from 0.5 to 0.9 g/cm<sup>3</sup>. Thus, the application of bamboo as a floor, there to examine whether both sides of the bamboo (internal and external), provide resistance properties required for that purpose. In this study sought to characterize and quantify the influence of the concentration of fiber bundles in the inner and outer sides of rules or bamboo strips of bamboo flooring through testing service. Analyses performed were based on ASTM D 2394-83 for wooden floors and derivatives. This was necessary because of the absence of a specific prohibition of the use and testing of floors made of bamboo and its products. The data were analyzed by ball indentation test shooting, test for resistance to abrasion, indentation test for stress / load treadmill test and by indentation loads applied to small areas - test the jump. The results of the tests were extremely friendly bamboo, even this presents considerable differences between the resistances obtained from assay of the cover of the inner and outer face, being comparable with those of many commonly used to manufacture wood flooring. This comparison was made possible by information from technical trials of several floors made with wood.

**Key words:** Bamboo, floor, pinus, concentration of fiber bundles, floor tests.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Seção de um colmo de bambu e suas denominações. ....	7
Figura 2: Fábrica chinesa de processamento de brotos comestíveis de bambu.....	8
Figura 3: Broto de bambu.....	9
Figura 4: Broto de bambu <i>Dendrocalamus giganteus mosso</i> evidenciando os diafragmas.....	9
Figura 5: (a)colmo atacado por brocas, (b) Broca ( <i>Dinoderus minutus</i> ). ....	11
Figura 6: Variação radial da densidade básica das camadas de <i>Bambusa vulgaris</i> , em diferentes porcentagens da altura dos colmos. ....	13
Figura 7: Corte transversal de bambu visto em lupa (6x). ....	16
Figura 8: Detalhe do arranjo gradual das fibras no sentido radial em uma vista em corte do bambu.....	17
Figura 9: Microestrutura do bambu. ....	18
Figura 10: Estrutura e disposição das fibras na região do nó. ....	18
Figura 11: Regiões de maior incidência de bambu através dos continentes. ....	20
Figura 12: Distribuição de bambu no Brasil. ....	21
Figura 13: Imagem de um bambuzal de espécie alastrante ( <i>Phyllostachys pubescens</i> ). ....	24
Figura 14: Esquema de desenvolvimento do bambu alastrante.....	24
Figura 15: Imagem de bambu entouceirante ( <i>Dendrocalamus giganteus</i> ). ....	25
Figura 16: Esquema de desenvolvimento do rizoma de bambu entouceirante. ....	26
Figura 17: Ilustração de painel sarrafeado colado lateralmente (EGP). ....	28
Figura 18: Produção e consumo de EGP no Brasil.....	29
Figura 19: Exportações brasileiras de painel EGP.....	30
Figura 20: Fluxograma de produção dos corpos de prova. ....	34
Figura 21: Prensa de alta frequência. ....	36
Figura 22: Esquema de retirada das régua (taliscas) do colmo.....	37
Figura 23: Imperfeições dos nós do bambu, (a) ramo (externo) e (b) diafragma (interno). ....	38
Figura 24: Desengrosso (a), desempenho (b) das taliscas e (c) régua de bambu.....	39
Figura 25: (a) Prancha de bambu na mesa formadora e (b) Piso engenheirado sem prensado	40
Figura 26: Corpos de prova .....	41

Figura 27: Corpos de prova montados no equipamento de ensaio (a) e (b), (c) detalhe do equipamento. ....	45
Figura 28: Endentação.....	46
Figura 29: Equipamento para ensaio de endentação por esfera cadente.....	47
Figura 30: Peça ensaiada (a), método de obtenção dos dados (b). ....	48
Figura 31: Montagem das peças no equipamento para ensaio de carga rolante.....	49
Figura 32: Sulco provocado durante o ensaio e a aquisição dos dados. ....	50
Figura 33: Retífica (com lixa) do rebolo H18 (a), limpeza do equipamento (b).....	52
Figura 34: Ensaio de abrasividade do bambu, (a) corpo-de-prova sendo ensaiado e (b) entalhe causado pelo rolo abrasivo. ....	52
Figura 35: Relação profundidade da endentação e viagens do carro.....	55
Figura 36: Gráfico da endentação por esfera cadente. ....	56
Figura 37: Relação profundidade de endentação e viagens da carga. ....	58
Figura 38: Relação sulco causado pelo rebolo abrasivo e número de rotações do corpo-de-prova.....	59

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Resultados do ensaio de bambu comparados com a literatura.....	60
Tabela A 1: Densidade Aparente.....	71
Tabela A 2: Umidade dos corpos de prova. ....	71
Tabela A 3: Densidade básica. ....	72
Tabela A 4: Tabela comparativas das densidades básica e aparente. ....	72
Tabela A 5: Dados das profundidades de danos, em milímetros, obtidos do ensaio de resistência à abrasão em suas respectivas viagens.....	73
Tabela A 6: Dados (agrupados) das profundidades de danos, em milímetros, obtidos no ensaio de carga aplicada à pequenas áreas (salto).....	73
Tabela A 7: Dados das profundidades de danos, em milímetros, referentes aos ensaios de carga rolante. ....	74
Tabela A 8: Dados das profundidades de danos, em milímetros, referentes aos ensaios de carga rolante. ....	74

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- b** – base.
- D<sub>A</sub>** – densidade aparente.
- D<sub>b</sub>** – densidade básica.
- D<sub>med</sub>** – valor médio da densidade.
- D<sub>n</sub>** – valor unitário de densidade de cada peça.
- EGP** – *Edged Glued Pannel*.
- E<sub>CA</sub>** – endentação por carga aplicada.
- E<sub>EC</sub>** – endentação por esfera cadente.
- E<sub>CR</sub>** – endentação por carga rolante.
- E<sub>A</sub>** – endentação por abrasividade
- GPa** – Giga Pascal.
- h** – altura.
- l** – largura.
- M** – massa.
- MPa** – Mega Pascal.
- M<sub>s</sub>** – massa seca.
- M<sub>i</sub>** – massa inicial ou massa úmida.
- M<sub>f</sub>** – massa final ou massa seca.
- PVA** – Acetato de polivinila.
- U** – umidade.
- V<sub>sat</sub>** – volume do corpo de prova saturado.
- V** – volume.

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVOS.....	3
2.1. Gerais.....	3
2.2. Específicos.....	3
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
3.1. Bambu.....	4
3.1.1. Características do bambu.....	6
3.1.2. Características físicas e mecânicas do bambu.....	12
3.1.3. Composição do bambu.....	15
3.1.4. Cultivo e colheita do bambu.....	19
3.1.5. Espécies de bambu.....	23
3.1.6. <i>Dendrocalamus giganteus</i> .....	27
3.2. Painel EGP.....	27
3.3. Pisos engenheirados.....	30
3.4. Pisos de bambu.....	31
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	33
4.1. Corpos de prova.....	33
4.1.1. Fabricação do painel EGP.....	35
4.1.2. Obtenção das taliscas de bambu.....	36
4.1.3. Confecção do piso engenheirado Bambu-EGP.....	39
4.1.4. Fabricação dos corpos de prova.....	40
4.2. Ensaio dos pisos em serviço.....	41
4.2.1. Determinação de densidade.....	42
4.2.2. Ensaio de endentação causada por cargas aplicadas em pequenas áreas.....	44
4.2.3. Ensaio de impacto da esfera de aço cadente.....	46
4.2.4. Ensaio da carga rolante.....	49
4.2.5. Resistência à abrasão.....	51
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	54
5.1. Determinação de densidade.....	54

5.2.	Ensaio de endentação causada por cargas aplicadas em pequenas áreas .....	54
5.3.	Ensaio de impacto da esfera de aço cadente .....	56
5.4.	Ensaio da carga rolante.....	57
5.5.	Resistência à abrasão.....	58
5.6.	Resultados comparativos .....	59
6.	CONCLUSÃO.....	62
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	64

## 1. INTRODUÇÃO

Pisos em madeira são, há séculos, um revestimento de assoalho que é normalmente associado ao requinte em virtude de sua beleza e, do valor agregado que a dificuldade de sua obtenção traz. Outrora esta dificuldade se traduzia na precariedade dos equipamentos utilizados no manuseio e fabricação destes, atualmente, fica por conta da crescente carência de matéria-prima.

Devido à dificuldade de obtenção de matérias-primas, buscam-se, cada vez mais, novos materiais substitutos que, mantenham a qualidade do produto bem como provejam a demanda.

Uma prova dessa busca são os diversos produtos oriundos de painéis de madeira reconstituída como pisos engenheirados, pisos de MDF e outros tantos que tem como matéria-prima derivados da madeira, em vez de utilizá-la maciça como era feito anteriormente.

Seguindo nesta proposta de busca de novos materiais para o fabrico de pisos, encontram-se os estudos com bambu que apesar de ser uma gramínea, apresenta características lenhosas desejáveis que o tornam um perfeito candidato a substituição.

Utilizado por povos orientais há aproximadamente 3500 anos, o bambu possui propriedades de resistência comparáveis a madeira ou até mesmo ao aço em determinados casos, tornando-o um material adequado para usos estruturais ou na confecção de móveis e muitos outros utensílios. Aliado às características já citadas, a beleza do bambu laminado bem como seu acelerado crescimento, qualificam-no para a confecção de pisos.

Na China, onde os primeiros indícios de utilização de bambu por uma civilização foram encontrados e o uso do bambu é tão difundido que há milhares de usos (HSIUNG, 1988), os pisos confeccionados com base em bambu já são uma realidade de grande beleza, requinte e altíssimo valor agregado.

Entretanto no Brasil ainda não há plantação de bambu em larga escala para fins específicos de desdobro, existem apenas plantações comerciais para obtenção de polpa celulósica (Maranhão). Neste sentido pela baixa oferta de material optou-se, inicialmente, por uma adaptação do piso de bambu, agregando-o a outro material, neste caso o painel sarrafeado (EGP) de pinus. Esta escolha é favorável, pois o painel escolhido tem baixo valor agregado por ser oriundo de reaproveitamento de resíduos, e uma vez transformado em piso



engenheirado, ou seja, piso misto de base EGP com um revestimento superficial de lâminas de bambu agrega-se valor e permite que seja utilizado um mínimo de bambu na fabricação. Este mínimo permite a redução de custos, consumo de energia e geração de resíduos, considerando que ainda não há um processo de fabricação de lâminas com maquinários eficientes disponíveis no Brasil. Desta forma, esta pequena porcentagem no uso do bambu visa apenas manter a beleza e as propriedades de resistência superficial do piso composto, proporcionando um uso mais nobre para a madeira de pinus na região.

De acordo com vários estudos, além do investimento em plantios de bambu em larga escala ser baixo, o início da fabricação torna-se possível, a partir de aproximadamente 8 anos, tempo necessário para a formação da touceira, seguido de colheitas a cada 3 anos que é o tempo mínimo para a lignificação necessária à fabricação do piso.

Além disso, com base nos ensaios realizados por Alvarenga (2009), os pisos realizados com base em painel e recobertos com lâmina de bambu apresentaram características de resistência necessárias a fabricação e uso deste em assoalhos.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Gerais**

O objetivo principal deste trabalho é caracterizar e quantificar a influência da concentração de feixes de fibras nas faces interna e externa de régua ou taliscas de bambu através de ensaios de piso misto de bambu e EGP.

### **2.2. Específicos**

Diferenciar, pelas características morfológicas, qual das faces da parede do colmo (interior ou exterior) é mais apta ao uso em piso.

Buscar um novo produto que agregue valor ao painel EGP.

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1. Bambu

O bambu é um vegetal da família das gramíneas arborescentes gigantes – árvores ou arbustos de grama com talos – pertencente à subfamília *Bambusoideae* (SOUZA, 2004) que, por suas características peculiares pode ser classificada como planta lenhosa. É uma angiosperma (semente protegida) monocotiledônea de fácil propagação e crescimento acelerado – atingindo altura máxima em um período extremamente curto, geralmente compreendido entre 40 a 180 dias e maturidade em alguns anos – (BERALDO *et. al.*, 2007) apresentando um rendimento florestal comparável ao do eucalipto, podendo ser produzido em larga escala mesmo em área reduzida (KLEINE, 2005).

Apesar da grande velocidade no crescimento da planta, esta somente atinge sua maturidade após os 3 anos de idade, momento no qual poderá ser utilizado como material de construção, pois somente a partir deste período que o processo de lignificação e silificação está consolidado (SOUZA, 2004).

Ainda segundo Souza (2004), obedece a um ciclo de vida compreendido entre a germinação da semente e o florescimento, sendo que o intervalo deste ciclo pode ocorrer entre 10 e 100 anos e, após este período a planta morre (semelhante ao que ocorre com o milho ou trigo). Este fator, segundo (GHAVAMI *et. al.*, 2005) é um dos motivos da presença parca de literatura sobre o assunto, uma vez que um ciclo de florescimento tão longo dificulta a obtenção de dados.

O bambu é ecologicamente correto, pois se apóia nos pilares da sustentabilidade. Isto se dá, pois uma das características mais peculiares desta planta é o fato de sua produção anual não necessitar de replantio, cada novo broto surge anexo a um já existente. Ainda tratando do eco pensamento, o bambu é um ótimo seqüestrador de carbono, devido a sua altíssima taxa de crescimento e, também, ajuda a prevenir erosões dos solos, pois suas raízes (novos brotos) “costuram” os solos, tornando-os coesos e compactos (BRANDÃO, 2008).

Sendo uma planta com origem no período cretáceo (BERALDO *et. al.*, 2007), tem acompanhado o ser humano, durante toda sua existência fornecendo-lhe alimento, abrigo,

ferramental, utensílios, moradia e mais uma infinidade de outros materiais (SASTRY, 1999 *apud* MOIZÉS, 2007), estimando-se atualmente, mais de 4 mil finalidades e aplicações (HSIUNG, 1988), inclusive no campo industrial.

É de conhecimento público que o primeiro filamento utilizado por Thomas Edison em sua lâmpada era carvão de bambu e que Santos Dumont, em seus primeiros modelos de aeronaves, como o modelo *Demoiselle*, utilizou colmos de bambu (BERALDO *et. al.*, 2007).

O uso do bambu é extremamente desenvolvido nos países asiáticos, tendo na China, o registro mais antigo de sua utilização (BERALDO *et. al.*, 2007). Em alguns desses países, o bambu tem aplicação medicinal, sendo extraídas bebidas antitérmicas do colmo e das folhas, um extrato de sílica chamado *tabashir* contra asma, entre outros. Na China, está em desenvolvimento estudos da extração de *flavonóides* (compostos químicos que previnem ou retardam o desenvolvimento de alguns tipos de câncer) das folhas de bambu, além é claro do broto comestível que é uma considerável fonte de proteínas, fibras e antioxidantes (BRANDÃO, 2008).

Das aplicações industriais, a Ásia de modo geral, utiliza boa parte de suas florestas de bambu para a obtenção de pasta para celulose e rayon (CIARAMELLO *et. al.*, 1971), tendo a Índia como o maior produtor de celulose de bambu, utilizando de 60 a 70% dessa matéria-prima para tal finalidade (CIARAMELLO *et. al.*, 1971; BRANDÃO, 2008). Países como Tailândia, Paquistão, Indonésia e Filipinas são algumas das nações que também encontram no bambu o suprimento de matéria-prima para suas indústrias de celulose e papel (CIARAMELLO *et. al.*, 1971). Tão valiosa é a valorização que esta planta tem junto aos povos asiáticos, que na Índia é conhecida como “a madeira dos pobres”, na China como “o amigo das pessoas” e no Vietnã é “o irmão”.

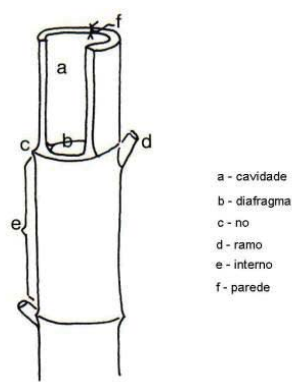
Na construção civil, além de inúmeras construções espalhadas por toda a Ásia, há uma que merece destaque especial, o monumento indiano *Taj Mahal* teve sua cúpula originalmente construída em bambu (BERALDO *et. al.*, 2007; LOPEZ, 1974). A ponte *Golden Gate* foi inspirada em pontes pênséis de bambu trançadas na China (BRANDÃO, 2008). Atualmente, buscam-se novas vertentes para a utilização de bambu nas mais diferentes áreas. Por exemplo, como material estrutural, vários pesquisadores, tem substituído o aço em estruturas e concreto armado por bambus, o que implica em menor peso da estrutura para uma mesma capacidade de carga (GOMES *et. al.*, 2004).

Segundo Casagrande *et. al.* (2003), o bambu aplicado na construção civil poderia ajudar a reduzir o impacto do setor no meio ambiente, pois analisando os dados levantados por John (2000), estima-se que a construção civil consome algo entre 20 e 50% do total de recursos naturais utilizados pela sociedade, ou seja, é uma das maiores consumidoras de matérias-primas naturais. Ainda, quando se mistura fibra de bambu, livre de açúcares, ao cimento para fabricação da placa de bambu, não apenas se cria um material de construção valioso, mas também com uma vida útil bem maior e melhor resistência à umidade (Casagrande *et. al.*, 2003).

Por fim, há pesquisas que visam estudar as possibilidades de retirar álcool etanol do bambu, buscando contribuir com a geração de energia renovável. O carvão desta planta é excelente e o papel produzido tem a mesma qualidade dos feitos de madeira, sendo que especialistas argumentam que o bambu oferece seis vezes mais celulose que o pinheiro e suas fibras são mais resistentes que a madeira (BRANDÃO, 2008). Isto por si somente já seria um fator que mereceria um estudo mais aprofundado, mas segundo Vélez (2001) há outro fator que contribui para a viabilidade do uso do bambu, o volume produzido. Pode-se retirar entre 22 e 44 toneladas métricas anualmente por cada hectare plantado com bambu.

### **3.1.1. Características do bambu**

O bambu é composto por colmos cilíndricos e ocos na parte aérea e por rizomas e raízes na parte subterrânea, sendo que em sua maioria, se caracterizam por dispor de uma seqüência de entrenós (internos) ocos, separados transversalmente uns dos outros por diafragmas (septos), que aparecem externamente na forma de nós, de onde saem ramos e folhas. Os colmos diferem em altura, diâmetro, espessura de parede e forma de crescimento (BERALDO *et. al.*, 2007) cada qual segundo uma espécie. A Figura 1 descreve as seções do colmo e suas respectivas denominações.



**Figura 1:** Seção de um colmo de bambu e suas denominações.

**Fonte:** JANSSEN, 1998.

Uma característica interessante desta planta fica por conta de que ela nasce com o diâmetro que terá por toda a vida, não havendo, como nas árvores, incremento de diâmetro durante o crescimento (BERALDO *et. al.*, 2007). Com o crescimento do bambu, cada novo entrenó é envolvido por uma folha caulinar protetora – bainha – (GHAVAMI, 2005), fixada ao nó anterior no anel caulinar. Os nós são maciços pedaços de tecidos, compreendendo o anel nodular, o anel da bainha e geralmente uma gema dormente. Essas gemas são o local de emergência do novo crescimento segmentado – rizoma, colmo ou galho (SOUZA, 2004).

A propagação é espontânea e dispensa replantio por um longo período, chegando, em muitos casos, há mais de 100 anos. Os colmos brotam anualmente, geralmente na estação das chuvas, alongando-se continuamente, normalmente entre 20 cm a 1 m por dia, dependendo da espécie (BERALDO *et. al.*, 2007), sendo que o recorde mundial de crescimento diário, medido nos limites de Kyoto, em 1956, foi de 121 cm em 24 horas, verificado para o *Phyllostachys bambusoides* (Ueda, 1974 *apud* OSTAPIV, 2007). Esta característica de extrema velocidade de crescimento é o que, para Ghavami (2002), diferencia o bambu dos demais vegetais, sendo que não há nenhuma espécie florestal que possa competir tanto em velocidade de desenvolvimento quanto em crescimento (JARAMILO, 1992). De acordo com Ghavami *et. al.* (2003) no Brasil, o crescimento recorde de uma espécie de bambu foi de 37 cm em 24 horas para um *Dendrocalamus giganteus* de 12 cm de diâmetro.

Um fator intrigante no tocante ao replantio baseia-se na ocorrência de morte sincronizada de populações inteiras em um curto intervalo de tempo (Nelson, 1994), isto

ocorrerá quando da necessidade do replantio. Neste momento, será possível visualizar, um acontecimento raro na plantação de bambu, a floração.

O bambu serve a humanidade desde os seus primeiros dias de vida produzindo brotos comestíveis (Figura 2). Do sexto mês até o fim do primeiro ano produz lâminas e lascas para cestas, esteiras, e para o artesanato em geral. A partir do segundo ano produz tiras para esteiras e chapas, e a partir do terceiro ano, o bambu pode ser utilizado em estruturas arquitetônicas, ripas para pisos e chapas de bambu (LOPEZ, 1981).



**Figura 2:** Fábrica chinesa de processamento de brotos comestíveis de bambu.

**Fonte:** VASCONCELOS, 2004.

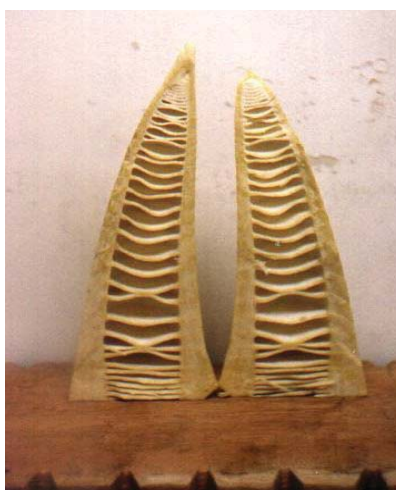
Os colmos apresentam maior diâmetro perto da base e este diminui conforme vai se dirigindo para a ponta (BERALDO *et. al.*, 2007). Isto pode ser notado na Figura 3, onde o broto apesar ainda muito jovem e pequeno, já mostra qual o diâmetro terá quando adulto (diâmetro de sua base) bem como os entrenós e seus correspondentes diafragmas. As paredes de cada entrenó ira se alongar da base para o topo, até o colmo atingir a altura máxima.



**Figura 3:** Broto de bambu.

**Fonte:** VASCONCELOS, 2004.

Já na Figura 4, há um broto um pouco mais desenvolvido que o da figura 3, onde se pode notar claramente, na vista de corte radial do broto, todos os septos que a planta adulta terá.



**Figura 4:** Broto de bambu *Dendrocalamus giganteus mosso* evidenciando os diafragmas.

**Fonte:** OSTAPIV, 2007.

A idade do corte é um fator importante e dependerá do fim previsto e da espécie. Para elementos estruturais, devem-se utilizar somente colmos maduros e completamente



lignificados (RIVEIRO, 2010), pois apenas assim o bambu poderá oferecer a resistência necessária ao desenvolvimento e manutenção de uma estrutura. Esta maturação é necessária e importante, pois apesar de o bambu crescer em ritmo extremamente acelerado e atingir sua altura máxima em poucos meses do surgimento do broto – de um mínimo de 40 dias para as espécies de pequeno porte a um máximo de 180 dias para as espécies gigantes – (BERALDO *et. al.* 2007), sua lignificação e conseqüente enrijecimento da planta demora vários meses, podendo ser colhido para uso estrutural em cerca de 3 a 5 anos dependendo da espécie e das condições de clima e solo oferecidas.

Os colmos são a parte que mais facilmente distingue uma espécie de outra, por apresentarem tamanhos, diâmetros, cores e texturas diferenciadas. São em sua maioria ocos, mas existem exceções. Os entrenós do gênero *Chusquea*, das Américas Central e do Sul, são sólidos, assim como a espécie *Dendrocalamus Strictus*. E em outras exceções, há algumas espécies que possuem água no interior dos entrenós (VASCONCELLOS, 2009).

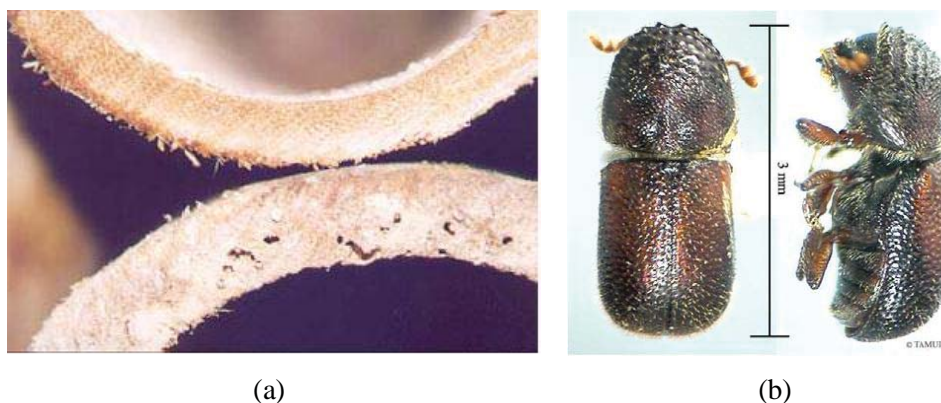
Suas folhas têm formato triangular e recobrem cada um dos nós que vão se formando, e caem após o colmo completar seu máximo comprimento. Posteriormente a este período inicial de crescimento o colmo começa o processo de amadurecimento, que dura cerca de três a quatro anos, para a maioria das espécies, quando então suas propriedades de resistência mecânica se estabilizam (BERALDO *et. al.*, 2007).

Em comparação à maioria das espécies de madeira o bambu apresenta dois fatores singulares que distinguem esta planta dos demais lenhos, sendo estes a maior presença de sílica e de amido. Apesar de ambos os fatores terem características positivas e negativas (dependendo do uso a que se destina o bambu), em especial a maior proporção de amido torna-se especialmente prejudicial, pois torna o bambu uma espécie extremamente suscetível ao ataque de organismos xilófagos.

Quando do corte ou mesmo nos momentos que antecedem a secagem do bambu, ele está vulnerável ao ataque de fungos (mofo), que podem se tornar um grande problema, uma vez que, provocam manchas ou o escurecimento do tecido lenhoso, tornando-se de suma importância a secagem e, nos momentos compreendidos entre o corte e sua execução, o armazenamento em local ventilado, seco e à sombra (VASCONCELOS, 2004).

Após a secagem do bambu, o problema é outro, os insetos (brocas, carunchos), pois estes organismos, normalmente não atacam espécimes úmidos. Eles se alimentam de amido e, como o bambu apresenta um alto teor deste, contido dentro de suas paredes, ele se torna um

alvo para esses organismos. A quantidade de amido no bambu diminui à medida que este amadurece, por esse motivo é importante cortar bambus bem maduros. Lembrando que a secagem e alguns tratamentos podem também ajudar a diminuir a quantidade de amido do bambu (VASCONCELOS, 2004). A Figura 5(a) mostra uma vista em corte transversal de um bambu que sofreu ataque por insetos xilófagos (brocas), enquanto a Figura 5(b) ilustra uma broca da espécie *Dinoderus minutus* que se alimenta do amido presente no bambu, bem como seu diminuto tamanho, o que na maioria dos casos dificulta a descoberta de uma infestação desses organismos no início desta ou mesmo a tempo de evitar danos mais graves.



**Figura 5:** (a) colmo atacado por brocas, (b) Broca (*Dinoderus minutus*).

**Fonte:** VASCONCELOS, 2004.

Para Kleine (2005), o ataque dos organismos xilófagos, tanto de fungos como os de insetos, pode ser evitado com tratamento à base de tanino (produto natural adstringente encontrado em certos vegetais) ou mesmo com tratamentos inseticidas/fungicidas utilizados normalmente no tratamento de madeiras em geral.

Também, segundo publicações das ONU (1972), pode-se reduzir os ataques a um mínimo cortando-se os bambus na época de sua menor concentração de amido, que é compreendida na fase seca do ano (primeira parte do inverno), sendo esta correspondente aos meses compreendidos entre outubro e fevereiro na Índia, ou outubro e novembro, no Japão.

Apesar de ainda pouco investigado cientificamente, relata-se (empiricamente) que o período de corte dos bambus influi na vulnerabilidade destes ao ataque de fungos em geral,

sabendo-se, entretanto, apenas que as partes superiores e médias da planta são menos resistentes a ataques xilófagos que as regiões basais (ONU,1972).

Por fim, se o bambu receber um tratamento adequado de secagem e preservação, este terá sua longevidade de utilização elevada, pois segundo TARGA & BALLARIN (1990), observou-se que quando da utilização conjunta de bambus e madeira, esta teve de ser substituída anteriormente em virtude dos ataques de insetos sofridos, permanecendo o bambu ainda intacto.

### **3.1.2. Características físicas e mecânicas do bambu**

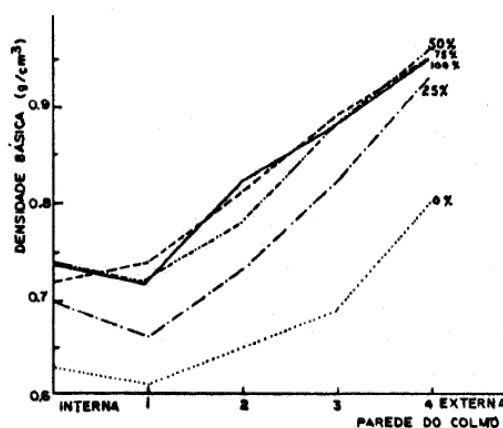
Para Beraldo *et. al.* (2007), o bambu sendo um vegetal, tem suas características mecânicas afetadas por fatores como o teor de umidade, as condições climáticas e tipo e quantidade de nutrientes do solo, além da idade do colmo e época de colheita. Ghavami (1989) complementa, citando que além destes, a espécie, localização de análise em relação ao comprimento do colmo, presença ou ausência de nós e o tipo do teste aplicado, também contribuem e influenciam em suas características mecânicas.

A umidade é um fator que requer sempre atenção especial e, no caso do bambu não é diferente, sendo até mesmo mais incisivo, já que os colmos recém cortados têm muita seiva (água) e a umidade é maior do que das outras plantas lenhosas, sendo assim, a secagem necessita que se tome cuidados especiais que não são usuais com as demais plantas de lenho. A secagem natural é sempre muito lenta e na secagem forçada há de se tomar inúmeros cuidados, pois tal como nas madeiras, se esta ocorrer de maneira muito rápida, pode ocorrer rachaduras (KLEINE, 2005), que não somente afetam a estética do material com também suas propriedades de resistência.

Segundo BERALDO E AZZINI (2004) o bambu quando saturado apresenta considerável retratibilidade até atingir a umidade de equilíbrio (em torno de 12%), porém, quando já seco, apresenta baixa absorção de água resultando em uma ótima estabilidade dimensional.

Outra característica física importante do bambu esta relacionada à sua densidade básica, que por estar entre 500 a 750 kg/m<sup>3</sup> (OSTAPIV, 2007) pode ser tido como de média

densidade. O que fica evidente, analisando os trabalhos de AZZINI, NAGAI & CIARAMELLO (1979) e posteriormente de TOMAZELLO FILHO (1987) é que há um gradiente de densidade no sentido interior-casca. Para AZZINI *et. al.* (1979) a densidade do colmo varia de 0,46 a 0,76 g/cm<sup>3</sup>, respectivamente da região interna à casca. Já os estudos de TOMAZELLO FILHO (1987) com *Bambusa vulgaris* foram lotados e podem ser vistos no gráfico mostrado na Figura 6. Neste último, o pesquisador coletou dados de densidade de cinco pontos no colmo – variando em porcentagem de 0% (base) a 100% (topo) da altura – e de cada ponto retirou quatro camadas distintas, seguindo o sentido interior casca. Assim ele pode diferenciar plenamente as variações na densidade no sentido radial do colmo, bem como comportamento deste gradiente em diferentes partes da planta.



**Figura 6:** Variação radial da densidade básica das camadas de *Bambusa vulgaris*, em diferentes porcentagens da altura dos colmos.

Fonte: TOMAZELLO FILHO, 1987.

Esta variação ocorre da seguinte forma, nas camadas mais internas há uma significativa quantidade de tecido parenquimatoso em relação às fibras e tecidos condutores; a porcentagem de parênquima diminui nas camadas mais externas dos colmos, aumentando o teor das fibras. Isto ocorre devido à necessidade de resistência mecânica ser mais solicitada nas regiões externas do colmo, relegando às regiões internas as funções de reserva e transporte de nutrientes. Com o aumento do teor de fibras/diminuição do teor de células de parênquima das camadas internas para as externas há, em conseqüência, um aumento da densidade básica das camadas do colmo nesse sentido (TOMAZELLO FILHO, 1987).

Para Liese (1998) o fator que determina as propriedades do bambu é a estrutura anatômica de suas células na planta, sendo que na extensão do colmo estas são orientadas axialmente, enquanto que nos nós, aparecem interconexões transversais. Já segundo Culzoni (1986) a estrutura fibrosa do bambu, em feixes, se presta exatamente para esforços de tração axial, porém, quando solicitado axialmente, em virtude das fibras estarem imersas em uma matriz de lignina, o que ocorre é uma ruptura por cisalhamento. Ainda, segundo Ghavami (2005), outra explicação para essa ruptura fica por conta do fato das tortuosidades dos feixes e nas mudanças de seções, geralmente nos nós, que interrompem as fibras, reduzindo-se as áreas resistentes e originando na peça, solicitações secundárias de compressão normal, cisalhamento ou fendilhamento, para as quais este material oferece menor resistência.

Em um estudo feito em 1981, Ghavami & Hombeeck puderam observar que, na maioria das vezes, o rompimento da peça ocorria nas regiões de nó, confirmando que há uma concentração de tensões neste ponto. Constataram, ainda, que a resistência na parte basal ao longo do colmo apresentava maior carga de ruptura, devido à maior área transversal.

O comportamento à flexão do bambu, como um todo ou de seus segmentos, é muito importante na análise estrutural e, observa-se que o consenso encontrado na literatura é que o valor de sua resistência a esta característica mecânica, esteja entre 30 MPa e 170 MPa. Essa variação se deve não apenas à sua própria resistência à flexão, mas também pode ser causada pelo tipo de flexão (MARÇAL, 2008). Esta considerável resistência, aliada a uma ótima flexibilidade tornam o bambu, uma planta muito favorável para ser utilizada na construção civil. No ocidente esta prática é pouco desenvolvida, porém no oriente, e extremamente difundida, podendo destacar países com a China e a Índia, em que o bambu é utilizado há milhares de anos. A maior prova disso fica por conta do monumento indiano *Taj Mahal* que teve toda a estrutura de sua cúpula realizada em uma armação de bambu (LOPES, 1974).

Para Jansen (1988), o bambu apresenta uma dependência estreita entre propriedades mecânicas e massa específica. A resistência à compressão e a tração do bambu aumenta quando possui por volta de seis anos, sendo que a curva de tensão pela deformação pode ser considerada quase linear. A resistência à compressão situa-se na faixa de 20 MPa e o módulo de elasticidade varia entre 2.6 GPa e 20 GPa (Beraldo, 1987). Entretanto, ainda segundo Jansen (1988), a resistência à compressão (em MPa) pode ser estimada como igual ao produto de massa específica (kg/m<sup>3</sup>) por um fator 0,094.

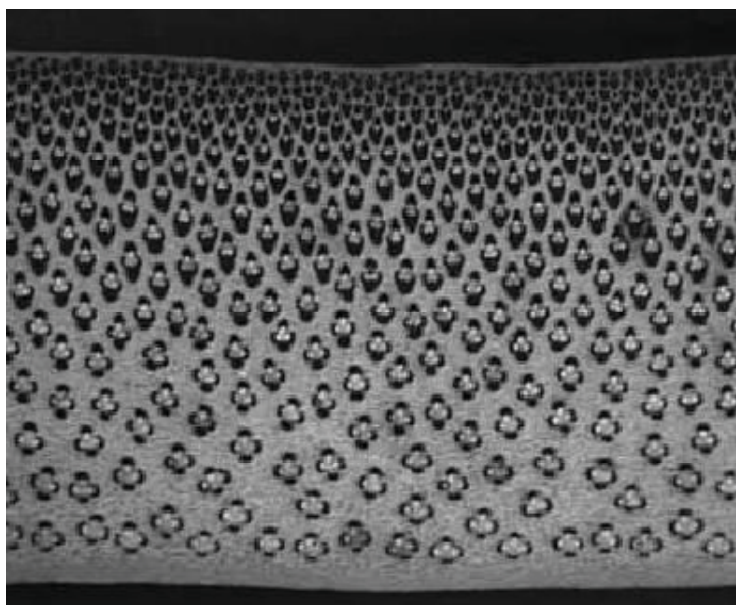
Devido à organização homogênea dos feixes vasculares na extensão do colmo do bambu, segundo Tirelli (2007), há um favorecimento ao fendilhamento. Ainda segundo Tirelli (2007) a resistência ao cisalhamento será inversamente proporcional ao teor de umidade do colmo (quanto maior o teor de umidade, menor será sua resistência ao cisalhamento).

Ostapiv (2007), em comparação da grã do bambu com as possíveis na madeira, cita que esse apresenta grã reta (diferentemente da madeira que pode apresentar além da reta, grã do tipo irregular, espiral, entrecruzada, ondulada e inclinada), ou seja, apresenta tecidos axiais paralelos ao eixo longitudinal do colmo. Este arranjo é fato preponderante para as elevadas resistências mecânicas apresentadas por este material, além de facilitar o processamento e causar uma baixa deformação durante a secagem. Essas características são presentes em toda a extensão da planta exceto na região do nó que apresenta desvio e tramas dos feixes de fibras.

A grã da planta lenhosa é característica de fundamental análise, pois interfere diretamente na características de trabalhabilidade (ou usinabilidade – refere-se à facilidade de processar a madeira ou o bambu com ferramentas manuais e mecânicas, bem como o acabamento superficial obtido nas operações de usinagem mais comuns). Essa boa trabalhabilidade dos bambus permite que sejam realizados cortes longitudinais bastante simples, porém com excelente acabamento superficial. (OSTAPIV, 2007).

### **3.1.3. Composição do bambu**

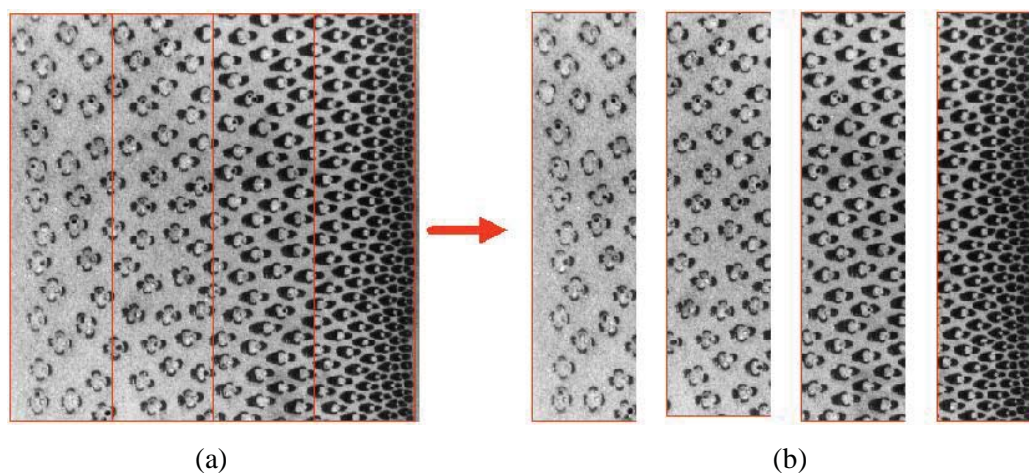
De maneira grosseira, o bambu pode ser considerado um material compósito formado por fibras de celulose longas e alinhadas, imersas em uma matriz de lignina. De fato, macroscopicamente, uma secção reta de colmo de bambu apresenta duas fases: esclerênquima (tecido a base de celulose) e parênquima (tecido a base de lignina). A Figura 7 mostra a secção reta (corte transversal) do colmo de um bambu observada em uma lupa a 6x de magnificação. Na imagem obtida os conjuntos vasculares são formados pelas regiões pretas – esclerênquima – contidas na matriz cinza – parênquima (GOMES *et al*, 2004; GHAVAMI & RODRIGUES, 2000).



**Figura 7:** Corte transversal de bambu visto em lupa (6x).

Fonte: GOMES *et. al.*, 2004.

No corte transversal, os feixes de fibras concentram-se mais na parte externa da parede dos colmos, contrastando com a parte interna, onde predomina o tecido parenquimatoso (BERALDO *et. al.*, 2007). As fibras se concentram mais na medida em que se consideram pontos na espessura cada vez mais próximos da casca, de forma que o material possa resistir às cargas de vento, que são as solicitações mais constantes durante a vida do material na natureza. A Figura 8 (a) mostra a variação da fração volumétrica das fibras na espessura do colmo do bambu (GHAVAMI *et. al.*, 2005). Nesta figura, pode ser percebido que à medida que “caminha-se” no sentido interior do colmo para a casca, há uma maior concentração das fibras. Observa-se que no corte ou segmentação (Figura 8 b) em quatro graduações de arranjo das fibras, na região mais interna ocorre uma menor intensidade de feixes e na região da casca com maior intensidade.



**Figura 8:** Detalhe do arranjo gradual das fibras no sentido radial em uma vista em corte do bambu.

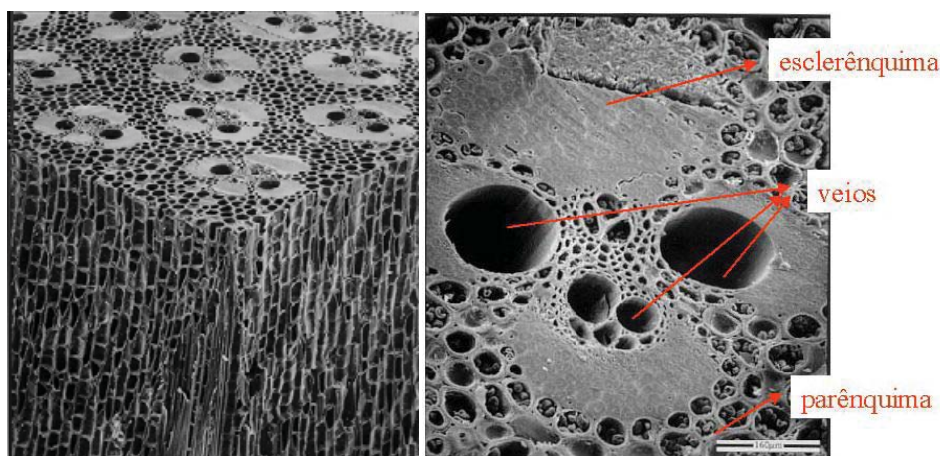
**Fonte:** GHAVANI, 2003.

Na direção vertical a quantidade de fibras aumenta da base ao topo da planta e a quantidade de células de parênquima diminui nas partes mais altas desta, haja vista que o bambu é considerado como planta que possui um alto grau de fibras (BERALDO *et. al.*, 2007).

Os colmos são primordialmente formados por fibras, vasos e condutores de seiva, que estão desuniformemente distribuídos na seção transversal, envolvidos por uma espécie de matriz denominada parênquima. Esses diferem-se uns dos outros, segundo a espécie, em comprimento, espessura da parede, diâmetro, espaçamento dos nós e resistência (GHAVAMI *et. al.*, 2005).

Os conjuntos vasculares integram os tecidos de condução da seiva e as fibras, que apresentam resistência mecânica que, por sua vez, são “imersas” em uma matriz de lignina – parênquima (GHAVAMI *et. al.*, 2005). Os vasos têm como função o transporte de nutrientes da raiz às demais partes da planta, sendo reforçados por um tecido (esclerênquima), uma vez que, os colmos do bambu são bastante esbeltos. O esclerênquima, composto por micro-fibras de celulose, se arranja em torno dos vasos, conferindo-lhes maior resistência. A matriz do bambu é formada pelo tecido denominado parênquima, que é constituído basicamente de lignina (GOMES *et al.*, 2004). Esta microestrutura do bambu pode ser visualizada na Figura 9, sendo que nesta também são diferenciadas as diversas estruturas.

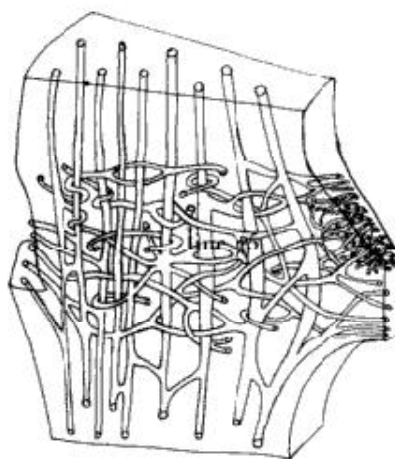




**Figura 9:** Microestrutura do bambu.

**Fonte:** GHAVAMI, 2003.

O conjunto vascular é o componente estrutural mais variado do colmo do bambu, diferindo-se no internó e ao longo do comprimento (altura) do colmo, em forma, tamanho e distribuição (GHAVAMI, 2003). A base do colmo apresenta uma estrutura completamente diferente quando comparada com a parte central e topo do colmo (LIESE, 1998). Um detalhe desta variação pode ser notado na Figura 10, onde as fibras que apesar de na extensão do colmo são retas e organizadas, no nó, se entrelaçam.



**Figura 10:** Estrutura e disposição das fibras na região do nó.

**Fonte:** LIESE, 1998

Segundo Liese (1980) o bambu é constituído, do ponto de vista anatômico, por cerca de 40% de fibras, 50% de células parenquimatosas e 10% de vasos e, sendo que para Ghavami (1981) apud Ostapiv (2007) a concentração média de fibras na parede interna do bambu é de 15 a 30%; e, na parede externa esse valor é de 40 a 70%. Além da proporção, segundo Beraldo *et. al.* (2007), o comprimento das fibras também varia do centro para a periferia do colmo, sendo que no interior, estas são menores aumentando à medida que se aproximam da casca.

As fibras celulósicas ou esclerenquimatosas são consideradas longas, estreitas e relativamente rígidas, em decorrência de suas espessas paredes celulares. As dimensões das fibras do bambu apresentam variações em função da espécie, com comprimento médio variando entre 1,65 mm a 3,43 mm, ocupando uma posição intermediária entre fibras do eucalipto (1 mm), consideradas curtas, e as do pinus (3mm-4mm), consideradas longas (BERALDO *et. al.*, 2007).

As fibras de bambu têm suas características peculiares basicamente em função de dois fatores: lignina e silício. O silício agrega resistência mecânica ao bambu. A matriz de lignina dá flexibilidade. A distribuição das fibras é muito mais densa na parte externa. O bambu tem alta resistência ao longo do colmo e baixa resistência no sentido transversal às fibras (SOUZA, 2004).

#### **3.1.4. Cultivo e colheita do bambu**

O bambu é de fácil plantio, podendo este ser realizado por meio de sementes ou mesmo de mudas, já que a floração ocorre em períodos muito distantes uns dos outros (normalmente entre 30 e 100 anos). A temperatura que esta planta se desenvolve mais adequadamente é entre 8 e 36°C, apresentando crescimento maior e mais acelerado nas áreas de temperaturas mais elevadas e com abundância de chuvas (iguais ou superiores a 1.200 mm anuais, como citado por Vasconcellos,2009) já que elas necessitam de uma umidade relativa do ar alta (SOUZA, 2004).

Os solos de seu plantio devem ser de preferência de franco-arenoso a franco-argiloso – soltos, profundos e bem drenados – com alto teor de material orgânico (necessita de muitos nutrientes uma vez que apresenta uma taxa de crescimento extremamente acelerada) e com um pH ligeiramente ácido – normalmente entre 5,0 e 6,5 (SOUZA, 2004).

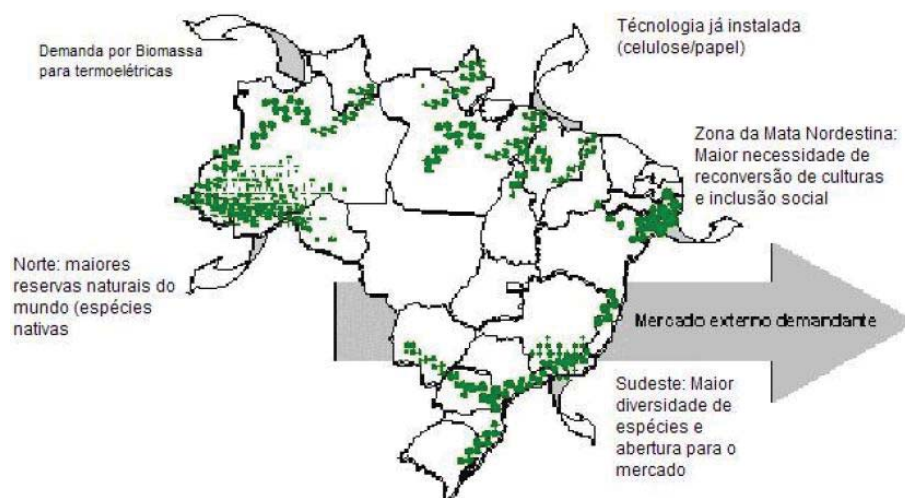
Segundo Lee *et. al.* (1994), a maioria das espécies de bambu se localiza em clima tropical e subtropical, e uma minoria das espécies estão localizadas em regiões de altas latitudes e consideradas temperadas. A Figura 11 ilustra as regiões de maior incidência de bambus nos diversos continentes, onde estas aparecem assinaladas na cor verde.



**Figura 11:** Regiões de maior incidência de bambu através dos continentes.

**Fonte:** LOPEZ, 2003.

Segundo avaliação do Instituto do Bambu, hoje há vários focos geográficos de interesse para o desenvolvimento de projetos do bambu no Brasil e, estes são esquematizados segundo a Figura 12. Primeiramente vale destacar, neste esquema gráfico, que é possível a visualização de um "triângulo do bambu" no país, cujos vértices se situariam na Amazônia Ocidental, na Zona da Mata Nordestina e na Região Sudeste (FIALHO, 2005).



**Figura 12:** Distribuição de bambu no Brasil.

Fonte: FIALHO, 2005

Na região Norte, em especial o Acre, destacam-se as maiores reservas naturais em espécies nativas de bambu do mundo e, já existe aqui uma demanda à geração de energia no que tange à substituição da matéria-prima convencional (madeira) por biomassa do bambu. Na região Sudeste, principalmente eixo Rio - São Paulo - Minas, o grande atrativo é a diversidade de espécies, a existência de centros de pesquisa de excelência, do conhecimento tácito proporcionado por significativas populações originárias do oriente, de uma concentração de mercado diferenciada e ainda pode ser o principal lócus de organização de capitais e de irradiação de informações. E, por fim, na Zona da Mata Nordestina tem como grande potencial e apelo, a oportunidade histórica de reconversão de áreas da atividade canavieira para a cultura do bambu, tendo como premissa maior a inclusão social e geração de trabalho e renda aos saídos da cultura da cana-de-açúcar. Vale destacar também o pioneirismo da já instalada tecnologia em escala industrial, nesta região, do cultivo do bambu e seu beneficiamento (papel e celulose), liderada pelo Grupo João Santos (também atuando no Maranhão) e a Indústria Baiana de Papéis. Portanto, é só nesta região do país que se observam plantações de bambu em grande escala e onde existe tecnologia para isso (FIALHO, 2005). Ainda segundo SOUZA (2004) a falta de elaboração de um método adequado para a propagação do bambu, visando o plantio industrial de grandes áreas, tem sido um dos principais fatores limitantes de seu cultivo, o que para Fialho (2005) faz com que hoje no

Brasil, o aproveitamento industrial do bambu se restrinja a algumas poucas fábricas de papel e celulose.

Novas mudas são fáceis de se obter também a partir da brotação de colmos enterrados, pois formam-se gemas nos diversos nós de cada colmo (KLEINE, 2005). Entretanto, tradicionalmente, os métodos de propagação assexuada do bambu tropical ou subtropical de crescimento simpodial não são adequados para plantios de pedaços de colmos. A subdivisão ou desmembramento das touceiras é um método trabalhoso, caro e de baixo rendimento, pois as mudas constituídas por rizomas, raízes e partes basais dos colmos têm que ser desmembradas da touceira matriz, promovendo sua destruição total ou parcial. Este processo somente será eficiente quando de pequenos plantios, sendo apenas para estes indicado. O plantio por meio de pedaços duplos de colmos, além de não promover a destruição da touceira, é cerca de 15 vezes mais eficiente (para algumas espécies) que o método anterior. A principal limitação do método para plantio de grandes áreas é o elevado consumo de material fibroso que acompanha as estruturas meristemáticas (gemas), responsável pelo enraizamento e brotação, além do elevado número de falhas, quando as condições de umidade dos solos não são adequadas (SOUZA, 2004).

Já para que sejam obtidos os melhores resultados no corte, Souza (2004) enumera algumas recomendações podendo se destacar que o corte deve ser realizado durante o período de lua minguante, pois é neste momento que a planta retém a menor quantidade de líquidos. Também deve se dar preferência para que este seja realizado no meses mais secos do ano (entre maio e agosto – meses de inverno), pois nesta época ocorre a hibernação dos insetos, inclusive dos xilófagos e dessa forma, haverá uma maior proteção tanto, do colmo extraído como da planta, quanto ao ataque por parte desses. Para usos que necessitem de um lenho com maior teor de lignificação é necessário que a colheita seja realizada com a planta com idade entre 3 e 6 anos, já que apesar de apresentar uma velocidade extremamente alta de crescimento, o processo de lignificação leva alguns anos e, uma colheita prematura poderia reduzir a vida útil do material. Quando do corte, buscar que este seja entre 20 a 30 cm do solo, o mais próximo possível de um nó, pois isto favorece que não haja um acúmulo de água no toco (colmo ainda plantado) evitando o ataque de insetos. Por fim, lembra-se que o corte não destrói o bambuzal, sendo que este se perpetua por dezenas de anos sem a necessidade de replantio.

### 3.1.5. Espécies de bambu

Os bambus pertencem à família *Graminae* e subfamília *Bambusoidea*, com aproximadamente 50 gêneros e 1.300 espécies, que se distribuem naturalmente dos trópicos às regiões temperadas, tendo, no entanto, maior ocorrência nas zonas quentes e com chuvas abundantes das regiões tropicais e subtropicais da Ásia, África e América do Sul (BERALDO *et. al.*, 2007).

Os bambus podem ser classificados em duas grandes categorias tradicionais, os ditos entouceirantes ou simpodiais e os alastrantes ou monopodiais (LOPEZ, 1974; BERALDO *et. al.*, 2007). Já segundo Cruz (2002) estes podem ser divididos em:

*Leptomorfos ou Alastrantes* – apresentam rizomas alongados e finos, tendo os entrenós longos e espaçados. Dotado de uma ponta muito dura que geralmente está orientada horizontalmente, seus colmos são mais grossos que o rizoma, sendo que em alguns casos, a ponta do rizoma pode tornar-se um novo colmo. Geralmente crescem lateral e radialmente, afastando-se linearmente uns dos outros, sendo que segundo Ostapiv (2007), são espécies normalmente encontradas em locais de clima mais ameno.

*Paquimorfos ou Torcentes (entouceirantes)* – com forma de bulbos, possuem entrenós compactos e muito curtos. Tal como os alastrantes, apresentam ponta orientada para cima e dela sai um colmo mais fino que o bulbo. Crescem afastando-se muito pouco uns dos outros, tanto no sentido lateral quanto radial, podendo normalmente apresentar pescoços curtos, médios ou longos.

*Anfipoidal ou Intermediário* – caracterizam-se por rizomas que apresentam ramificação combinada dos dois grupos principais numa mesma planta.

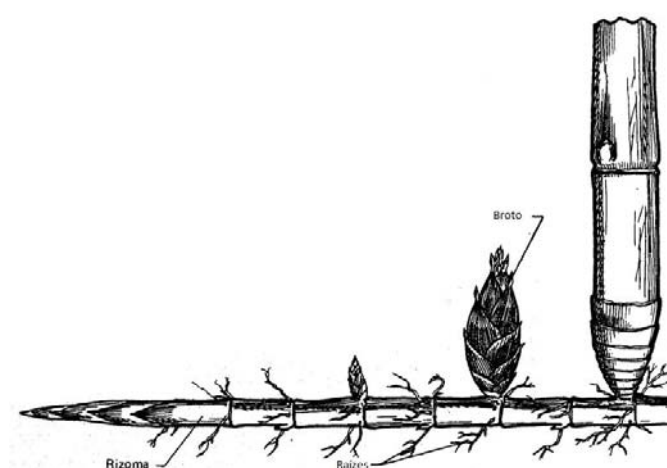
As Figuras 13, 14, 15 e 16 ilustram as categorias de rizomas apresentados pelos bambus sendo também mostrado em cada uma, um esquema de como o rizoma se desenvolve para formar uma nova planta. Na Figura 13 mostra-se um exemplo de espécie de bambu

alastrante, mais especificamente a espécie *Phyllostachys pubescens*, sendo que na Figura 14 há o esquema de desenvolvimento das gemas do rizoma desta categoria.



**Figura 13:** Imagem de um bambuzal de espécie alastrante (*Phyllostachys pubescens*).

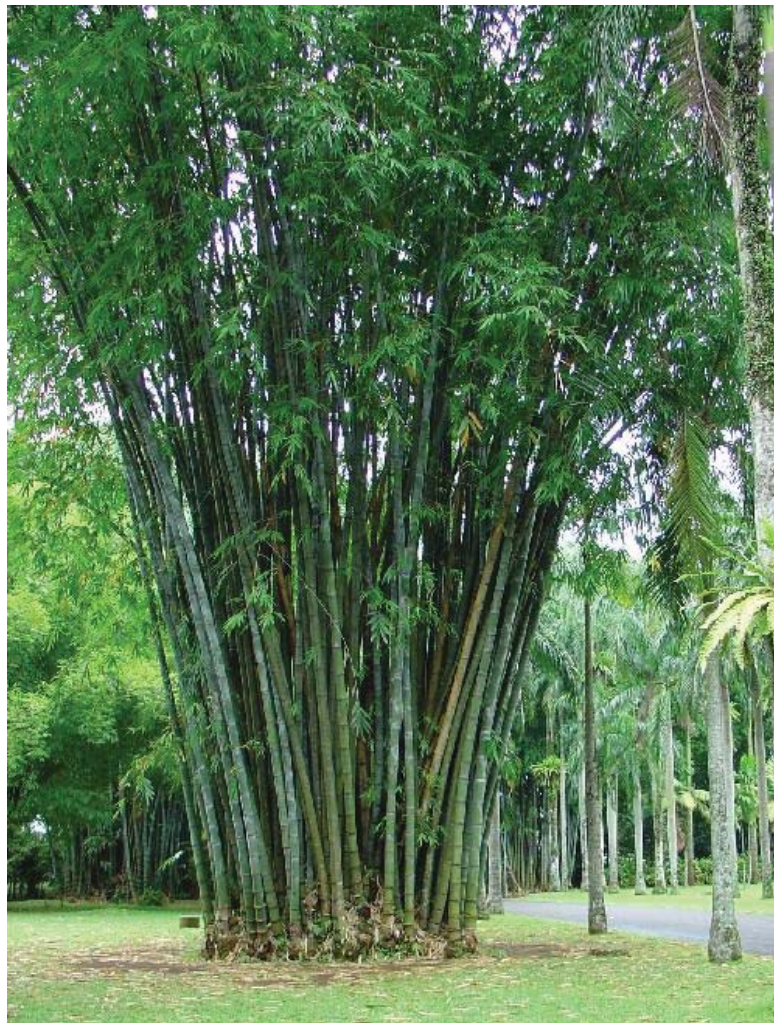
Fonte: OSTAPIV, 2007



**Figura 14:** Esquema de desenvolvimento do bambu alastrante.

Fonte: LOPEZ, 1974.

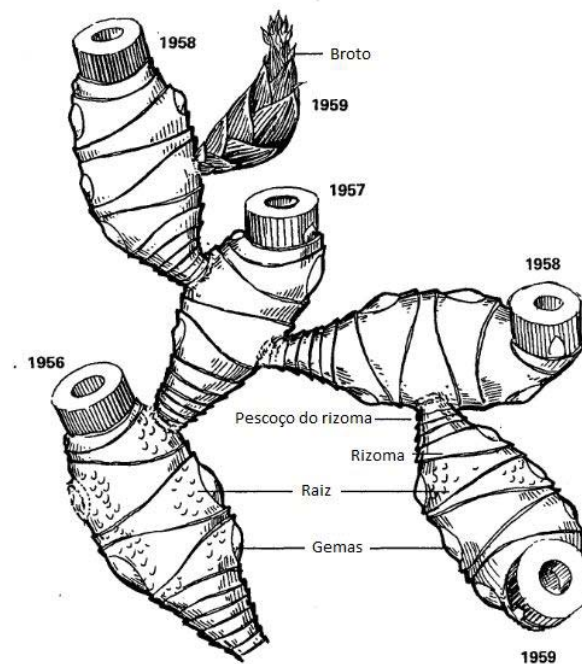
A Figura 15 é um exemplo de bambu entouceirante (*Dendrocalamus giganteus*). Esta é uma foto da touceira formada pelo bambu quando de seu desenvolvimento e, na Figura 16, há um esquema do desenvolvimento do rizoma desta classe de bambu (entouceirante). Esta apresenta uma alta produtividade e é de fácil reprodução, sendo encontrados predominantemente em locais cujo clima é quente.



**Figura 15:** Imagem de bambu entouceirante (*Dendrocalamus giganteus*).

**Fonte:** [www.jakarta.diplo.de](http://www.jakarta.diplo.de)





**Figura 16:** Esquema de desenvolvimento do rizoma de bambu entouceirante.

**Fonte:** LOPEZ, 1974.

Normalmente, os colmos das espécies alastrantes crescem mais rapidamente durante o dia do que aquelas espécies entouceirantes, as quais crescem prioritariamente durante a noite. Sendo a espécie estudada pertencente à categoria entouceirante, logo seu crescimento se dará durante a noite como relatam os pesquisadores em Beraldo *et. al.* (2007).

No tocante a produtividade, as espécies entouceirantes são superiores às alastrantes, sendo que segundo Ventania (2006), uma touceira de *Dendrocalamus Giganteus* com 100 m<sup>2</sup> comporta até 600 varas de aproximadamente 30 m de altura cada. As espécies alastrantes, tem normalmente, produtividade menor que as entouceirantes, em virtude da sua distancia de brotação.

Conforme Azzini e Beraldo (2000) há no Brasil, atualmente espécies nativas bem como espécies exóticas de bambu. Entre as nativas, estas são popularmente conhecidas como: taquara, taboca, jativoca, taquaruçú ou taboca-açú, conforme a região de ocorrência. Já, as exóticas que melhor se difundiram são as conhecidas como gigantes, destacando-se *Bambusa*

*tuldoides*, *B. vulgaris* var. *vittata*, *Dendrocalamus giganteus*, e algumas espécies pertencentes ao gênero *Phyllostachys*.

### **3.1.6. *Dendrocalamus giganteus***

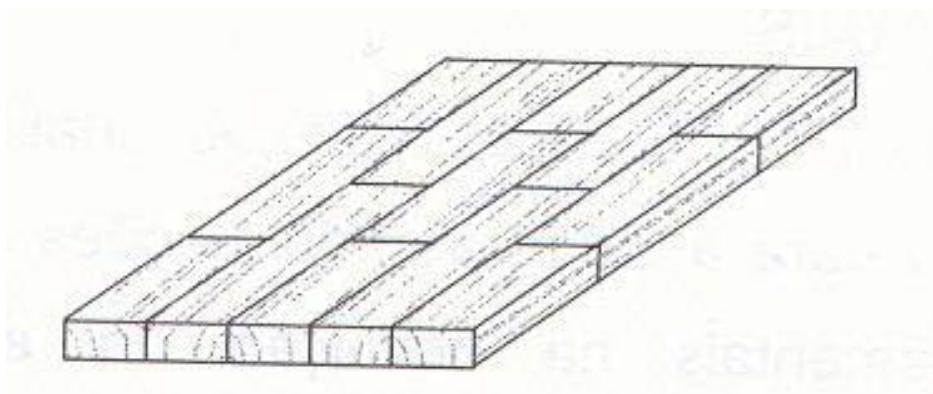
O bambu *Dendrocalamus giganteus* é uma espécie considerada gigante em virtude da altura que a planta atinge em seu desenvolvimento. É uma espécie entouceirante em que as hastes podem atingir entre 24 e até 40 metros de altura, dotado com um comprimento dos internós de 40 a 50 cm, apresentando uma variação do diâmetro dos colmos entre 10 e 25 centímetros e espessura da parede variando de 1 a 3 centímetros (BERALDO *et. al.*, 2007).

Esta espécie de bambu se desenvolve desde regiões tropicais úmidas até regiões subtropicais, preferindo sempre solos ricos e com considerável volume de chuvas. Além disso, apresenta considerável resistência mecânica para vários fins sendo muito utilizado em construções, na fabricação de polpa e papel, utensílios domésticos, alimento (BERALDO *et. al.*, 2007) e na confecção de laminados colados para pisos – *plybamboo* (KOGA *et al.*, 2002).

## **3.2. PAINEL EGP**

O painel EGP (*Edge Glued Panel* – Painel colado lateralmente) é caracterizado como um conjunto de peças de madeira (geralmente sarrafos) coladas lateralmente, formando um painel, e pode também ser conhecido popularmente como painel sarrafeado. Os sarrafos podem (ou não) apresentar união de topo, que pode ser reta, biselada ou do tipo *finger-joint*. Isto dependerá do tamanho do sarrafo utilizado, do tamanho do painel desejado e da qualidade final deste. A qualidade, neste caso não está apenas relacionada com as propriedades físico-mecânicas do painel, mas também com a aparência da superfície – normalmente relacionados com a presença ou não de nós – sendo que, obviamente, para painéis sem nós, os sarrafos serão de tamanho reduzido e quando esses não forem indesejáveis, os sarrafos poderão ter até mesmo o tamanho do painel, dispensando as ligações de topo.

É composto, como sugerido no próprio nome, por sarrafos de madeira com dimensões e espessuras semelhantes, que são acondicionados lado a lado e que, com a adição de resinas adesivas e prensagem, são unidos dando origem ao painel. Na Figura 17, pode-se verificar como normalmente, são constituídos os painéis do tipo EGP, sendo que também pode ser visualizada a disposição dos sarrafos segundo a orientação dos anéis. Isto se dá devido às características da madeira de inchamento e absorção e conseqüente anisotropia, que poderiam desestabilizar o painel.



**Figura 17:** Ilustração de painel sarrafeado colado lateralmente (EGP).

**Fonte:** ABINCI, 2004.

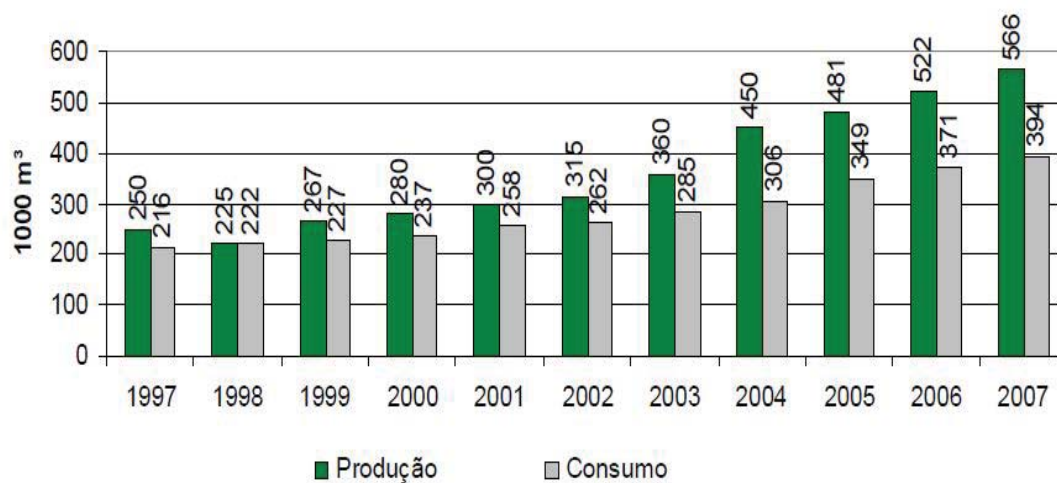
Atualmente, tais painéis são bastante utilizados para a confecção de móveis, portas, pisos e também na construção civil, pois com a alta demanda da madeira, este tipo de painel vem ganhando cada vez mais espaço já que utiliza pedaços de madeira em sua fabricação, gerando painéis que aparentam aspecto de madeira sólida. Isto gera grande valor agregado ao produto que anteriormente era considerado com resíduo (sarrafos oriundos dos processos de serramento e usinagem da madeira). Com isso, o emprego desta técnica ou meio de fabricação se transforma em uma alternativa bastante lucrativa (transformando resíduo em um produto valioso), bem como o uso desta técnica é bastante ecoeficiente (maior aproveitamento da madeira) e sustentável (MAYER, 2008).

Entre os sarrafos mais requisitados para a confecção deste produto, pode-se destacar os de pinus, pois em virtude de sua clara coloração, resultam em um produto de igual tonalidade, muito apreciada pelo seu bom visual e acabamento (EISFELD, 2009).

Este tipo de painel, não é revestido (normalmente) já que é aproveitado o efeito decorativo dado pelo desenho da madeira e/ou pelas emendas, entretanto, em se tratando de painéis de baixa qualidade, ou seja, aquele onde o efeito decorativo do desenho da madeira é comprometido pela evidência de nó morto ou medula, sendo nestes casos, prática revestir o painel com lâminas decorativas (ABINCI, 2004).

O Brasil é um dos principais produtores mundiais de EGP de pinus. A ABINCI estima que a produção brasileira tenha atingido 450 mil m<sup>3</sup> em 2004. A indústria de móveis brasileira é a principal responsável pelo consumo desse tipo de painel e muitas vezes produtora dos mesmos (BUAINAIN, 2007).

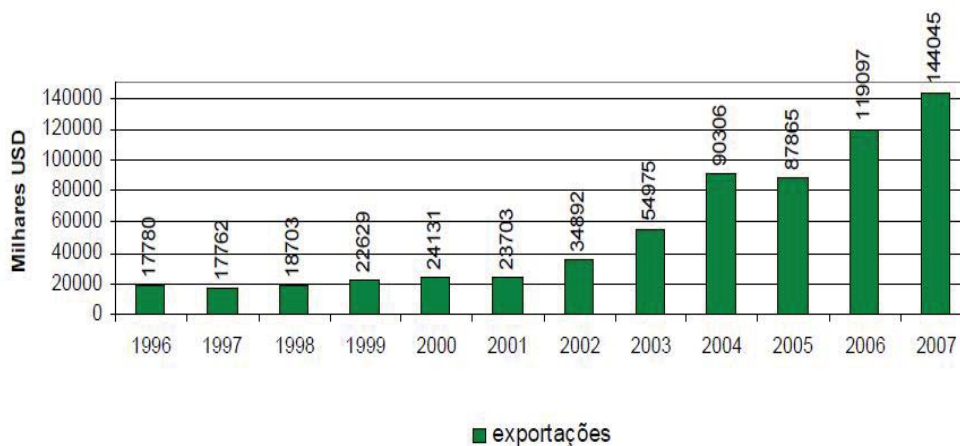
Com base em informações da ABINCI (2007), houve um crescimento anual de 8,5 % na produção deste painel, entre os anos de 1997 a 2007, bem como que o consumo deste elevou-se 6,5% a.a. (em média) no mesmo período. Estes incrementos podem ser melhor visualizados na Figura 18 que mostra um gráfico com os valores de consumo e produção de EGP no Brasil no período de 1997 a 2007.



**Figura 18:** Produção e consumo de EGP no Brasil.

Fonte: ABINCI, 2007.

No que se refere às exportações, apesar de uma pequena redução em 2005 há um considerável crescimento como pode ser visto na Figura 19.



**Figura 19:** Exportações brasileiras de painel EGP.

Fonte: ABINCI, 2007.

Com base no elevado crescimento das produções e exportações, padrões de qualidade estão sendo estipulados para a comercialização deste tipo de painel levando em conta fatores como: espessura de sarrafos, umidade, qualidade (tipo de imperfeições naturais à madeira que compõe os sarrafos do painel), quantidade de adesivo e uniformidade principalmente das extremidades (MAYER, 2008).

### 3.3. Pisos engenheirados

O piso engenheirado, que também é conhecido internacionalmente como *engineered wood floor* (E.W.F.), é composto por duas camadas, uma de compensado ou madeira maciça de menor valor agregado ou de reflorestamento que serve de plataforma, e a outra é um revestimento de madeira serrada (lâmina de madeira nobre) com espessuras que variam de 2,5 mm a 5 mm também chamado de lamelas (LUZ, 2008).

O piso engenheirado apresenta algumas vantagens em relação aos outros tipos de piso de madeira reconstituída. A principal fica por conta da durabilidade que, em função do revestimento, que possui uma maior espessura (no caso de outros revestimentos, estes

geralmente são formado por uma película muito fina, normalmente camadas de papel Kraft estilizado), possibilita ao produto ser lixado e aplicado novo acabamento de duas a três vezes, após anos de uso, prolongando a vida útil do piso. Outras características do produto são a maior estabilidade dimensional e menor propensão a empenamentos. Além disso, pelo uso resinas próprias em sua manufatura, o piso engenheirado apresenta alta resistência à umidade e ao calor, podendo ser instalado em locais onde o piso de madeira maciça convencional não é indicado. É interessante mencionar que o piso engenheirado é normalmente colado diretamente sobre o concreto curado. Outra vantagem decorrente da constituição do piso é que permite que seja oferecido em maior variedade de padrões de madeira (LUZ, 2008).

Estes também oferecem vantagens sobre os pisos de madeira maciça por serem produtos colados de madeira, sendo que a principal delas é obtida, haja vista que este utiliza o princípio da laminação cruzada, aliada à restrição imposta pela linha de cola às diferentes alterações dimensionais das camadas adjacentes, resultando em produto com maior estabilidade dimensional, quando comparado ao piso de madeira maciça sob influência do fator anisotrópico (TSOUMI, 1991; SELLERS, 1993).

### **3.4. Pisos de bambu**

O piso de bambu é bastante utilizado na Europa, Ásia, América do Norte e Austrália sendo comercializado em larga escala nestas localidades. Os principais produtores são a China, o Japão, a Índia e os EUA, movimentando um mercado importante. Existem vários tipos de pisos de bambu, podendo ser classificados basicamente em *parquet* (longitudinais e de topo) e laminados (OSTAPIV, 2007).

Na China, um programa para substituir a madeira tropical estimulou a implantação de 100 fábricas que produzem 10 milhões de m<sup>2</sup> de piso de bambu anualmente e que tem mercado no Japão, Estados Unidos e Europa (CASAGRANDE, 2003).

Os pisos de bambu, por sua beleza e qualidade, são considerados nobres e com potencial de competir com os de madeiras muito conceituadas, tal como a teca (*Tectona grandis*). As lâminas de bambu apresentam pequenas taxas de variação dimensional (da

ordem de 1%, podendo ser praticamente desprezada) e de absorção de água, melhor do que as madeiras em geral e, dessa forma, nos pisos de bambu observa-se boa resistência e durabilidade (MOIZÉS, 2007; OSTAPIV, 2007).

O desgaste em piso está condicionado à resistência à abrasão superficial quando há o movimento de objetos ou de pessoas sobre o mesmo, sendo este um dos fatores limitantes de uso de certos materiais (KOGA et al., 2002). O bambu apresenta dureza relativamente alta sendo comparável a madeiras de média dureza, isto gera um piso duro e resistente ao tráfego, tendo como grande vantagem que este material oferece a possibilidade de manutenção relativamente fácil (OSTAPIV, 2007). Além disso, são flexíveis, de baixo custo, apresentam textura natural atrativa e também são muito eficazes como isolante acústico (KOGA et al., 2002).

A produção de pisos de bambu é um nicho de mercado atrativo, devido ao alto valor agregado do produto, bem como a beleza e qualidade que o permitem competir fortemente no mercado. No Brasil, são em sua totalidade importados (não havendo nenhuma fábrica produzindo-o em escala comercial, tampouco há plantio suficiente para suprir uma produção industrial de pisos), principalmente da China, e chegam a custar para o consumidor brasileiro US\$ 100 o metro quadrado (OSTAPIV, 2007). Essa necessidade de importação se dá em função de não haver ainda no país plantio para suprir uma indústria de desdobro e também pela falta de pesquisas nacionais sobre o assunto.

Uma alternativa, viável e realizável há curto prazo no Brasil é a fabricação dos pisos mistos (engenheirados) com uma base em madeira ou painel recoberto por uma capa de lâminas de bambu, como proposto por Alvarenga (2009) e a base para a análise neste trabalho.

## 4. MATERIAIS E MÉTODOS

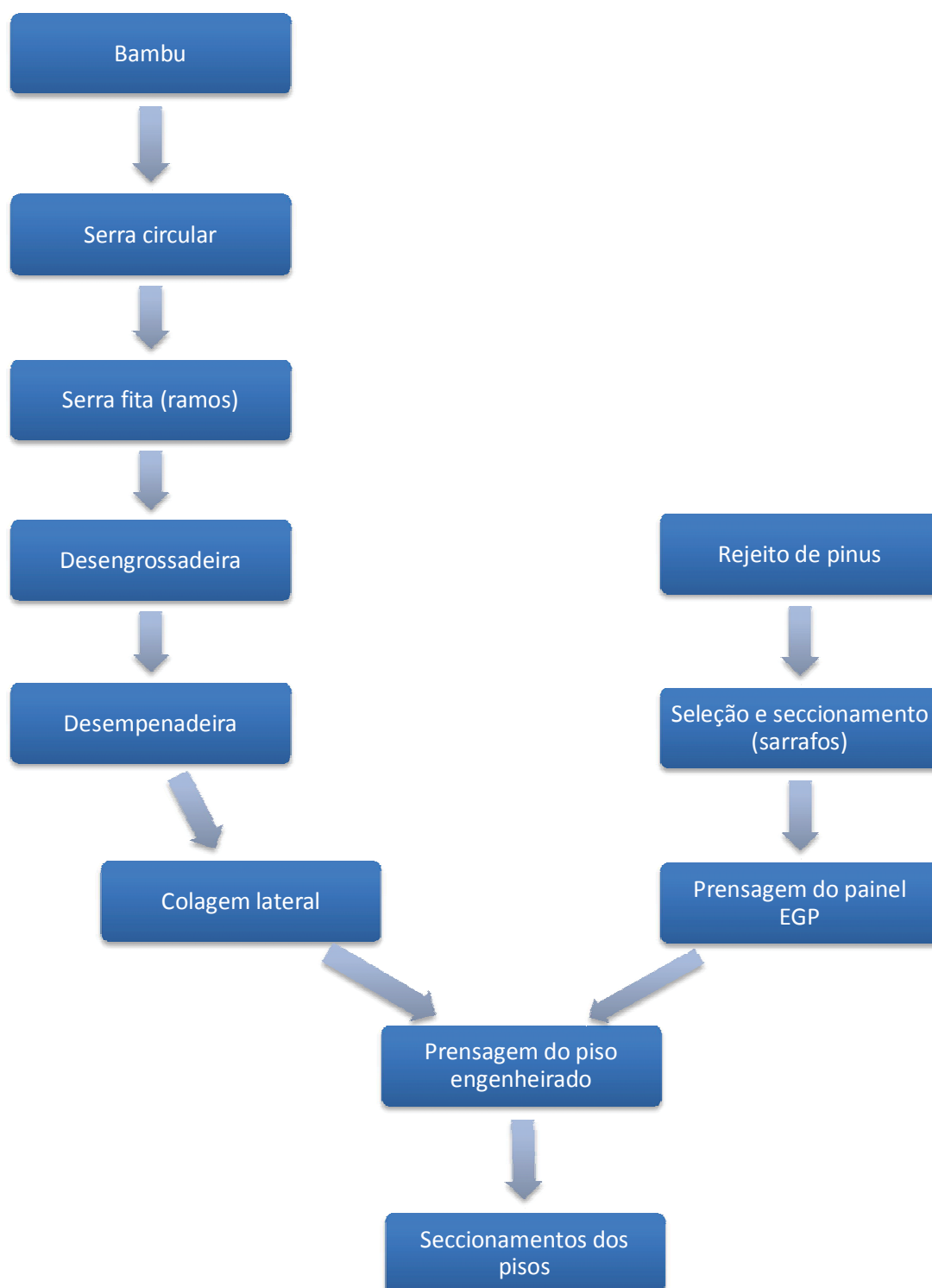
### 4.1. Corpos de prova

Os corpos de prova deste estudo são compostos de pisos engenheirados, ou seja, uma lâmina vegetal nobre - bambu (objeto de estudo) sobre uma base lenhosa de menor valor agregado - pinus. As dimensões das peças, bem como os ensaios estudados, foram definidos de acordo com as prescrições normativas da ASTM D 2394 - 83 (1994) para pisos em serviço, já que não existe padronização brasileira para pisos engenheirados ou para pisos de bambu.

O bambu utilizado foi o *Dendrocalamus giganteus*, sendo que em sua totalidade fora doado pela equipe da Unesp de Bauru, tornando desse modo impossível afirmar informações de plantio, idade e manejo. Entretanto é possível afirmar que a maioria do material coletado fora obtido da região basal da planta.

Os processos para a obtenção dos corpos de prova são discriminados posteriormente e podem ser visualizados no fluxograma de sua produção (Figura 20), sendo que estes foram confeccionados no campus da Unesp de Itapeva e ensaiados no laboratório de pisos da Universidade Federal de Lavras - UFLA.





**Figura 20:** Fluxograma de produção dos corpos de prova.

#### 4.1.1. Fabricação do painel EGP

A matéria-prima dos painéis EGP ensaiados foram sarrafos de *Pinus sp* oriundos de rejeito de serraria. Estes foram desempenados, desglossados, destopados e lixados, visando à uniformização das superfícies que garantem qualidade ao painel final, que se faz necessária, pois a posterior colagem da capa de bambu necessita de uma superfície homogênea para que a aderência e ancoragem do adesivo sejam plenas. Isto também se faz verdade no tocante à colagem dos próprios sarrafos do painel.

Ainda como objetivo a colagem deste, seus sarrafos foram secos em estufa para se conseguir a umidade ideal para o melhor desempenho do adesivo, sendo que para este caso a umidade atingida foi de 10%.

Sendo o EGP um painel de sarrafos colados lateralmente, é necessário que a prensa exerça força sobre este de duas formas: horizontal e vertical à mesa formadora. A pressão horizontal (lateral) é a força que une os sarrafos enquanto não há a cura do adesivo e, a vertical, impede que os sarrafos (sujeitos a pressão lateral) percam o alinhamento ou se sobreponham uns aos outros, perdendo qualidade do painel ou mesmo tornando este um novo rejeito.

A prensa utilizada para fabricação é a de alta frequência (que pode ser vista na Figura 21), que possibilita a fabricação de painéis de 120 x 260 mm em processo de batelada. Esta é dotada de rolos aplicadores de adesivo na entrada da mesa formadora e permite atingir altas pressões sobre o painel.



**Figura 21:** Prensa de alta frequência.

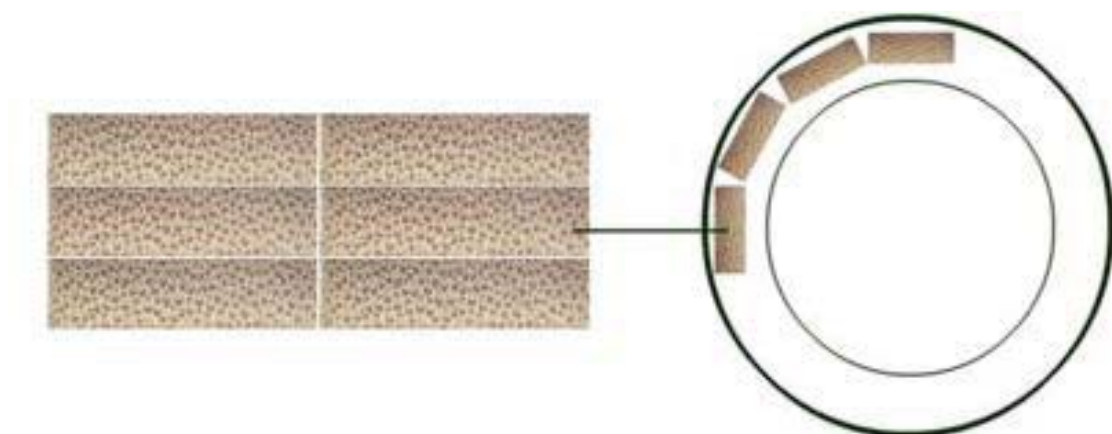
Os sarrafos foram colados com adesivo PVA (acetato de polivinila) e prensados a  $60 \text{ kgf/cm}^3$  lateralmente, sendo neste caso, a pressão vertical (aplicada perpendicularmente ao painel) pode ser quase que desprezível, já que sua única finalidade foi garantir a estabilidade dos sarrafos durante a cura do adesivo. Haja vista que o painel permaneceu por aproximadamente 36 horas sob as pressões citadas, não foram utilizadas as altas frequências da prensa na cura do adesivo. Este tempo de permanência foi usado para garantir que a total e perfeita cura do adesivo, garantindo conseqüentemente, uma boa estabilidade ao painel bem como à linha de cola. Isto garante que os corpos-de-prova, dele originados, não sofreriam qualquer interferência por parte da base (painel), uma vez que as propriedades analisadas neste trabalho, foram somente referentes às lamina de bambu.

#### **4.1.2. Obtenção das taliscas de bambu**

Os colmos de bambu foram seccionados com aproximadamente 1300 mm de comprimento em serra circular do tipo meia esquadria. Este seccionamento foi realizado na busca de maior facilidade no manuseio, bem como um comprimento padronizado múltiplo das dimensões dos corpos de prova.

Seqüencialmente, estes foram seccionados em serra circular adaptada para o corte dos colmos de bambu. A adaptação se faz necessária pelo formato roliço e pela constituição do material a ser cortado, bem como pelos riscos que, seu manuseio durante o corte, representam ao operador da serra.

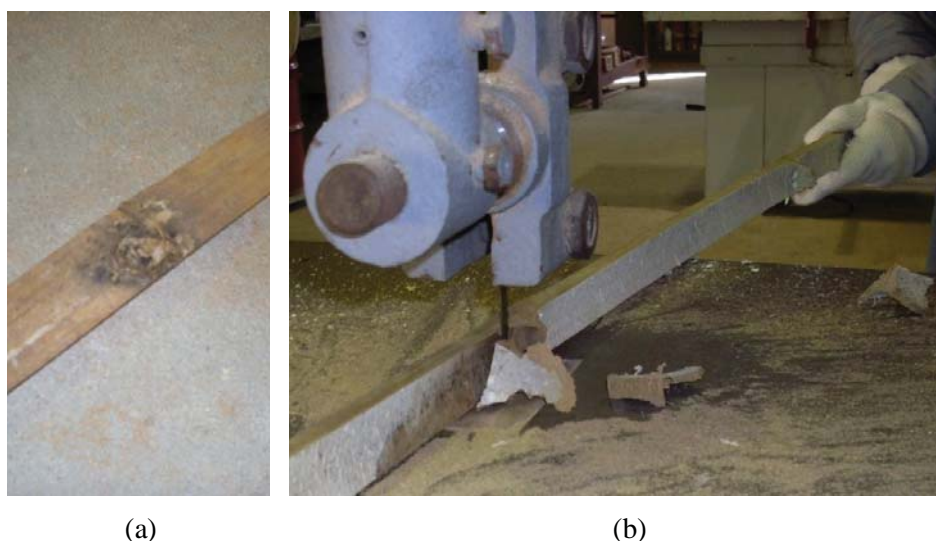
Como o objetivo desse corte foi obter taliscas com aproximadamente 20 mm de largura, o seccionamento do colmo foi feito de maneira que a menor dimensão obtida (parte interna do colmo) compreendesse, no mínimo, a dimensão final da talisca. Isto foi realizado para que se tenha o mínimo de desperdício de material e a padronização nas dimensões finais das réguas de bambu (taliscas). A Figura 22 ilustra as réguas no colmo.



**Figura 22:** Esquema de retirada das réguas (taliscas) do colmo.

**Fonte:** BERALDO, 2007.

Com este procedimento obteve-se lascas do colmo do bambu. Estas agora devem perder as imperfeições grosseiras presentes na região do nó (ramos na face externa e partes do diafragma na face interna), sendo estas retiradas em uma serra de fita estreita vertical simples. Na Figura 23 são mostradas as imperfeições bem como sua retirada.



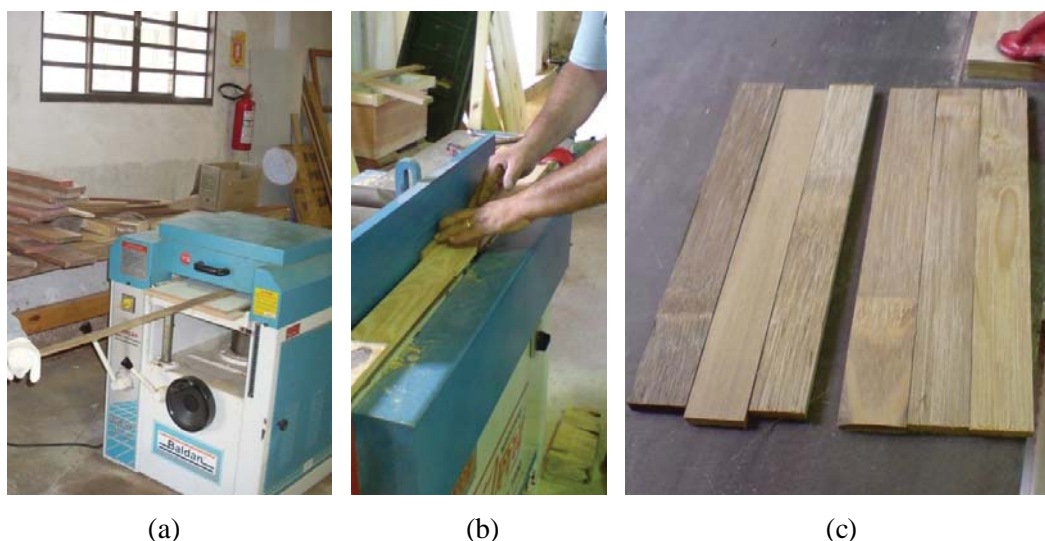
**Figura 23:** Imperfeições dos nós do bambu, (a) ramo (externo) e (b) diafragma (interno).

A retirada de tais imperfeições se faz necessária para haver uma maior regularização da superfície, de modo a possibilitar o desgrosso da peça, já que o equipamento que realiza este processo necessita de um mínimo de uniformização da superfície a ser desgastada. O desgrosso consiste em desbastar uma superfície do material, garantindo sua homogeneidade, sendo que este foi realizado em faces paralelas da lasca, deixando-a com 5 mm de espessura.

Visando a forma retangular, precisa e esquadrejada, a talisca teve uma terceira face uniformizada em uma desempenadeira e finalmente, cortada em sua quarta face em serra circular. Este corte final permite, além das características homogêneas de superfície, deixar a régua nas dimensões desejadas para a produção do piso.

Lembrando que os processos de desempeno, desgrosso e esquadrejamento poderiam ser realizados em processos industriais em uma plaina quatro faces, que realiza todos estes processos de uma vez e em apenas uma máquina, desde que sejam desbastadas as imperfeições mais grosseiras antes de utilizar este equipamento.

Na Figura 24 é possível visualizar os processos de desgrosso e desempeno, juntamente com as régua obtidas.



**Figura 24:** Desengrosso (a), desempeno (b) das taliscas e (c) réguas de bambu

#### **4.1.3. Confeção do piso engenheirado Bambu-EGP.**

Com as réguas esquadrejadas e suas superfícies devidamente uniformizadas para facilitar o processo de colagem, estas foram unidas lateralmente com o objetivo de formar uma prancha ou placa. A união foi obtida com adesivo tipo PVA aplicado nas bordas das réguas e com a fixação destas por meio de sargentos por um período de 36 horas.

A prancha de bambu (Figura 25a) foi depositada na mesa formadora da prensa e, em seguida, aplicou-se adesivo PVA sobre a prancha sendo esta posteriormente fixada junto ao painel EGP.



**Figura 25:** (a) Prancha de bambu na mesa formadora e (b) Piso engenheirado sem prensado

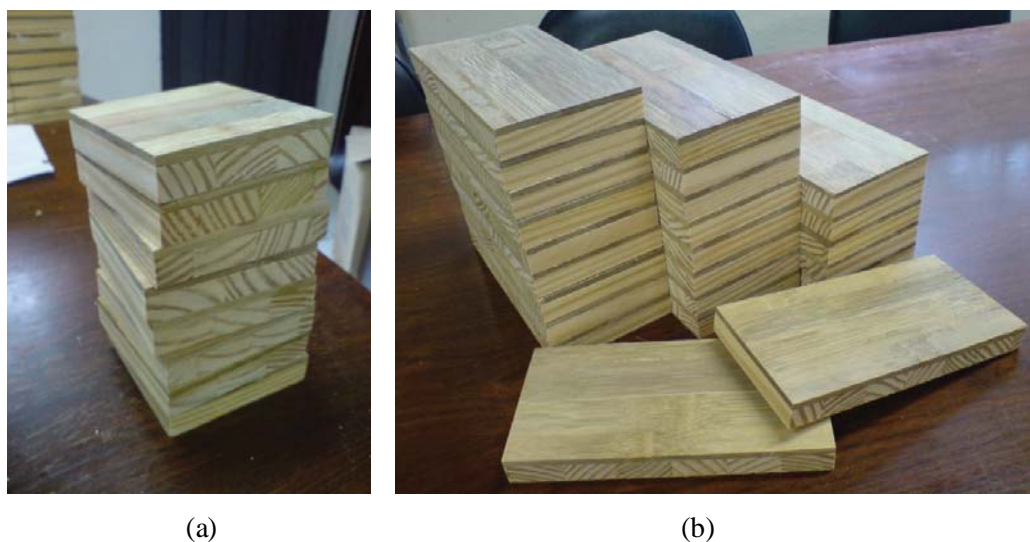
Todo o conjunto foi levado à prensagem a  $60 \text{ kgf/cm}^2$  por um período não inferior a 36 horas, para a completa cura do adesivo. Como o adesivo utilizado foi do tipo cura a frio, a prensagem teve por objetivo unicamente favorecer a ancoragem da cola e conseqüente adesão do bambu ao EGP (Figura 25b).

#### 4.1.4. Fabricação dos corpos de prova

Já com a chapa de painel misto bambu sobre painel sarrafeado (EGP) confeccionada, procedeu-se de maneira a corrigir quaisquer imperfeições superficiais do bambu ou do processo de colagem por meio de lixamento. Uma vez que o documento normativo pede que o corpo-de-prova tenha 20 mm de espessura e a chapa tinha 21, esta etapa também serviu para a adequação do corpo-de-prova à este requisito, desbastando a superfície de painel com bambu deixando uma capa de 4 mm, porém com a qualidade superficial garantida.

Para cada ensaio, a norma adotada exige uma dimensão específica (base x altura) do corpo-de-prova, sendo assim foram seccionadas 10 peças de  $95 \times 95 \text{ mm}$  – tipo I – (Figura 26

a) e 70 com dimensão de 200 x 100 mm – tipo II – (Figura 26 b). A primeira foi usada no ensaio de abrasão e as demais nos ensaios de endentação causada por cargas aplicadas em pequenas áreas, impacto da esfera de aço cadente e de carga rolante.



**Figura 26:** Corpos de prova

#### **4.2. Ensaio dos pisos em serviço**

Estes ensaios referem-se a testes de simulação do piso em situações cotidianas de desgaste superficial pelo uso buscando a aferição e quantificação da sua resistência mecânica. Cada ensaio, busca analisar características peculiares que o piso em uso deve apresentar, para que este possa ser utilizado a contento, detendo resistências e qualidades mínimas.

Com exceção da aferição da densidade, todos os ensaios foram realizados nos laboratórios da UFLA, sendo que os equipamentos utilizados foram confeccionados pelos próprios pesquisadores do laboratório com base na norma ASTM D 2394 - 83 (1994). O único equipamento utilizado não fabricado foi o utilizado no ensaio de resistência a abrasão.



#### 4.2.1. Determinação de densidade

Para determinação da densidade do bambu utilizado nos ensaios, fez-se uso de dois métodos distintos de aferição e cálculo. O primeiro foi o método de análise da densidade aparente, ou seja, aferição de uma densidade do material mesmo este ainda na umidade de equilíbrio com o ambiente. É assim chamada, pois ela pode variar de acordo com a umidade relativa do ar, haja vista que a umidade do material analisado se alterará para entrar em equilíbrio com o ambiente. O segundo foi a análise da densidade básica ou real, sendo que para ambos os casos foram utilizados 10 corpos de prova.

Para o cálculo da densidade aparente realizou-se duas medições de cada aresta do corpo-de-prova, objetivando com isso, um valor médio das dimensões das arestas, em cm. Isto se faz necessário em virtude do não paralelismo das peças. A partir dos valores médios de cada aresta do corpo-de-prova e, através da Equação 1, calculou-se o valor volumétrico das peças.

$$V = b \times h \times l \quad (1)$$

**Onde:**

V = volume (cm<sup>3</sup>);

b = base (cm);

h = altura (cm);

l = largura (cm).

Em seguida, as peças foram pesadas em balança analítica, tornando possível que, através da Equação 2, a densidade aparente do bambu fosse calculada.

$$D_A = \frac{M}{V} \quad (2)$$

**Onde:**

D<sub>A</sub> = densidade aparente (g/cm<sup>3</sup>);

M = massa do corpo de prova (g);

$V$  = volume do corpo de prova ( $\text{cm}^3$ ).

Entretanto, como a densidade aparente é calculada com o material ainda em umidade de equilíbrio com o ambiente, faz-se necessário que esta (umidade) seja também calculada, para que o correto valor da densidade seja alcançado. Assim, para tanto, as peças foram pesadas em balança analítica, ainda em sua umidade de equilíbrio. Seguido a isso, estas foram dispostadas em vidros de relógio e secas em estufa a  $105 \pm 3^\circ\text{C}$ . Diariamente as peças tiveram suas massas aferidas, objetivando valores estáveis, momento no qual a peça está livre de umidade, obtendo assim a massa seca destas.

Assim, por meio da Equação 3, obteve-se a umidade das peças analisadas.

$$U = \left( \frac{M_i - M_f}{V} \right) \times 100 \quad (3)$$

**Onde:**

$U$  = umidade (%);

$M_i$  = massa inicial ou massa úmida (g);

$M_f$  = massa final ou massa seca (g);

$V$  = volume do corpo de prova ( $\text{cm}^3$ ).

Desse modo é possível descontar a massa de água presente no corpo-de-prova e, com isso, obter o valor real de densidade deste.

Além desta, foi também calculada a densidade básica do bambu. Para tanto, as peças foram imersas em água até que ocorresse a total saturação, momento no qual todas as peças permanecem submersas, sem a necessidade de força mecânica que o mantenha imerso. Esta saturação somente ocorre quando todos os vasos e espaços vazios presentes na material estudado estiverem totalmente preenchidos com água.

Após a total saturação, os corpos-de-prova foram imersos em água em um Becker graduado, para aferição do volume da amostra através do deslocamento do nível da água. Com isso, através da Equação 4, obteve-se o valor da densidade básica do bambu.

$$D_b = \frac{M_s}{V_{\text{sat}}} \quad (4)$$

**Onde:**

$D_b$  = densidade básica ( $\text{g/cm}^3$ );

$M_s$  = massa seca (g);

$V_{\text{sat}}$  = volume do corpo de prova saturado ( $\text{cm}^3$ ).

Finalmente, para obter um valor médio de densidade dos corpos de prova, em ambos os casos fez-se uso da Equação 5.

$$D_{\text{med}} = \frac{\sum_{i=1}^n D_n}{n} \quad (5)$$

**Onde:**

$D_{\text{med}}$  = valor médio da densidade – aparente ou básica ( $\text{g/cm}^3$ );

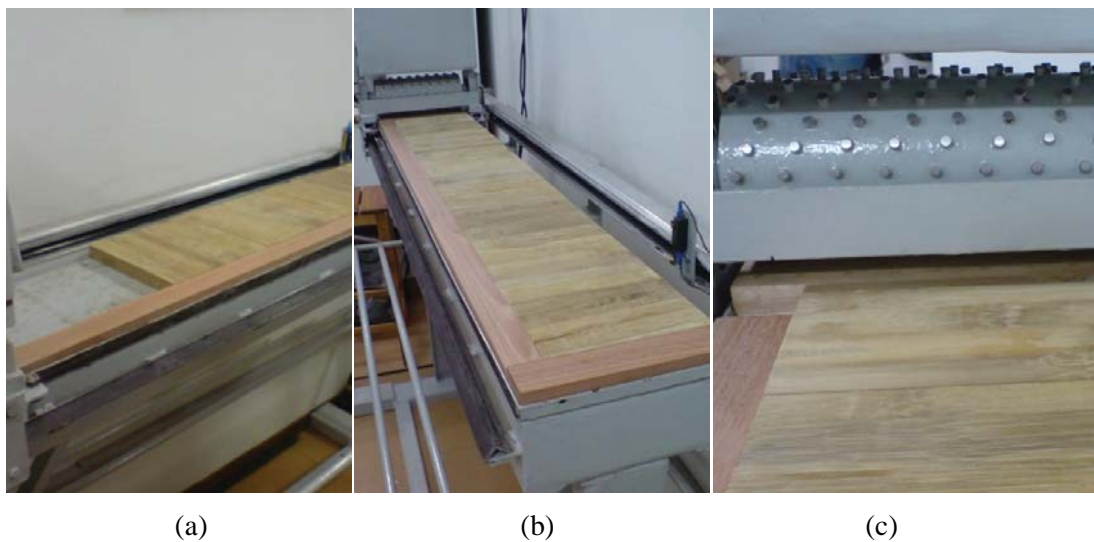
$D_n$  = valor unitário de densidade de cada peça – aparente ou básica ( $\text{g/cm}^3$ );

$n$  = número de corpos de prova.

**4.2.2. Ensaio de endentação causada por cargas aplicadas em pequenas áreas**

O ensaio de endentação causada por cargas aplicadas à pequenas áreas simula o efeito que o salto estreito de um calçado (geralmente feminino) ou um objeto pontiagudo causa sobre o piso, isto é, a análise dos danos causados à peça que sofre pressão de carga concentrada sobre uma área reduzida para, deste modo, determinar a resistência à penetração por parte de borda estreita ou afiada.

Foram realizadas duas repetições de ensaios, com 13 corpos de prova do tipo II (200 x 100 mm) em cada uma delas. A Figura 27 ilustra a montagem das peças no equipamento de testes. Na Figura 27(a) e (b) pode ser observado que, devido a diferença de dimensão entre os corpos de prova e a mesa do equipamento, fez-se necessário, para a completa ancoragem dessas, que uma trava (borda rosada em madeira) fosse utilizada. A fixação das peças foi fundamental para que a haste metálica (que simula o salto) atingisse sempre o mesmo local. A imagem (c) da Figura 27 mostra em detalhe as hastes metálicas que realizam a pressão concentrada sobre a peça ensaiada.



**Figura 27:** Corpos de prova montados no equipamento de ensaio (a) e (b), (c) detalhe do equipamento.

No ensaio, 890N são aplicados às peças distribuídos em dezenas de pinos de aproximadamente 4 mm de diâmetro cada. A resistência do piso é medida após 100 viagens do cilindro (ida e volta), sendo que ao final, o dano pode ser classificado como menor, moderado, severo ou completo. Uma análise quantitativa também é realizada de modo a aferir a evolução do material durante a aplicação das cargas, medidos a 25, 50 e 100% das viagens do equipamento.

A endentação (dano) é medido de forma quantitativa com um micrômetro comparador de precisão 0,001 mm em cinco pontos distintos, como mostrado na Figura 28.



**Figura 28:** Endentação.

As medições foram realizadas seguindo a ordem: externa (e) de 1 a 4 e interna (i), sendo a endentação calculada pela equação 6.

$$E_{CA} = \frac{\sum_{x=1}^n e_x}{n} - i \quad (6)$$

**Onde:**

$E_{CA}$  = endentação por carga aplicada;

$e_x$  = externa;

$i$  = interna.

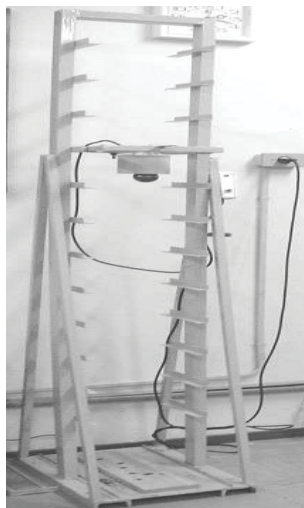
#### 4.2.3. Ensaio de impacto da esfera de aço cadente

O ensaio de impacto de esfera de aço cadente visa aferir a resistência (dureza) do material à impactos ocasionais. Uma esfera metálica era dispensada de um patamar previamente definido e, por meio da aceleração da gravidade ganhava velocidade e impactava

contra a superfície do piso. Através da posterior análise da cavidade formada pelo impacto da esfera sobre o piso, pode-se verificar a resistência superficial deste.

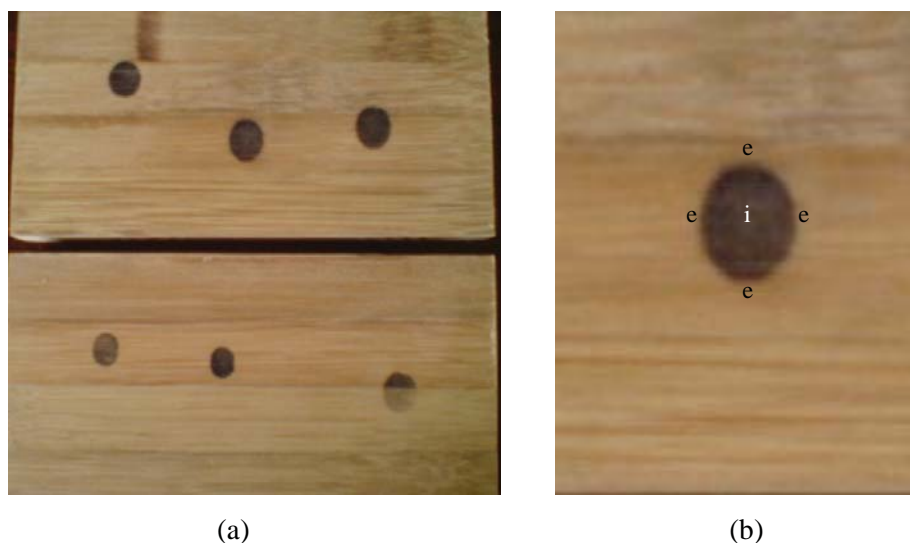
Foram 24 corpos de prova, sendo 12 alturas diferentes e 2 repetições para cada patamar, iniciando-se a uma altura de 1.800 mm (primeiro patamar) e decaindo 150 mm para cada patamar subsequente. Em cada amostra foram realizadas 3 quedas, totalizando assim, seis quedas para cada altura. Os corpos-de-prova utilizados foram os tipo II e a esfera possuía 50,5 g de massa e 51 mm de diâmetro.

Visando a melhor evidenciação da região endentada pela esfera em queda, recobriu-se a peça ensaiada com papel corante (papel carbono), que permitia identificar a real localização de toda a área afetada pelo impacto, sem que efetivamente interferisse no ensaio. A Figura 29 ilustra o equipamento de ensaio, onde podem ser vistos a plataforma da esfera e as diversas alturas de queda.



**Figura 29:** Equipamento para ensaio de endentação por esfera cadente.

Finalizados os procedimentos de ensaio, as peças tiveram as cavidades (provocadas pela esfera) medidas por um micrômetro comparador com precisão de 0,001 mm. A Figura 30 demonstra a peça endentada, bem como, o processo de medição realizado em cada cavidade.



**Figura 30:** Peça ensaiada (a), método de obtenção dos dados (b).

De posse dos dados a cavidade causada pelo impacto da esfera foi obtida pela equação 7 a relação entre a profundidade da cavidade com a média das bordas desta. Esta média é obtida para evitar que eventuais falhas da borda (causadas pelo impacto) interfiram nos valores reais.

$$E_{EC} = \frac{\sum_{x=1}^n e_x}{n} - i \quad (7)$$

**Onde:**

$E_{EC}$  = endentação por esfera cadente;

$e_x$  = externa;

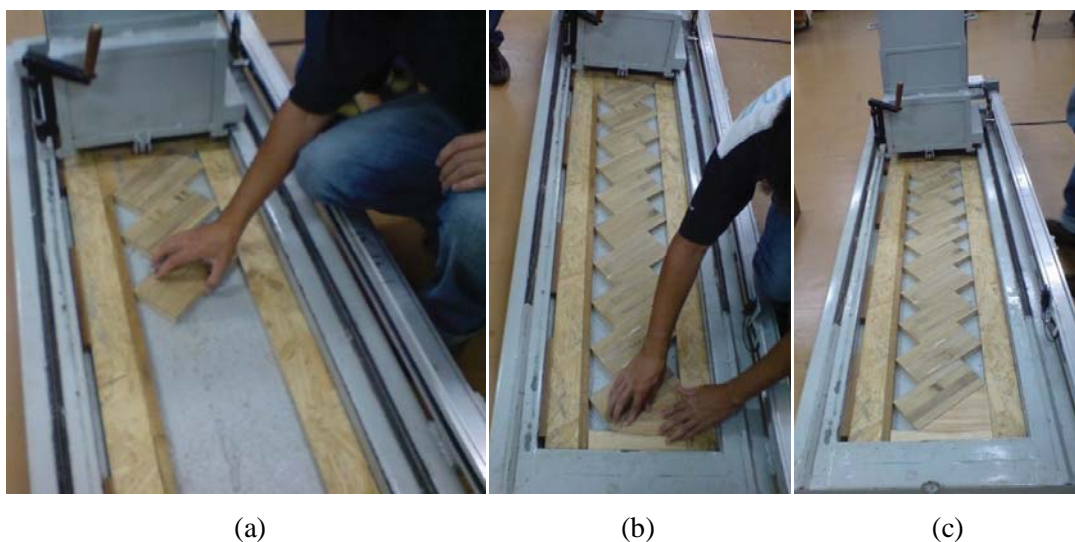
$i$  = interna.

#### 4.2.4. Ensaio da carga rolante

O ensaio de carga rolante visa estudar os danos causados ao piso submetido à carga rolante simulando a pressão e os danos causados pelo arraste de um móvel. Este estudo analisa a resistência do piso sob condições de pressões elevadas e localizadas.

Dez corpos de prova do tipo II foram submetidos à carga rolante que simula arraste de objetos de grande porte sobre o piso. Foram realizadas duas repetições, sendo em ambas aplicada uma carga de 890 N, gerando sobre a peça um sulco causado pelo esmagamento das fibras durante o arraste da carga. A resistência do material é analisada com base na profundidade do sulco gerado.

As peças foram dispostas lado a lado no equipamento de modo a formar um ângulo de  $45^\circ$  (segundo a orientação da norma), visando obter uma maior área de atuação da carga, de maneira oblíqua às fibras, para poder analisar as reações de maneira igual, tanto no sentido axial como no sentido paralelo. A Figura 31 ilustra a montagem das peças bem como o ensaio nelas realizado.



**Figura 31:** Montagem das peças no equipamento para ensaio de carga rolante.



Na Figura 31 (b) é possível verificar a colocação de uma trava a 45° junto ao último piso ensaiado, sendo que uma igual foi posta junto do primeiro piso. Isto se deve a necessidade de fixação destes na mesa de ensaio do equipamento. Além das duas travas, apoios laterais em madeira foram fixados na mesa de modo a permitir que os pisos estivessem posicionados no centro do equipamento (região onde a carga é aplicada).

A endentação causada pela carga rolante é analisada em três momentos distintos: com 10, 25 e 50 viagens do carro de carga. Em cada um destes momentos, as peças eram retiradas e os valores dos danos causados, aferidos, sendo posteriormente remontadas na mesma ordem que fora iniciado.

A carga rolante centralizada aplicada ao piso provoca um sulco, devido a pressão de esmagamento e, através da análise deste, é possível verificar a resistência do material ensaiado. Na Figura 32 é ilustrado o sulco provocado durante o ensaio, bem como, a forma (pontos) de aquisição de dados.



**Figura 32:** Sulco provocado durante o ensaio e a aquisição dos dados.

Na Figura 32 nota-se também que foram obtidos 9 pontos de cada sulco, sendo 3 interno e 6 externos (lembrando que sempre foram analisados os mesmos pontos nos diferentes patamares de viagens para, dessa forma, verificar o progresso do dano causado à peça). Isto foi necessário devido ao rompimento dos feixes de fibras ocorrido durante o

ensaio, o que poderia gerar erros durante a apuração dos resultados. Desse modo, a aquisição de um número maior de dados, torna reduzida a probabilidade de erros afetarem os resultados.

Os pontos analisados foram medidos com um micrômetro de precisão 0.001 mm. Feito isto e, através da equação 8, foi possível calcular o valor médio do sulco provocado na peça durante o ensaio.

$$E_{CR} = \frac{\sum_{x=1}^n e_x}{n} - \frac{\sum_{x=1}^n i_x}{n} \quad (8)$$

**Onde:**

$E_{CR}$  = endentação por carga rolante;

$e_x$  = externa;

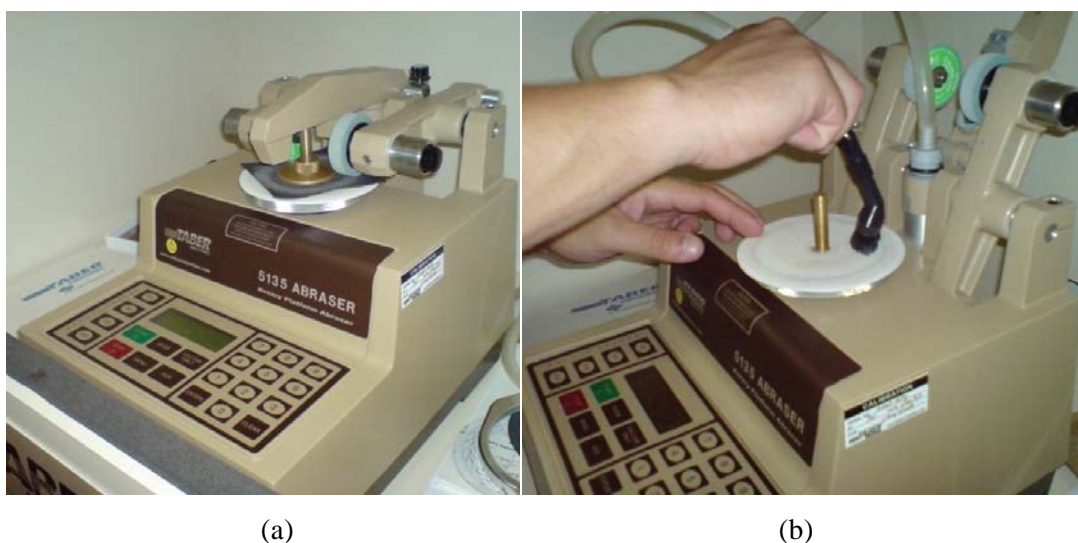
$i_x$  = interna.

#### 4.2.5. Resistência à abrasão.

Resistência a abrasão consiste na habilidade de um material em se manter consistente frente à fricção sofrida por outros corpos. Para estes ensaio foi utilizado um equipamento Taber® Rotary Abraser, modelo 5135, no qual dois rolos abrasivos do tipo H18 são pressionados através de cargas metálicas sobre a superfície da peça ensaiada.

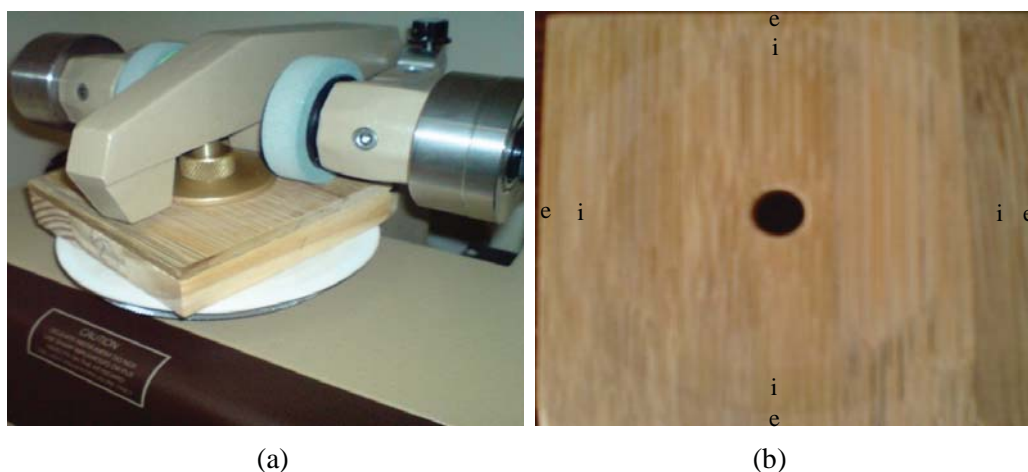
Foram utilizados neste ensaio 10 corpos-de-prova do tipo I. Cada peça ensaiada foi submetida a 1000 ciclos (giro completo em torno do próprio eixo do corpo-de-prova) do equipamento, sendo que a cada 200 ciclos a intensidade do desgaste sofrido era aferida com micrômetro de precisão de 0,001mm.

Pela norma, a cada 500 ciclos, os rebolos abrasivos devem ser retificados com lixa para que a eficiência abrasiva não seja perdida, bem como necessitam de higienização pós retífica, para que nenhum material retirado do corpo-de-prova ou mesmo do rebolo abrasivo, se fixe a este, prejudicando sua capacidade abrasiva juntamente com a perda de confiabilidade do ensaio. A Figura 33 ilustra a retífica do rebolo juntamente com a limpeza do equipamento.



**Figura 33:** Retífica (com lixa) do rebolo H18 (a), limpeza do equipamento (b).

Durante o ensaio, o equipamento esteve a uma velocidade de rotação de 72 ciclos/min., sendo que as cargas aplicadas aos rebolos, para que estes oferecessem maior aderência à peça ensaiada, foram de 250g em cada lado. Na Figura 34(a) pode-se verificar o procedimento de ensaio de resistência à abrasão enquanto que na Figura 34(b) mostra-se o entalhe realizado pelo rebolo no corpo-de-prova, bem como a forma de aquisição dos dados.



**Figura 34:** Ensaio de abrasividade do bambu, (a) corpo-de-prova sendo ensaiado e (b) entalhe causado pelo rolo abrasivo.

Visando a minimização de erros durante a análise de resultados do ensaio, foram realizadas 4 medidas internas ao desgaste e outras 4 externas, sendo a endentação considerada, a diferença entre as médias. Isto garante que falhas construtivas dos corpos de prova, falha do equipamento ou mesmo defeito local do espécime utilizado no fabrico da peça ensaiada, interfira de modo significativo nos resultados.

A endentação obtida foi resultado da equação 9:

$$\mathbf{E}_A = \frac{\sum_{x=1}^n \mathbf{e}_x}{n} - \frac{\sum_{x=1}^n \mathbf{i}_x}{n} \quad (9)$$

**Onde:**

$\mathbf{E}_A$  = endentação por abrasividade;

$\mathbf{e}_x$  = externa;

$\mathbf{i}_x$  = interna.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1. Determinação de densidade

A densidade aparente média obtida para os pisos considerados foi de  $0,756 \text{ g/cm}^3$  para uma umidade de 14,72%. Descontando-se a água (umidade) presente no bambu, obteve-se o valor de  $0,645 \text{ g/cm}^3$ , o que torna o bambu, se comparado com madeiras, um lenho de média densidade. Este resultado pode ser tido como satisfatório, já que, o valor obtido pelo método de densidade básica, foi um valor extremamente próximo, sendo este de  $0,660 \text{ g/cm}^3$ . Os dados obtidos para cálculo da umidade, densidade aparente e densidade básica são mostrados respectivamente, nas Tabelas A1, A2, A3 e A4 do Apêndice A.

Estes valores são condizentes com a literatura, pois segundo Beraldo *et. al.* (2007) a densidade do bambu varia entre 0,5 e  $0,8 \text{ g/cm}^3$ , dependendo da espécie e região do colmo analisada.

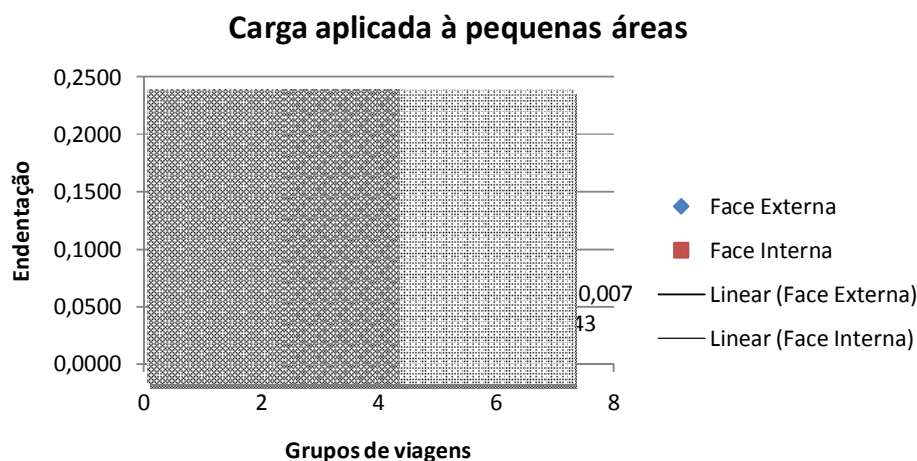
### 5.2. Ensaio de endentação causada por cargas aplicadas em pequenas áreas

Analisando os danos causados às peças durante os ensaios, pôde-se notar uma progressão na endentação causada com o aumento das viagens do carro. Para melhor visualização, os dados das viagens foram condensados em grupos e plotadas apenas as médias destes (Figura 35). Para 10 (região em verde) e 25 (região em roxo) viagens foram condensadas em dois grupos para cada viagem e, para 50 (região em laranja) em 3 grupos de dados. Isto se dá em função do esmagamento das fibras cada vez mais intenso que ocorre a cada passada do carro de carga e analogamente a cada vez que um salto fino exerça pressão sobre o piso.

Diferenciando as réguas oriundas da face externa das da face interna é possível observar que, as da face interna oferecem menor resistência, apresentando maiores danos (endentações) e maior ângulo da curva. Sendo que este último mostra a maior fragilidade do

corpo-de-prova confeccionado com a capa interna, bem como que, os danos nele verificados aumentam com graduação superior aos fabricados com capa da camada externa.

Também é possível verificar através da reta de tendência de cada série de dados que há uma maior variação nos obtidos da capa interna que os da capa externa. Esta maior variação pode ser notada através dos valores extremos e conseqüentes médias das endentações, sendo para capa externa, 0,003mm foi o valor mínimo para 10 viagens e 0,223mm o máximo valor para 50 viagens, resultando em uma média de endentação de 0,113 mm. Já para cada interna, há uma profundidade maior na endentação mínima (0,014 mm) e ainda maior para o valor máximo (0,248 mm) resultando em uma endentação média de 0,131 mm.



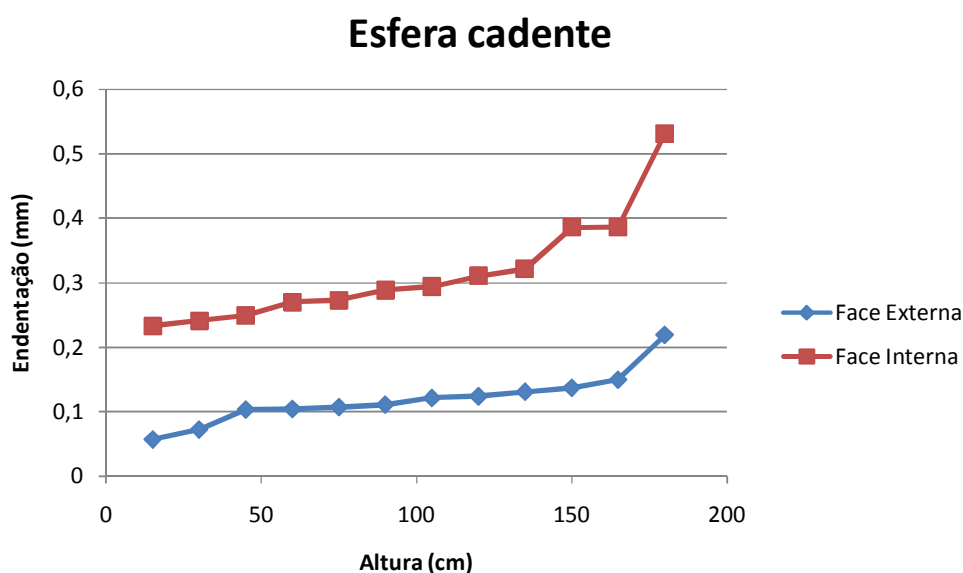
**Figura 35:** Relação profundidade da endentação e viagens do carro.

Além da análise visual das diferenças das endentações causadas em cada objeto de estudo, foi realizada uma análise através de um teste de comparação de médias parametrizadas, sendo o método escolhido o teste t de *student*. Para tanto fez-se uso do software *Lizaro teste t 1.0* distribuído pela Lizaro Software.

Através da análise pelo teste t verificou-se que a nível de significância de 5% há uma divergência entre as médias dos dados obtidos.

### 5.3. Ensaio de impacto da esfera de aço cadente

Pela análise do gráfico do ensaio de esfera cadente (Figura 36) é possível verificar que os pisos confeccionados com taliscas da capa interna orientada para cima se mostram extremamente mais frágeis que os com capa externa, já que, os dados mínimos de endentação desta são superiores aos máximos dos da capa interna.



**Figura 36:** Gráfico da endentação por esfera cadente.

Apesar de ambos os casos terem uma progressão da endentação semelhante (sendo que a capa interna tem uma ascendência levemente superior a externa), o que mais chama a atenção é que, nos dados últimos dos dois casos, há uma ascendência muito grande, que destoa completamente da tendência de profundidade do dano sofrido nas peças. Isto pode ser explicado pelo fato de que no último patamar a força aplicada seja tamanha que rompe completamente as ligações entre fibras bem como as esmaga totalmente. Outra característica que pode ser vista, pelo gráfico é que esse destoamento ocorre antes nos corpos de prova confeccionados com taliscas da capa interna.

Os valores obtidos variam entre 0,057 mm e 0,219 mm da capa externa e de 0,233 mm a 0,531 mm nos da capa interna. Sendo a média de cada um, respectivamente 0,138 mm e 0,382 mm, mostrando a grande fragilidade ao impacto gerada pela capa interna do colmo do bambu.

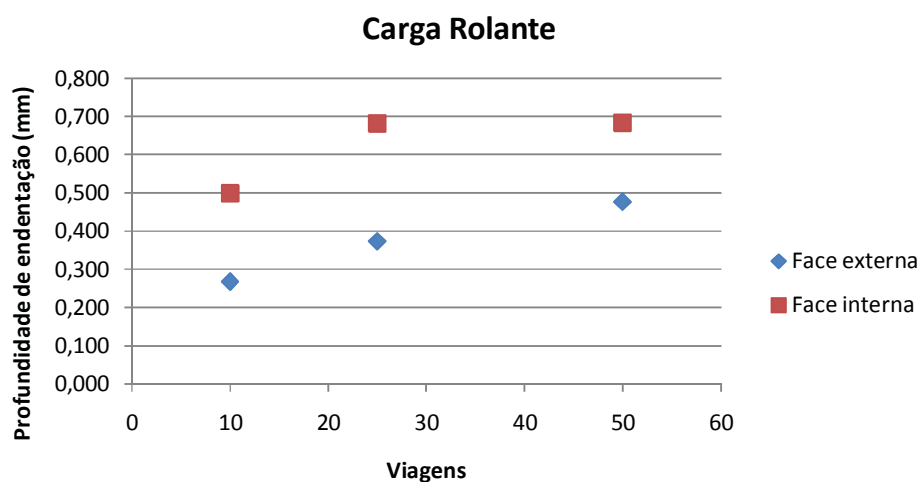
Pela análise estatística através do teste de comparação de médias pelo método do teste t de *student*, verificou-se que a um nível de significância de 5%, há diferenças entre as médias dos dados obtidos.

#### **5.4. Ensaio da carga rolante**

Assim como no ensaio de esfera cadente, a fragilidade da capa da face interna em relação à da face externa é facilmente observada através do gráfico (Figura 37) gerado pelas médias de endentações em cada seqüência de viagens do carrinho. Isto fica evidente, uma vez que, o maior dado de endentação produzido na capa da face externa do bambu é inferior ao menor dado obtido na face interna.

Entretanto, devido à força destrutiva do ensaio, a capa da face interna obtém uma estabilidade de endentação, muito antes da capa externa. Isso pode ser explicado, pois há um limite para o esmagamento das fibras (atingido com 25 viagens para a capa interna) que não pode ser ultrapassado sem que haja uma pressão muito grande, pois já foi atingido o máximo adensamento das fibras do material.





**Figura 37:** Relação profundidade de endentação e viagens da carga.

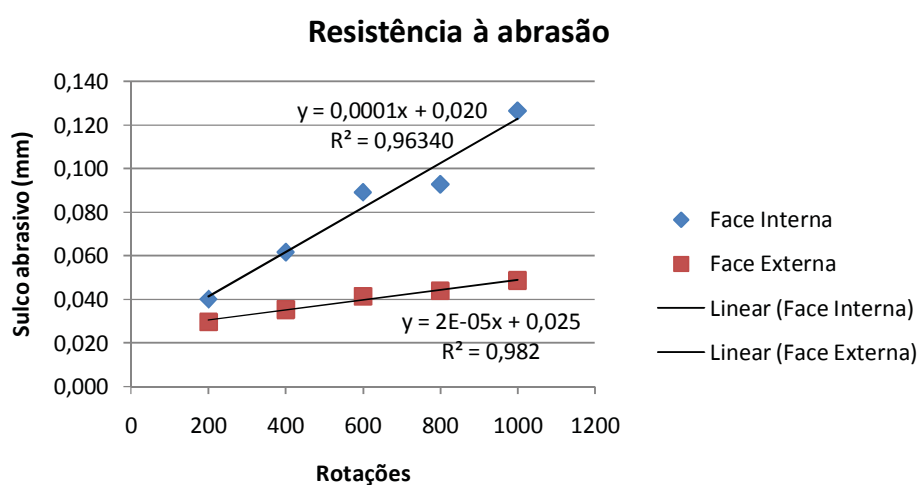
Devido ao maior esmagamento ocorrido na capa interna, é possível notar que esta atingiu seu adensamento máximo com 25 viagens, enquanto que a externa continua numa progressão de esmagamento da superfície.

Além disso, aplicando método do teste t de *student* para uma análise estatística de comparação das médias dos dados mostrou que, a um nível de 5% de significância, há diferença entre as médias.

### 5.5. Resistência à abrasão

O ensaio de resistência à abrasão busca simular os efeitos do arraste de objetos por sobre o piso. Através dele é possível aferir o quão rígido o material que compõe o piso é no tocante ao atrito deste com objetos diversos. Na Figura 38 plota-se um gráfico com as médias dos dados das endentações formadas em cada ciclo de rotações, mostrando uma inclinação extremamente acentuada da reta de tendência formada pelas endentações provocadas pelo desgaste nos corpos de prova fabricados com capa da face interna do colmo do bambu orientada para a superfície. Já as fabricadas com a capa da face externa têm uma depressão muito menos acentuada, evidenciando sua maior resistência.

Nos ensaios, obteve-se valores de endentação próximos para 200 rotações (0,030mm para face externa e 0,040 mm para face interna), ficando as discrepâncias nos dados para 1000 rotações, quando a capa confeccionada com material oriundo da face interna demonstra maior fragilidade que a confeccionado com material da capa externa, obtendo 0,049 e 0,127 mm, respectivamente, nas capas de face externa e interna.



**Figura 38:** Relação sulco causado pelo rebolo abrasivo e número de rotações do corpo-de-prova.

Com a análise estatística, realizada por meio do teste de comparação de médias, teste t de *student*, comprovou-se que a um nível de significância de 5%, há diferenças entre as médias dos dados de resistência à abrasão da capa oriunda da face externa e da face interna.

## 5.6. Resultados comparativos

No ensaio de endentação por esfera de aço cadente, que analisa a resistência do piso a impactos diversos, realizado por Carmo (1996) com madeiras de densidade alta que, geralmente são utilizadas na fabricação de pisos, as endentações foram 0,33mm, 0,23mm, 0,32mm, respectivamente Cumaru (*Dipteryx odorata*), Jatobá (*Hymenaea spp.*) e Ipê

(*Tabebuia spp.*). Os resultados obtidos com o bambu, podem ser considerados ainda mais expressivos, se analisadas as densidades das madeiras utilizadas pela autora supracitada, sendo estas segundo o IPT (2010), 0,908 g/cm<sup>3</sup> para o Cumaru, 0,8 g/cm<sup>3</sup> para o Jatobá e 0,84 g/cm<sup>3</sup> para o Ipê, todas muito superiores às obtidas para a espécie de bambu estudada, 0,660 g/cm<sup>3</sup>. Ainda no trabalho desta autora, foram ensaiados pisos feitos com *Eucalyptus urophylla*, com 21 anos de idade, sendo os resultados ainda maiores, com endentações médias de 0,479 a 0,571mm.

Ainda para o ensaio de impacto por esfera cadente, Padilha (2006) com clones de *Eucalyptus urophylla* com 8 anos de idade, obteve endentação médias de 0,493mm e 0,394mm (máxima e mínima, respectivamente) e, Martins (2008) de 0,206mm, 0,213mm, 0,265mm, respectivamente, *Corymbia maculata*, *Eucalyptus microcorys* e *Eucalyptus clöziana*.

Os resultados encontrados nos ensaios de endentação causada por carga rolante obtidos por Padilha (2006), para clones de *Eucalyptus urophylla*, obtiveram média de 3,0mm. Os resultados obtidos por Carmo (1996) de 2,24 mm, enquanto que Shedley (2002), que analisou pisos oriundos de painéis com três lâminas de *Eucalyptus globulus*, estes produziram depressões de 0,27mm.

Martins (2008), cujas depressões foram 0,154mm, 0,128mm e 0,190mm, respectivamente para pisos de *Eucalyptus microcorys*, *Corymbia maculata* e *Eucalyptus clöziana*.

Santos *et. al.* (2008) que analisou pisos fabricados com Cumaru e obteve deformações que variam, em média, entre 0,196 mm e 0,397 mm.

Para os ensaios de cargas aplicadas em pequenas áreas (ensaio de salto), os dados obtidos por Martins (2008) foram de 0,023mm para *Eucalyptus clöziana* F. Muell, de 0,05mm para o *Eucalyptus microcorys* F. Muell e de 0,043mm para o *Corymbia maculata* Hook.

Já para os ensaios de resistência à abrasão, os dados de Martins (2008) foram de 0,055 para *Eucalyptus clöziana*, 0,073 para *Eucalyptus microcorys* e 0,076 para *Corymbia maculata*.

Estes resultados obtidos podem ser comparados aos do bambu, observando a tabela 1, onde estes são reunidos e ordenados de forma decrescente segundo a densidade básica de cada material.

Tabela 1: Resultados do ensaio de bambu comparados com a literatura.

Espécie	Depressões médias (mm)					Resistência à abrasão
	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	Carga Rolante	Impacto de esfera de aço cadente	Carga aplicada a pequenas áreas		
<b>Cumaru</b> ( <i>Dipteryx odorata</i> )	0,908	0,196 - 0,397	0,33	-	-	-
<b>Ipê</b> ( <i>Tabebuia</i> spp.)	0,84	-	0,23	-	-	-
<i>Corymbia maculata</i>	0,805	0,128	0,206	0,043	0,076	0,076
<b>Jatobá</b> ( <i>Hymenaea</i> spp., <i>Eucalyptus clöziana</i> )	0,8	-	0,32	-	-	-
<i>Eucalyptus microcorys</i>	0,795	0,19	0,213	0,023	0,055	0,055
<i>Eucalyptus microcorys</i>	0,74	0,154	0,265	0,05	0,073	0,073
<b>Dendrocalamus giganteus</b> (externa)	<b>0,66*</b>	<b>0,268 - 0,477</b>	<b>0,138</b>	<b>0,113</b>	<b>0,049</b>	<b>0,049</b>
<b>Dendrocalamus giganteus</b> (interna)	<b>0,66*</b>	<b>0,500 - 0,685</b>	<b>0,382</b>	<b>0,131</b>	<b>0,127</b>	<b>0,127</b>
<i>Eucalyptus urophylla</i>	0,479 - 0,571	1,55 - 3,00	0,394 - 0,493	0,059	-	-
<i>Eucalyptus globulus</i>	0,531	0,27	-	-	-	-

Fonte: Santos et al. (2008), Padilha (2005), Padilha et al. (2006), Martins (2008) e Carmo (1996).

\* Não foi analisada a densidade da capa externa e interna, sendo esta a densidade média do bambu *Dendrocalamus giganteus* utilizado no ensaio.

## 6. CONCLUSÃO

A partir da análise dos dados obtidos durante os ensaios, bem como os avaliados pelos testes estatísticos de comparação, fica evidente a maior fragilidade da capa interna frente a capa externa. Isto se explica em função da própria constituição da planta que por uma maior necessidade de resistência mecânica nas regiões próximas a casca (regiões que sofrem maiores esforços quando da atuação do peso próprio da estrutura sobre o colmo, durante a incidência de ventos, principais esforços sobre a planta, e demais intempéries).

Apesar das consideráveis diferenças entre as propriedades de resistência buscadas em pisos em serviços aqui analisadas, a capa interna ainda apresentou resultados relevantes e em alguns casos, melhores que os obtidos por outros pesquisadores em trabalhos diversos com madeiras cuja densidade está próxima a do bambu (madeiras de média densidade).

No ensaio de endentação por esfera de aço cadente, o bambu obteve um valor médio de endentação para a capa externa muito superior a madeiras usualmente utilizadas no fabrico de pisos. Esta superioridade foi muito significativa ultrapassando os valores obtidos por Carmo (1996) em 139% para o Cumaru, 67% para o Ipê e 132% para o Jatobá (quando comparados às médias do bambu). Os resultados obtidos com o bambu, podem ser considerados ainda mais expressivos, se analisadas as densidades das madeiras utilizadas pela autora supracitada, sendo estas segundo o IPT (2010), 0,908 g/cm<sup>3</sup> para o Cumaru, 0,8 g/cm<sup>3</sup> para o Jatobá e 0,84 g/cm<sup>3</sup> para o Ipê, todas muito superiores às obtidas para a espécie de bambu estudada, 0,660 g/cm<sup>3</sup>. Considerando-se Carmo (1996) em ensaio de pisos feitos com *Eucalyptus urophylla*, com 21 anos de idade, os resultados médios foram muito inferiores aos do bambu (aproximadamente 285% de diferença).

Os resultados do trabalho também são superiores aos encontrados por Padilha (2006) e, também superaram os resultados encontrados por Martins (2008). Comparados aos unicamente aos resultados obtidos para capa externa, há uma diferença entre 118 e 217 % para os resultados de Padilha (2006) e entre 49 e 92 % para Martins (2008).

Os resultados encontrados nos ensaios de endentação causada por carga rolante são satisfatórios se comparados com os obtidos por Padilha (2006). Entretanto, são inferiores aos resultados obtidos por Carmo (1996) (uma diferença superior a 500 %) para a mesma madeira ensaiada pelo autor anterior. Comparados aos estudos de Shedley (2002), o bambu apresenta

resultado cerca de 25% inferior e diferenças percentuais que variam entre 49 e 66 % para os ensaios de Martins (2008).

Ainda os resultados, tanto da face externa como da face interna, são comparáveis aos divulgados por Santos *et. al.* (2008) pois apresentou uma variação de cerca de 20 % em média.

Para os ensaios de cargas aplicadas em pequenas áreas (ensaio de salto), os dados obtidos por Martins (2008) foram superiores aos obtidos nos ensaios do bambu. Essa menor resistência do bambu a esforços concentrados pode ser explicada por sua constituição e grã, pois nele, as fibras são todas organizadas de maneira a obter grã reta (todas as fibras seguem a direção da planta no sentido base-topo) e, isso poderia influir por não haver um entrelaçamento entre as fibras, exceto na região do nó.

Já para os ensaios de resistência à abrasão, os dados de Martins (2008) são comparáveis aos obtidos com o ensaio do bambu, sendo que o bambu apresentou variação entre 12% e 55%.

Em suma, o bambu apresentou excelente desempenho frente aos ensaios quando comparado aos demais resultados mostrados na literatura. Resultados ainda mais surpreendentemente favoráveis quando se leva em consideração as densidades básicas dos materiais comparados, ou seja, mesmo o bambu apresentando densidade significativamente inferior às madeiras utilizadas em pisos comerciais, atinge resistências superficiais superiores para a maioria dos ensaios.

Apesar do inegável incremento de resistência encontrada quando comparadas as capas da face externa e interna do bambu, observa-se que esta última, mesmo apresentando valores consideravelmente inferiores, conseqüentemente demonstrando sua menor resistência, mostra-se comparável a maioria das madeiras utilizadas no fabrico de pisos e assoalhos encontradas na literatura pertinente.

Por fim, uma análise mais contundente do bambu e suas características, voltadas para o uso em pisos, faz-se necessária, analisando também a influência da idade do colmo sobre a resistência superficial, adotando como premissa que quanto maior o tempo de lignificação e silificação do bambu, maior resistência mecânica atingirá o material.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARENGA, F. **Análise de simulação de piso em serviço de bambu associado a painel sarrafeado de pinus (Edged Glued Pannel – EGP)**. Trabalho de Graduação apresentado à Universidade Estadual Paulista – UNESP.Itapeva – SP. 2009. 47 p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM. ASTM D2394-83: **Standard Methods for Simulated Service Testing of Wood and Wood-Base Finish Flooring**. Pág. 481 – 496. 1999. 15 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE – ABIMCI. **Produtos de madeira**. Fórum nacional das atividades de base florestal. Artigo Técnico, num.15. 2004. 5 p.

AZZINI, A.; BERVALDO, A. L. **Protótipo de edificação com o uso de diferentes espécies de bambu**. Faculdade de Engenharia Agrícola- UNICAMP. Campinas – SP. 2000. 8 p.

AZZINI, A.; NAGAI, V. & CIARAMELLO, D. **Celulose monossulfito a partir de *Bambusa vulgaris***. Bragantia, Campinas – SP. 1979.

BERVALDO, A. L. **Bambucreto: O uso do bambu como reforço do concreto**. XVI CONBEA, Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola. Anais. Jundiaí, SP, vol. II, Jul. 1987.

BERVALDO, A. L.; AZZINI, A. **Bambu características e aplicações**. Rio Grande do Sul. Editora Agropecuária Ltda. Guaíba. 2004.

BERVALDO, A, L, P. S; PEREIRA, M. A. R. **Bambu de Corpo e Alma**. Bauru – SP. 2007. 239 p.

BUAINAIN, A. M.; BATALHA, M. O. **Cadeia Produtiva de Madeira**. Série Agronegócios. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA, Secretaria de Política Agrícola – SPA, Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura – IICA. Vol. 6. 2007. 84 p.

CASAGRANDE JUNIOR, E. F. UMEZAWA, H. A. TAKEDA, J. **Arranjo Produtivo Local Sustentável: Estudo de caso para o uso do potencial do bambu na geração de emprego e renda no Paraná.** XXIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Ouro Preto, MG. 2003. 8 p.

CARMO, A. P. T. **Avaliação de algumas propriedades da madeira de seis espécies de eucalipto.** 1996. Dissertação (mestrado em Ciência Florestal) entregue à Universidade Federal de Viçosa – UFV. Viçosa –MG. 1996. 74 p.

CIARAMELLO, D.; AZZINI, A. **Bambu como matéria-prima para papel. V – estudos sobre o emprego de quatro espécies de *dendrocalamus*, na produção de celulose sulfato.** Bragantia – Boletim científico do instituto agrônômico do Estado de São Paulo. Vol. 30, n 24. Campinas, SP. 1971. 16p.

CULZONI, R.A.M. **Características dos bambus e sua utilização como material alternativo no concreto.** Dissertação (mestrado em Engenharia Civil) entregue à Pontifícia Universidade Católica – PUC. Rio de Janeiro – RJ. 1985. 134p.

EISFELD, C. L. **Análise da competitividade entre as indústrias de painéis de madeira: compensado, MDF e OSB no Estado do Paraná.** Dissertação (mestrado em Engenharia Florestal) entregue à Universidade Federal do Paraná – UFPR. Curitiba – PR. 2009.96 p.

FERREIRA, O. **Madeira: uso sustentável na construção civil.** São Paulo. Instituto de pesquisas tecnológicas – IPT. Sinduscon. 2003.

FIALHO, E. G.; SILVA, A. L. P.; TONHOLO, J. **Desenvolvimento da cadeia produtiva do bambu: uma oportunidade para empreender.** XI Seminário Latino-Iberoamericano de Gestión Tecnológica. Salvador – Ba. 2005. 10 p.

GHAVAMI, K. **Application of bamboo as a low-cost energy material in civil engineering.** Symposium materials for low income housing. Mexico City. México. 1989.

GHAVAMI, K. **Desenvolvimento de elementos estruturais utilizando-se bambu.** Rio de Janeiro: PUC RJ, 2002.

GHAVAMI, K.; HOMBEECK, R.V. **Application of bamboo as a construction material. Part I - Mechanical properties & water – repellent treatment of bamboo, Part II - Bamboo reinforced concrete beams.** Latin American Symposium on Rational



Organization of Building Applied to Low Cost Housing. São Paulo. 1981.

GHAVAMI, K.; MARINHO, A. B. **Propriedades físicas e mecânicas do colmo inteiro do bambu da espécie Guadua angustifolia.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.9, n.1, p.107-114, 2005. Campina Grande, PB. Disponível em <<http://www.agriambi.com.br>>

GHAVAMI, K.; RODRIGUES, C.S. **Engineering materials and components with plants.** CIB–Symposium, Construction & Environment, 2000, São Paulo. Proceedings...São Paulo: Global Seven Editor, 2000. CD Rom

GHAVAMI, K.; RODRIGUES, C.S.; PACIORNIK, S. **Bamboo: functionally graded composite material.** Asian Journal of Civil Engineering (Building and Housing). Vol. 4, num. 1. 2003.

GOMES, O. F. M.; CRUZ, M. L. S.; GHAVAMI, K.; PACIORNIK, S. **Caracterização Automática da meso-estrutura de bambus.** Anais do XVI Congresso de Engenharia e Ciência dos Materiais. Porto Alegre, RS. 2004. 15 p.

HSIUNG, W. **Prospects for bamboo development in the world.** IBC 88. Prafrance. 1988.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLOGICAS – IPT. **Informações sobre madeiras.** Disponível em: < <http://www.ipt.br>>. Acesso em: 02 nov. 2010.

JARAMILLO, S. V. **La guadua en los grandes proyectos de inversion.** Congresso Mundial de bambu Guadua. Colômbia. 1992.

JANSSEN, J.J. **Building with bamboo.** Intermediate Tecnology Publications. 1988.

JOHN, V. M. **Reciclagem de Resíduos na Construção Civil – Contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento.** Tese (livre-docência) entregue à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - USP. São Paulo. 2000. 113 p.

KLEINE, H. J. **Uma fibra excepcional.** BambuSC – Associação Catarinense do Bambu. Publicado na revista O Papel. 2005. Disponível em: <[http://www.bambusc.org.br/?page\\_id=106&lang=pt-br](http://www.bambusc.org.br/?page_id=106&lang=pt-br)> Acesso em: 19 out. 2010.

KOGA, R. C.; BITTENCOURT, R. M.; GONÇALVES, M. T. T. **Resistência à abrasão do bambu gigante e espécies de madeiras para utilização como elemento de piso.** VIII Encontro brasileiro em madeiras e em estruturas de madeira. Uberlândia – MG. 2002. 8 p.

LIESE, W. **Anatomy of bamboo.** Bamboo research in Asia. Ottawa. 1980.

LEE, A. W. C.; BAI, X.; PERALTA, P. N. Selected physical and mechanical properties of giant timber bamboo grown in South Carolina. **Forest Products Journal**, vol. 44. n. 9. 1994.

LIESE, W. **The anatomy of bamboo culms.** Technical Report, International Network for Bamboo and Rattan, Beijing, Eindhoven, New Delhi, 1998, 208p.

LOPEZ, O. **Bambu, su cultivo y aplicaciones en: fabricación de papel, construcción, arquitectura, ingeniería, artesanía.** Colombia, Cali: Estudios Técnicos Colombianos Ltda. 1974. p.318

LOPEZ, O. **Manual de Construcción con bambú.** Universidad Nacional de Colombia, Centro de Investigación de Bambú y Madera – CIBAM. Construcción rural 1. Colombia, Bogotá: Estudios Técnicos Colombianos Ltda. 1981. 71 p.

LUZ, J. R. M. **Controle de qualidade do processo produtivo de piso engenheirado da empresa Novopiso S.A.** Universidade Federal Do Paraná – PR. Curitiba – PR. 2008. 65 p.

MAYER, R.D.; **Utilização de Painéis Colados Lateralmente de Eucalipto na Confecção de Móvel Valorizado pelo Design.** Monografia apresentada à Universidade Federal Rural Do Rio De Janeiro – UFRRJ. Seropédica – RJ. 2008. 28 p.

MARTINS, M. **Ensaio de simulação de uso em pisos de Eucalyptus clöziana F. Muell, Eucalyptus microcorys F. Muell e Corymbia maculata Hook.** Dissertação (mestrado em Engenharia Florestal) entregue à Universidade Federal de Lavras – UFLA. 2008. 57 p.

MOIZÉS, F. A. **Painéis de bambu, uso e aplicações: uma experiência didática nos cursos de Design em Bauru, São Paulo.** Dissertação (mestrado em Desenho Industrial) entregue à Faculdade de Engenharia do Campus de Bauru, Universidade Estadual Paulista – UNESP. 2007. 116 p.

NELSON, B.W. **Natural Forest disturbance and change in the Brazilian Amazon.**

Remote Sensing Reviews. Vol.10, p.105 -125. 1994.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS – ONU. *Utilización del bambu y de la caña en la construccion.* Departamento de Asuntos Economicos y Sociales, Nova York, USA. 1972.

PADILHA, C. **Avaliação da qualidade da madeira de Eucalyptus sp para utilização em pisos.** Dissertação (mestrado em Engenharia Florestal) entregue à Universidade Federal de Lavras- UFLA. Lavras - MG. 2005. 59 p.

PADILHA, C.; LIMA, J. T.; SILVA, J. R. M.; TRUGILHO, P. F.; ANDRADE, H. B.

**Avaliação da qualidade da madeira de *Eucalyptus urophylla* para utilização em pisos.** Scientia Florestalis, num. 71, p. 141-147. 2006. 8 p.

REINWARDT, C.G.K. **Kedutaan Besar Jakarta.** Pendiiri Kebun Raya Bogor. Disponível em:

<[http://www.jakarta.diplo.de/Vertretung/jakarta/id/06/Bilaterale\\_\\_Kulturbeziehungen/deu\\_\\_s\\_puren/bildergalerie\\_\\_deu\\_\\_spuren\\_\\_reinwardt.html](http://www.jakarta.diplo.de/Vertretung/jakarta/id/06/Bilaterale__Kulturbeziehungen/deu__s_puren/bildergalerie__deu__spuren__reinwardt.html)> Acesso em: 04 nov. 2010.

RIVERO, L. A.; MORETON, P. S.; GOMES, C. E. **Estrutura em bambu para área de uso público.** Instituto de Engenharia Arquitetura e Design – INSEAD. Centro Universitário Nossa Senhora do Patrocínio CEUNSP. Salto – SP. Ano 01, num. 01. p. 81-98. 2010.

SANTOS, I.S.; LIMA, J.T.; SILVA, J.R.M.; BENÍCIO, M.H.M. **Ensaio de serviço simulado em piso de madeira de cumaru (*Dipterys sp.*).** Cerne. Lavras – MG. 2008.

SELLERS, T. **Plywood and adhesive technology.** Marcel Dekker – New York. 1993. 661 p.

SHEDLEY, P. **The cost benefits of small log processing: laminated three-ply flooring - a case study in WA.** Carine – WA, Austrália. 2002. 127p.

SOUZA, A. P. C. C. **Bambu na habitação de interesse social no Brasil.** Cadernos de Arquitetura e Urbanismo, Belo Horizonte, v. 11, n. 12, p. 217-245, dez. 2004. 29 p.

TARGA, L.A.; BALLARIN, A.W. **Características e potencialidades de uso do bambu como material de construção no meio rural.** XIX Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola – CONBEA. Piracicaba, SP, vol. 1, p. 5459. 1990.

TIRELLI, Z. P. (2007) **Avaliação do desempenho do bambu na construção utilizando**. Disponível em: <  
<http://www.bambubrasileiro.com/arquivos/Desempenho%20Bambu%20Construcao%20-%20Tirelli.pdf>>. Acesso em: 28 out. 2010.

TOMAZELLO FILHO, M.; AZZINI, A. **Estrutura anatômica, dimensões das fibras e Densidade básica de colmos de *bambusa vulgaris schrad.*** Instituto de pesquisas e estudos florestais – IPEF, n.36, p.43-50.1987.

TSOUMIS, G. **Science and technology of wood: it's structure, properties and utilization**. Van Nostrand Reinhold – New York 1991.494 p.

VASCONCELOS, R. M. **Cartilha de fabricação de móveis**. Instituto do bambu – INBAMBU. Maceió, Al. 2004. 59 p.

VASCONCELLOS, R. M. **Info Bambu – Plantio e Morfologia**. Rio de Janeiro: Condesign, 2009. 1p. Disponível em:<<http://www.bambubrasileiro.com/info/plantio/index.html>>. Acesso em: 10 out. 2010.

VELEZ, S. **Grow your own house – Simon Velez and Bamboo Architecture**. Vitra Design Museum . ZERI. 2001.

VENTANIA, L. **Bambu versátil e popular**. Revista Bem Público, num. 8, ano 2. Curitiba – PR. 2006.

## **Apêndice A**

### **Tabelas dos dados dos ensaios**

Tabela A 1: Densidade Aparente.

<b>Densidade Aparente</b>			
<b>Peça</b>	<b>Massa (g)</b>	<b>Volume (cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Densidade (g/cm<sup>3</sup>)</b>
<b>1</b>	2,313	3,226	0,717
<b>2</b>	1,752	2,546	0,688
<b>3</b>	3,195	3,920	0,815
<b>4</b>	2,721	3,580	0,760
<b>5</b>	1,902	2,567	0,741
<b>6</b>	2,197	2,880	0,763
<b>7</b>	3,106	3,716	0,836
<b>8</b>	2,667	3,388	0,787
<b>9</b>	1,227	1,816	0,676
<b>10</b>	1,648	2,117	0,779

Tabela A 2: Umidade dos corpos de prova.

<b>Umidade</b>			
<b>Peça</b>	<b>Massa Inicial (g)</b>	<b>Massa Final (g)</b>	<b>Umidade (%)</b>
<b>1</b>	2,313	1,948	15,79%
<b>2</b>	1,752	1,499	14,40%
<b>3</b>	3,195	2,736	14,37%
<b>4</b>	2,721	2,323	14,64%
<b>5</b>	1,902	1,608	15,46%
<b>6</b>	2,197	1,870	14,87%
<b>7</b>	3,106	2,673	13,93%
<b>8</b>	2,667	2,280	14,53%
<b>9</b>	1,227	1,044	14,97%
<b>10</b>	1,648	1,413	14,26%

Tabela A 3: Densidade básica.

<b>Densidade Básica</b>			
<b>Peça</b>	<b>Massa seca (g)</b>	<b>Volume saturado(cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Densidade (g/cm<sup>3</sup>)</b>
<b>1</b>	1,948	3,0	0,649
<b>2</b>	1,499	2,3	0,652
<b>3</b>	2,736	4,2	0,651
<b>4</b>	2,323	3,5	0,664
<b>5</b>	1,608	2,4	0,670
<b>6</b>	1,870	2,8	0,668
<b>7</b>	2,673	4,0	0,668
<b>8</b>	2,280	3,5	0,651
<b>9</b>	1,413	2,1	0,673
<b>10</b>	1,044	1,6	0,652

Tabela A 4: Tabela comparativas das densidades básica e aparente.

<b>Comparativo de densidades</b>		
<b>Peça</b>	<b>Densidade básica (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Densidade aparente (g/cm<sup>3</sup>)*</b>
<b>1</b>	0,649	0,604
<b>2</b>	0,652	0,589
<b>3</b>	0,651	0,698
<b>4</b>	0,664	0,649
<b>5</b>	0,670	0,626
<b>6</b>	0,668	0,649
<b>7</b>	0,668	0,719
<b>8</b>	0,651	0,673
<b>9</b>	0,673	0,575
<b>10</b>	0,652	0,667

\*Valores de densidade descontados as respectivas umidades das peças

**Tabela A 5:** Dados das profundidades de danos, em milímetros, obtidos do ensaio de resistência à abrasão em suas respectivas viagens.

<b>Resistência à abrasão</b>					
<b>Peça</b>	<b>Viagens</b>				
	<b>200</b>	<b>400</b>	<b>600</b>	<b>800</b>	<b>1000</b>
<b>1</b>	0,030	0,033	0,024	0,011	0,045
<b>2</b>	0,031	0,043	0,050	0,057	0,053
<b>3</b>	0,036	0,045	0,052	0,046	0,024
<b>4</b>	0,019	0,022	0,027	0,061	0,018
<b>5</b>	0,032	0,034	0,055	0,044	0,105
<b>6</b>	0,042	0,034	0,044	0,066	0,130
<b>7</b>	0,048	0,052	0,063	0,045	0,229
<b>8</b>	0,034	0,119	0,075	0,123	0,055
<b>9</b>	0,039	0,073	0,148	0,083	0,078
<b>10</b>	0,037	0,032	0,118	0,149	0,141

**Tabela A 6:** Dados (agrupados) das profundidades de danos, em milímetros, obtidos no ensaio de carga aplicada à pequenas áreas (salto)

<b>Carga aplicada à pequenas áreas</b>		
<b>Peça</b>	<b>Face Externa</b>	<b>Face Interna</b>
<b>1</b>	0,017	0,055
<b>2</b>	0,022	0,078
<b>3</b>	0,037	0,128
<b>4</b>	0,042	0,130
<b>5</b>	0,060	0,162
<b>6</b>	0,092	0,173
<b>7</b>	0,104	0,222



**Tabela A 7:** Dados das profundidades de danos, em milímetros, referentes aos ensaios de carga rolante.

<b>Carga rolante</b>				
<b>Face</b>	<b>Peça</b>	<b>Viagens</b>		
		<b>10</b>	<b>25</b>	<b>50</b>
<b>Externa</b>	<b>1</b>	0,186	0,271	0,416
	<b>2</b>	0,248	0,354	0,445
	<b>3</b>	0,259	0,384	0,500
	<b>4</b>	0,295	0,411	0,512
	<b>5</b>	0,351	0,449	0,515
<b>Interna</b>	<b>6</b>	0,439	0,581	0,532
	<b>7</b>	0,459	0,647	0,635
	<b>8</b>	0,476	0,660	0,657
	<b>9</b>	0,509	0,732	0,724
	<b>10</b>	0,616	0,800	0,878

**Tabela A 8:** Dados das profundidades de danos, em milímetros, referentes aos ensaios de carga rolante.

<b>Esfera cadente</b>		
<b>Patamar (mm)</b>	<b>Face Interna</b>	<b>Face Externa</b>
<b>150</b>	0,057	0,233
<b>300</b>	0,072	0,241
<b>450</b>	0,104	0,249
<b>600</b>	0,104	0,270
<b>750</b>	0,107	0,273
<b>900</b>	0,111	0,289
<b>1050</b>	0,121	0,294
<b>1200</b>	0,124	0,311
<b>1350</b>	0,131	0,322
<b>1500</b>	0,137	0,386
<b>1650</b>	0,150	0,386
<b>1800</b>	0,219	0,531