



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE FLORESTAS  
DEPARTAMENTO DE PRODUTOS FLORESTAIS

**LEONARDO MONTEIRO CONCEIÇÃO**

**ANÁLISE DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DE DUAS  
ESPÉCIES DE BAMBU EM TRÊS ESTÁGIOS DE MATURIDADE**

Prof. Dr. ALEXANDRE MIGUEL DO NASCIMENTO  
Orientador

SEROPÉDICA, RJ  
JUNHO DE 2017



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE FLORESTAS  
DEPARTAMENTO DE PRODUTOS FLORESTAIS

**LEONARDO MONTEIRO CONCEIÇÃO**

**ANÁLISE DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DE DUAS  
ESPÉCIES DE BAMBU EM TRÊS ESTÁGIOS DE MATURIDADE**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Florestal, como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheiro Florestal, Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

Prof. Dr. ALEXANDRE MIGUEL DO NASCIMENTO  
Orientador

SEROPÉDICA, RJ  
JUNHO DE 2017

**ANÁLISE DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DE DUAS  
ESPÉCIES DE BAMBU EM TRÊS ESTÁGIOS DE MATURIDADE**

**LEONARDO MONTEIRO CONCEIÇÃO**

Monografia aprovada em 29 de Junho de 2017.

Banca Examinadora:

---

Prof. Dr. Alexandre Miguel do Nascimento  
Orientador  
Departamento de Produtos Florestais, IF/UFRRJ

---

Prof. Dra. Gilmara Pires de Moura Palermo  
Departamento de Produtos Florestais, IF/UFRRJ

---

Prof. Dr. Azarias Machado de Andrade  
Departamento de Produtos Florestais, IF/UFRRJ

## AGRADECIMENTOS

A minha mãe Silvia, mulher de garra, que trabalhou duro para dar uma educação de qualidade para seus filhos.

Aos meus irmãos Vinicius e Caroline, que sempre deram o exemplo a seguir na vida, e mesmo morando longe estão sempre presentes em meu coração.

A Nicole, minha namorada, que esteve sempre ao meu lado nos meus últimos anos de graduação e que pretendo partilhar a vida.

Ao Prof. Alexandre Miguel, pela amizade e por me instruir com paciência de pai, mostrando o melhor caminho para realização deste trabalho.

Aos membros da banca, Professora Gilmara Pires e Professor Azarias Machado pela contribuições no trabalho.

A UFRRJ, instituição que vivenciei muitos momentos marcantes nos anos de graduação e que me proporcionou uma educação pública e de qualidade.

Ao Grupo de Agricultura Ecológica (GAE) e seus membros, que me mostraram que o conhecimento não está só dentro dos muros da universidade.

A empresa Grupo Monumento e todos seus funcionários, pela experiência e aprendizado.

Aos amigos e amigas do alojamento da UFRRJ.

A turma 2009-II de Engenharia Florestal.

## RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo analisar as características físicas e mecânicas de duas espécies de bambu, a *Phyllostachys aurea* e *Bambusa tuldoides*, em três estágios de maturidade. Para tal, fez-se uso das normas de análises física e mecânica elaborada pelo Comitê Técnico ISO/TC, estruturas de madeira, com colaboração da *Internatinal Network for Bambu e Rattan* (INBAR). As análises físicas e os ensaios mecânicos foram realizados no laboratório de Propriedades Físicas e Mecânicas do Departamento de Produtos Florestais no Instituto de Florestas da UFRRJ. As amostras de bambu foram testadas nos ensaios de flexão estática, compressão paralela às fibras e cisalhamento paralelo às fibras, objetivando obter informações acerca de suas propriedades para uso estrutural. Foram comparadas com testes semelhantes encontrados na bibliografia, levando em consideração o diferencial de estarem na localização geográfica em que se encontram e, portanto, submetidas ao clima diferencial quando comparada com as amostras utilizadas para os testes da referência. Os resultados obtidos atestaram que, com o amadurecimento do colmo das duas espécies de bambu, houve o aumento de sua resistência mecânica, assim como da densidade e espessura. Tendo sido observados valores semelhantes com os apresentados na bibliografia consultada.

**Palavras chave:** *Phyllostachys aurea*, *Bambusa tuldoides*, propriedades físicas e mecânicas, maturidade.

## ABSTRACT

The present work had the objective of analyzing the physical and mechanical properties of two species of bamboo, *Phyllostachys aurea* and *Bambusa tuldoides*, in three stages of maturity. For this purpose, the standard's analysis of physical and mechanical elaborated by the ISO / TC Technical Committee, Timber Structures, with the collaboration of the International Network for Bamboo and Rattan (INBAR) were used. Physical analyzes and mechanical tests were performed at the Physical and Mechanical Properties Laboratory of the Department of Forest Products at the Forest Institute of UFRRJ. The bamboo samples were tested in the tests of static bending, compression parallel to the fibers and shear parallel to the fibers, aiming to obtain information about their properties as a structural use. They were compared with similar tests found in the literature, taking into account the differential of being in the geographic location in which they are, and therefore submitted to the differential climate when compared with the samples used for the reference tests. The results showed that, with the maturation of the culm of the two bamboo species, there was an increase in its mechanical strength, as well as density and thickness. Having values similar to those presented in the bibliography consulted.

**Key words:** *Phyllostachys aurea*, *Bambusa tuldoides*, physical and mechanical properties, maturity.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	1
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	2
2.1	O Bambu e sua história .....	2
2.2	Espécies estudadas .....	4
2.2.1	<i>Phyllostachys aurea</i> Carrière ex. A & C. Rivière .....	4
2.2.2	<i>Bambusa tuldoides</i> Munro .....	5
2.3	Morfologia e anatomia .....	6
2.4	Propriedades mecânicas .....	11
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	13
3.1	Coleta do material e critério de seleção .....	13
3.2	Preparo da amostra .....	15
3.3	Teor de umidade .....	16
3.4	Densidade aparente .....	17
3.5	Ensaio mecânicos .....	17
3.5.1	Flexão estática .....	17
3.5.2	Compressão paralela às fibras .....	24
3.5.3	Cisalhamento .....	27
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	30
4.1	Propriedades físicas .....	30
4.1.1	Mensuração do diâmetro e espessura .....	30
4.1.2	Densidade aparente .....	31
4.2	Propriedades mecânicas .....	32
4.2.1	Flexão estática a três pontos .....	32
4.2.2	Flexão estática a quatro pontos .....	34
4.2.3	Compressão paralela às fibras .....	36
4.2.4	Cisalhamento .....	39
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	41
<b>6</b>	<b>REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA</b> .....	43

## 1 INTRODUÇÃO

A conscientização quanto ao impacto ambiental causado pela exploração dos recursos naturais e supressão da biodiversidade têm aumentado, porém a manutenção do modelo de desenvolvimento da sociedade moderna está longe de se tornar sustentável. Os valores econômicos, pautados no lucro máximo, acabam por exaurir os recursos renováveis e não renováveis, gerando poluição dos ambientes aquáticos e terrestres, supressão de áreas florestais, degradação dos solos, contaminação de fontes de água potáveis e extinção de espécies da fauna e flora.

A construção civil, por exemplo, um dos pilares de nossa sociedade e detentora de um vasto aparato tecnológico, é responsável pela exploração de uma parcela considerável de recursos naturais. Fazendo uso, em grande parte de suas áreas de aplicação, de materiais não renováveis como o aço, o cimento e subprodutos do petróleo.

O desenvolvimento de materiais de baixo custo na construção civil, torna-se uma exigência atual básica. Os materiais convencionais mobilizam voluptuosos volumes de recursos financeiros, consomem muita energia e requerem processos centralizados de produção. Neste sentido impõem-se materiais ecológicos de baixo custo e reduzido consumo de energia na produção, que minimizam a poluição e o consumo de energia, garantindo a conservação dos recursos não renováveis e a manutenção de um ambiente saudável que não favoreça a proliferação de doenças (GHAVAMI, 1992).

Contrariamente à madeira, o bambu ainda não sofreu uma exploração intensa e pode, eventualmente, substituir essa matéria prima em um grande número de aplicações. Sua exploração racional pode permitir a preservação dos recursos florestais, diminuindo a forte pressão exercida sobre certas espécies florestais (JIANG e MING, 1992 citado por BERALDO e FREIRE, 2003).

O bambu é um material versátil e possui qualidades mecânicas adequadas para o uso estrutural. Sendo amplamente utilizado em países do continente Asiático, para a construção de andaimes, pontes suspensas, casas, cercas, móveis, laminados, produção de papel etc. Na América Latina, a ocorrência de grande número de espécies de bambu favoreceu a aplicação do material sobre diversas áreas. Na Colômbia, por exemplo, tem-se usado para fomentar projetos

governamentais de habitação popular através de edificações construídas com bambu, desde a fundação até a cobertura.

Vários autores, dentre eles Ghavami (1989), Beraldo e Zoulalian (1995), Janssen (2000), Hidalgo Lopez (2003), Pereira e Beraldo (2008) comentaram que na determinação das características mecânicas dos colmos de bambu, o principal inconveniente tem sido a inexistência de uma padronização ou normatização dos ensaios. Desta forma, a tendência é que cada pesquisador adote sua própria metodologia, o que torna difícil a comparação entre os resultados obtidos.

O presente estudo fez-se uso da norma ISO 22157-1 e ISO 22157-2 (2004), que foi elaborada pelo comitê técnico ISO/TC, Estruturas de madeira, com colaboração da *International Network for Bamboo and Rattan* (INBAR). Dentro deste contexto, objetivando estudar as propriedades físicas e mecânicas de duas espécies de bambu (*Bambusa tuldoides* e *Phyllostachys aurea*), em diferentes estágios de maturidade, a saber: colmos imaturos, colmos intermediários e colmos maduros.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 O Bambu e sua história

O bambu é uma planta popularmente conhecida pelo seu porte arborescente, com troncos (colmos) de formato cilíndricos e lignificados. Porém é uma espécie vegetal pertencente à família *Graminea* (*Poaceae*), subfamília *Bambusoidae*, as vezes classificado separadamente como família *Bambusaceae*.

Ao redor do globo existem aproximadamente 1.600 espécies distribuídas em 121 gêneros (25 herbáceos e 96 lenhosos). Geograficamente, ocorrem em ambientes de clima tropical, subtropical e temperado, em todos os continentes, exceto na Europa, que não possui espécies endêmicas. A distribuição aproximada de espécies de bambu pelos continentes ocorre nas seguintes proporções: 67% na Ásia e Oceania, 3% na África, e 30% nas Américas. (HIDALGO, 2003)

O Brasil possui 34 gêneros de bambu, com o total de 232 espécies, sendo que 174 espécies (cerca de 75%) são consideradas endêmicas. Deste montante há 16 gêneros herbáceos, com 75 espécies, e 18 gêneros lenhosos, com 155 espécies. Dos bambus herbáceos tem-se 4 gêneros com 45 espécies consideradas

endêmicas, com destaque aos gêneros *Olyra* e *Pariana*, com 18 espécies cada. Dentre os bambus lenhosos existem 6 gêneros, com 129 espécies consideradas endêmicas, com destaque para os gêneros: *Merostachys*, com 53 espécies; *Chusquea*, com 40 espécies; e *Guadua*, com 16 espécies. O Brasil possui 89% de todos os gêneros e cerca de 65 % de todas as espécies conhecidas no continente Americano. Os autores acrescentam que, dentre as espécies introduzidas no Brasil, destacam-se aquelas pertencentes aos gêneros *Bambusa*, (espécies: *blumeana*, *dissimulator*, *multiplex*, *tulda*, *tuldoides*, *ventricosa*, *vulgaris*, *beechenyana*), *Dendrocalamus* (espécies: *giganteus*, *asper*, *latiflorus*, *strictus*), *Gigantochloa*, *Guadua*, *Phyllostachys* (espécies: *aurea*, *purpuratta*, *bambusoides*, *nigra*, *pubescens*, *Pseudosasa*, *Sasa* e *Sinoarundinaria*) (FILGUEIRAS e GONÇALVES, 2004).

Segundo Velenovsky citado por Hidalgo (2003), em relação à origem da planta, acredita-se que o bambu desenvolveu-se no período Cretáceo, um pouco antes do período terciário, quando surgiu o homem.

A origem da palavra bambu permanece um mistério para os etimologistas, assim como o são suas diferentes espécies, cuja identificação ainda se constitui em um enigma para os botânicos. Alguns acreditam que a sua origem provém da Malásia, da onomatopeia bam-boom, causado pelo som do estouro quando o colmo de bambu é aquecido. Com o calor, o ar confinado dentro dos ocos dos internós do bambu expande até estourar. Outros autores consideram que o termo “bambu” tem sua origem no “mambu”, denominação arcaica para bambu na Índia (HIDALDO, 2003).

Na China, homem e bambu estão unidos desde os tempos pré-históricos, como pode ser notado pelo fato de que um dos primeiros radicais ou elementos da escrita chinesa tenha sido um desenho de bambu, constituído por dois talos com folhas e ramos, e que se denomina *CHU*. A utilização do bambu foi descrita desde os anos 1600 a 1100 a.C., conforme consta os antigos caracteres chineses (PEREIRA e BERARDO, 2008).

Historicamente o bambu tem acompanhado o ser humano, fornecendo alimento, abrigo, ferramentas, utensílios e uma infinidade de outros itens. Atualmente, estima-se que contribua para a subsistência de um bilhão de pessoas.

Igualmente importante, ao lado dos usos tradicionais, tem sido o desenvolvimento de usos industriais do bambu (PEREIRA e BERALDO, 2008).

## 2.2 Espécies estudadas

### 2.2.1 *Phyllostachys aurea* Carrière ex. A & C. Rivière

A espécie *Phyllostachys aurea* Rivière & C. Rivière, conhecida vulgarmente como cana-da-índia, vara de pescar ou bambu-jardim, é nativa da China, mas também é encontrada no Japão, Taiwan, América Central e América do Sul. Esta espécie pertence à família *Poaceae*, sub família *Bambusoideae*, tribo *Bambuseae*, subtribo *Shibataeinae*, gênero *Phyllostachys*, espécie *aurea*. É uma das espécies mais conhecidas em todo o mundo e a que melhor tem se adaptado ao clima temperado, devido aos seus rizomas leptomorfos. Sua altura varia, em média, de 6 a 12 m, e o diâmetro entre 2 e 7 cm. Seus colmos se apresentam verdes quando jovem tornando-se amarelo-esverdeados com o passar do tempo. O comprimento dos internódios aumenta da base para o topo (OHRNBERGER, 1999; citado por CRUZ, 2002) (Figura 1).

É a espécie mais utilizada do Brasil na movelaria e artesanato, provavelmente, devido a sua grande resistência ao caruncho e a facilidade de ser curvado quando submetido ao calor. É um bambu altamente invasivo e por isso o seu cultivo requer cuidados especiais (SILVA, 2005).



**Figura 1.** Características das espécies *Phyllostachys aurea* Carrière ex. A & C. Rivière. (A) Formato da brotação. (B) Aspecto do colmo. (C) Detalhe geral do povoamento (Fonte: o autor, 2016).

### 2.2.2 *Bambusa tuldoides* Munro

A espécie *Bambusa tuldoides* Munro pertence a família *Poaceae*, sub família *Bambusoideae*, tribo *Bambuseae*, gênero *Bambusa*, espécie *tuldoides*. Possui colmos de paredes grossas em relação ao seu diâmetro, dando ao mesmo uma resistência mecânica alta (ALVES et al., 2003; citado por TEIXEIRA, 2006). O diâmetro varia de 3 a 8 cm e sua altura de 8 a 12 m. Tem cor verde e apresenta uma notável linearidade em seus colmos. É bastante empregada no Vietnã para produção de móveis. No Brasil, é conhecida em algumas regiões como bambu crioulo e é uma das espécies preferidas como tutor no cultivo de tomates (SILVA, 2005; citado por OLIVEIRA, 2012).



**Figura 2.** Características da espécie *Bambusa tuldooides* Monro. (A) Aspecto geral da touceira. (B) Detalhe geral dos colmos (Fonte: o autor, 2016).

### 2.3 Morfologia e anatomia

Pelas características de seu colmo, o bambu é considerado uma planta lenhosa, monocotiledônea, e pertencente às Angiospermas (sementes protegidas). Tal como as árvores, o bambu é constituído por uma parte aérea denominada colmo, sendo normalmente oca. A parte subterrânea é constituída por rizoma e raízes. (Pereira e Beraldo, 2008)

Embora raramente ocorram bambus maciços (gênero *Chusquea*, por exemplo), os colmos do bambu, em sua grande maioria, se caracterizam por apresentar uma forma ligeiramente cilíndrica e por dispor de uma sequência de entrenós (internós) ocos, separados transversalmente uns dos outros por diafragmas (septos), que aparecem externamente como nós, de onde saem ramos e folhas, dispostos alternadamente. Os diafragmas fornecem maior rigidez e resistência aos colmos, permitindo-lhes suportar a ação do vento e do próprio peso (PEREIRA e BERALDO, 2008).

O bambu é um material heterogêneo e ortotrópico apresentando, assim, coeficientes elásticos que variam conforme a direção anatômica considerada (CARRASCO et al., 1995).

Segundo Liese (1985), as propriedades de um colmo são determinadas por suas estruturas anatômicas. Nos internós as células estão orientadas axialmente (paralelas ao eixo de crescimento), enquanto que nos nós aparecem às interconexões transversais.

Os colmos diferem-se em altura, diâmetro, espessura de parede e forma de crescimento, conforme a espécie que pertençam. Assim, enquanto alguns colmos alcançam apenas alguns centímetros de altura e uns poucos milímetros de diâmetro, sendo arbustivos ou ornamentais (algumas espécies dos gêneros *Sasa* e *Pseudosasa*), outros bambus podem atingir alturas de até 30 m e diâmetros de até 30 cm (PEREIRA e BERALDO, 2008).

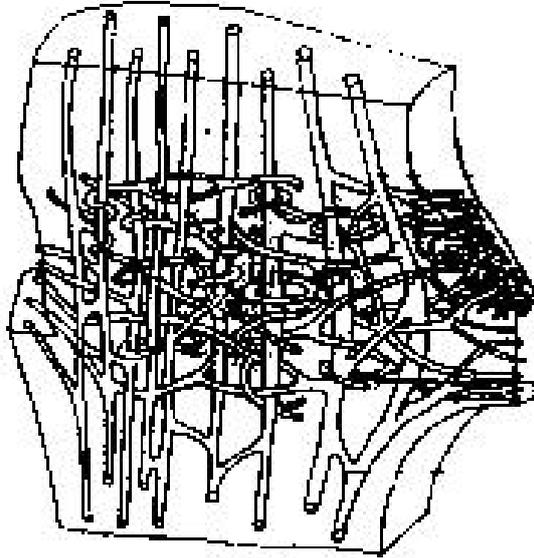
Ao longo de toda a sua vida, o colmo de bambu terá o mesmo diâmetro que tinha quando nasceu. Este diâmetro é maior perto da base e vai diminuindo com a altura em direção à ponta (ou seja, o bambu é geometricamente um cone), mas nunca aumenta com o passar dos anos, como ocorre normalmente com as espécies arbóreas (PEREIRA e BERALDO, 2008).

Ao nascerem, possuem um tecido delicado e, por este motivo, estão protegidos por brácteas (ou bainhas), que são folhas em formato triangular, e são importantes para a identificação das espécies de bambu. Estas folhas recobrem cada um dos nós que vão se formando, e caem após o colmo completar seu máximo comprimento, quando então se inicia a formação de ramos e das folhas. Após este período inicial de crescimento, o colmo começa o processo de amadurecimento, que dura cerca de até três a quatro anos, para a maioria das espécies, quando então suas propriedades de resistência mecânica se estabilizam (PEREIRA e BERALDO, 2008).

Segundo Liese (1998), apenas recentemente a estrutura do nó de ambos os tipos de bambu (monopodial e simpodial) foi descrita em detalhes. Morfologicamente o nó do colmo de bambu é constituído pela cicatriz deixada pela bainha, aresta nodal, diafragma e o espaço entre os dois primeiros (cicatriz da bainha e aresta nodal) denominado intranó.

Os nós exercem uma amarração transversal e proporcionam maior rigidez ao colmo de bambu (LOPEZ, 1974). Quando a bainha cai, uma cicatriz em toda a circunferência do colmo permanece, proveniente dos terminais dos vasos condutores. A aresta nodal é resultado da formação das células pelo tecido ainda não formado (meristema). As células são compridas pela parte superior do broto, e assim os feixes vasculares se tornam distorcidos (figura 3), forçando a camada externa para fora e dando origem a protuberâncias (aresta nodal). A morfologia dos

nós difere de acordo com a espécie; o intranó varia em comprimento e o diafragma pode ser plano, côncavo ou convexo (BERALDO e FREIRE, 2003).



**Figura 3.** Distribuição dos feixes vasculares na região do nó (LIESE, 1998).

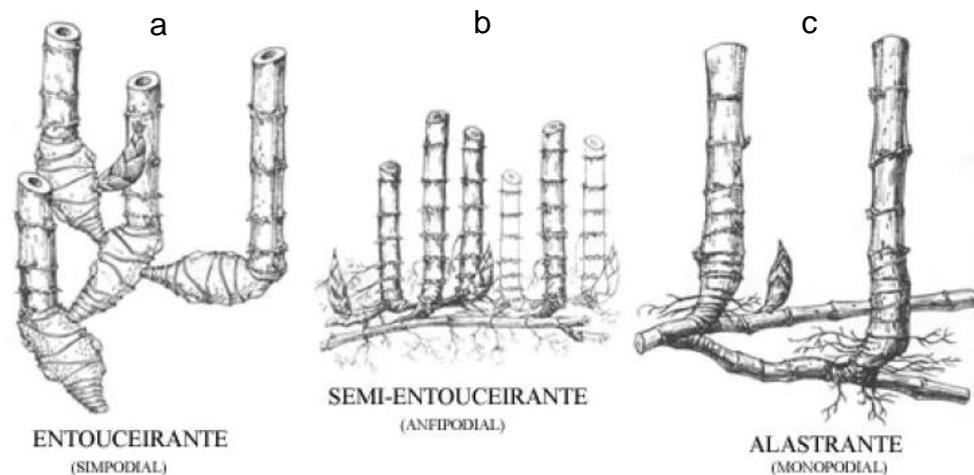
O rizoma exerce um papel fundamental no desenvolvimento do bambu, não só agindo como armazenador de nutrientes para posterior distribuição, mas também como um órgão responsável pela propagação do bambu. O crescimento dos novos colmos é totalmente dependente da nutrição fornecida pelo rizoma e pelos colmos mais velhos. O nascimento de novos colmos, anualmente, se efetua assexuadamente por ramificações destes rizomas (PEREIRA e BERALDO, 2008).

O sistema de perfilho do rizoma é classificado por Pereira e Beraldo (2008) da seguinte forma:

Paquimorfo (ou tipo simpodial, “forma espessa”, cespitosa, agrupados ou entoucerantes) – abrange bambus de clima tropical, ver figura 4a. Os maiores representantes do gênero dos bambus entoucerantes são *Dendrocalamous* e *Bambusa*. O rizoma paquimorfo é curto e grosso, de forma curva, raramente esférica e com espessura máxima usualmente maior que a do colmo.

Metamorfo (ou tipo intermediário ou anfipodial), ver figura 4b – o termo metamorfo é usado para esse tipo de bambu porque ele não se adapta nem ao leptomorfo e nem ao paquimorfo, sendo a transformação de um em outro.

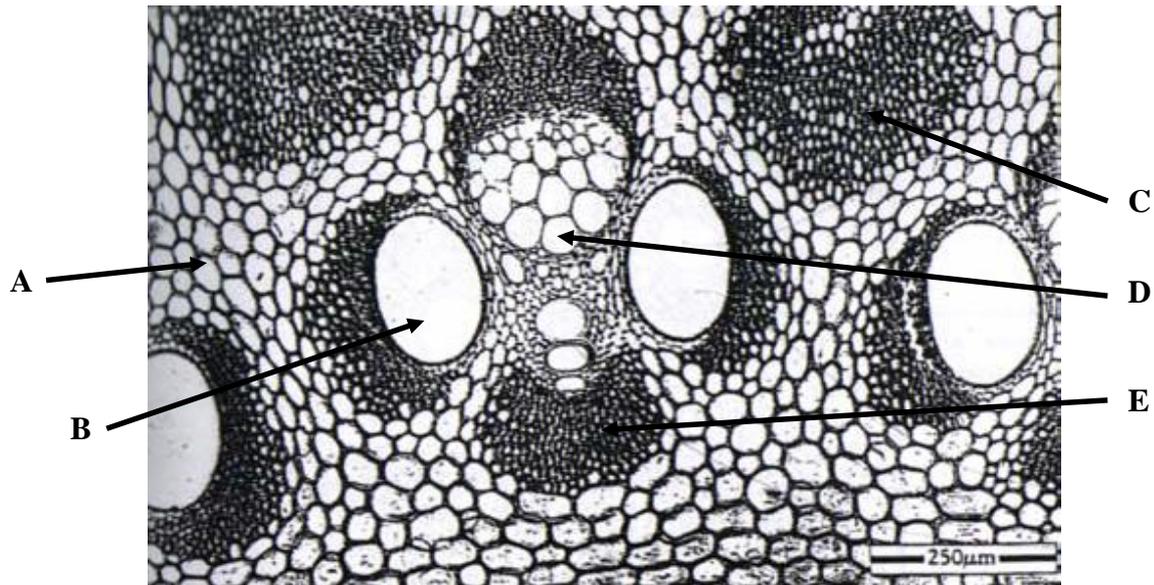
Leptomorfo (tipo monopodial, “forma fina”, colmos individualizados ou traçantes) – abrange bambus de clima temperado, ver figura 4c. Os maiores representantes do gênero do bambu leptomorfo são *Sasa* e *Phyllostachys*. O rizoma leptomorfo apresenta usualmente diâmetro menor do que o do colmo correspondente; sua forma cilíndrica ou semicilíndrica, sendo a seção interrompida, nos nós, por um diafragma. Os brotos laterais dos rizomas leptomorfos, cuja germinação produz colmos a uma distancia específica, formam um único colmo.



**Figura 4.** Diferentes tipos rizoma (NMBA, 2004).

Notas: a – rizoma paquimorfo;  
 b – rizoma metamorfo;  
 c – rizoma leptomorfo.

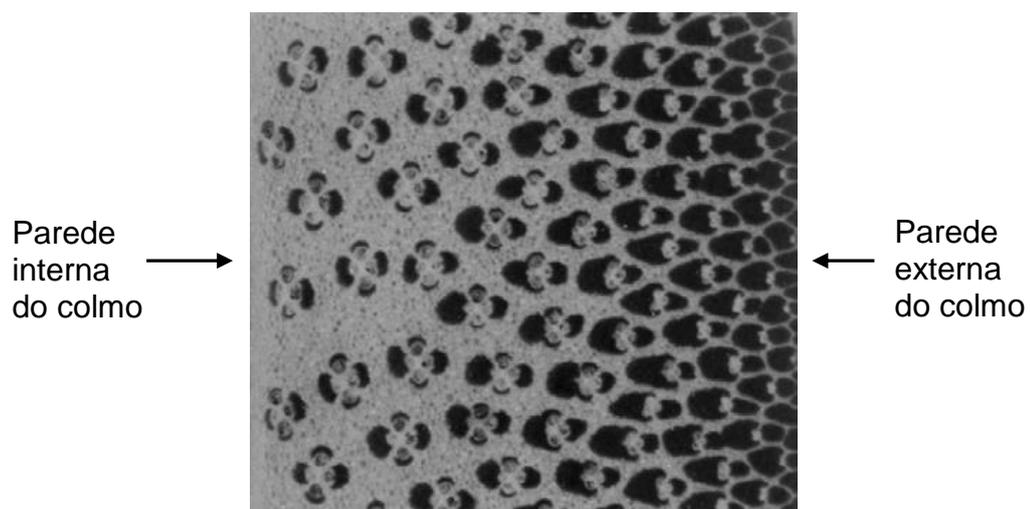
Sob plano anatômico, os bambus são muito diferentes das madeiras, podendo ser destacado, principalmente, a ausência dos raios lenhosos. A proporção, o arranjo e as dimensões dos elementos anatômicos fundamentais (feixe de fibras, vasos e células de parênquima) são variáveis de acordo com a idade e posição no colmo (nó e internó), ver figura 5 (PEREIRA e BERARDO, 2008).



**Figura 5.** Arranjo dos feixes fibrovasculares no gênero *Phyllostachys* (LIESE, 1998).

Notas: A - Tecido parenquimatoso;  
 B - metaxilema (vasos);  
 C - Feixe de fibras (esclerênquima);  
 D - floema (seiva elaborada);  
 E - Protoxilema (seiva bruta).

A proporção média dos elementos anatômicos presentes no colmo de bambu é de cerca de 50% de parênquima, 40 % de fibras e 10% de vasos (Liese, 1987). Ghavami e Hombeck (1981) citado por Pereira e Beraldo (2008) observaram que a concentração média de fibras na parede interna é de 15% a 30%, enquanto que na parede externa esses valores se situa entre 40% e 70%.



**Figura 6.** Variação nas distribuição das fibras em uma seção transversal de um colmo de *Phyllostachys aurea* (CRUZ, 2002).

O tecido básico ou fundamental do bambu é denominado parênquima e representa de 40% a 60% da composição do colmo. Esse tecido, embora envolva fibras e vasos, não é distribuído igualmente, ou seja, 60% se encontram na parte basal e 40% na parte apical. Também é maior sua proporção na camada interna, e sua função é de estocar nutrientes e água. A umidade contida no parênquima decresce gradualmente, à medida que o colmo envelhece (PEREIRA e BERALDO, 2008).

Nos internódios, os elementos anatômicos estão dispostos na direção longitudinal. A interconexão transversal nos colmos verifica-se nos nós, por meio de uma intensa ramificação de elementos de vasos. Na direção transversal, os feixes fibrovasculares concentram-se mais na parte externa da parede dos colmos, contrastando com a parte interna, onde predomina o tecido parenquimatoso. A fração lignocelulósica ou fibrosa dos colmos proveniente, basicamente, dos feixes fibrovasculares. O tecido fundamental ou parenquimatoso é formado por células alongadas dispostas axialmente e intercaladas por células prismáticas mais curtas. As células alongadas possuem paredes mais espessas e lignificam-se com o desenvolvimento dos colmos. As células mais curtas, ao contrário das longas, possuem paredes celulares mais delgadas e não se lignificam mesmo em colmos adultos. Na direção axial, o tecido parenquimatoso decresce da base para a extremidade dos colmos (BERALDO e FREIRE, 2003).

As fibras celulósicas ou esclerenquimatosas, que são constituintes básicos dos feixes fibrovasculares, são consideradas longas, estreitas e relativamente rígidas, em decorrência de suas espessas paredes celulares. As dimensões das fibras celulósicas de bambu apresentam variações em função da espécie. As fibras de bambu com comprimento médio variando de 1,65 mm a 3,43 mm ocupam uma posição intermediária entre as fibras do eucalipto (1 mm) e do pínus (3-4 mm) (BERALDO e FREIRE, 2003).

## 2.4 Propriedades mecânicas

Segundo Liese (1998), Janssen (2000), Hidalgo Lopez (2003) e Pereira e Beraldo (2008) o bambu apresenta excelentes propriedades mecânicas, as quais são influenciadas pelo teor de umidade do colmo. Essas propriedades se relacionam

com a idade e com a densidade do colmo, mas dependem principalmente do teor de fibras, que é o principal elemento responsável por sua resistência. Na condição seca a resistência é superior em relação a apresentada na condição verde, sendo conceito geral que os bambus estão maduros com cerca de três anos, quando alcançam sua máxima resistência.

De acordo com Liese (1998), a variação nas propriedades de resistência do colmo é muito maior na direção transversal do que na longitudinal. A densidade nos nós é mais elevada do que aquela observada nos internós devido à menor ocorrência de células parenquimatosas, porém, sua resistência à tração, flexão, compressão e cisalhamento são menores. Devido à descontinuidade da seção e ao desvio dos feixes de fibra, nos nós observa-se uma redução em todas as propriedades de resistência do colmo.

Sekhar e Bhartari citado por Liese (1985) comentaram que com a diminuição da espessura da parede do colmo, da base em direção ao topo, ocorre um aumento na resistência mecânica, especialmente nas paredes internas, enquanto nas paredes externas esta característica muda muito levemente.

Em relação às propriedades estruturais do bambu, Janssem (2000) comentou que se forem considerar as relações resistência/massa específica e rigidez/massa específica, tais valores superam as madeiras e concreto, podendo ser tais relações comparáveis, inclusive, ao aço.

As características mecânicas do bambu são influenciadas principalmente pelos seguintes fatores: espécie, idade, tipo de solo, condições climáticas, época de colheita, teor de umidade das amostras, localização destas com respeito ao comprimento do colmo, presença ou ausência de nós nas amostras testadas e o tipo de teste realizado (PEREIRA e BERALDO, 2008).

A maior dificuldade no estudo das características mecânicas do bambu refere-se à sua forma geométrica peculiar, que nem sempre permite que se possa adotar diretamente as normas utilizadas no ensaio de madeira. Os colmos de bambus apresentam, geralmente, uma conicidade importante, que impede a obtenção de corpos de prova homogêneos escolhidos de um mesmo colmo, podendo, também, desempenhar um papel importante nos resultados dos ensaios (PEREIRA e BERALDO, 2008).

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Coleta do material e critério de seleção

O material utilizado para a realização do trabalho proposto foi coletado em duas localidades distintas. A colheita das duas espécies de bambu ocorreu entre os dias 11 e 21 de Janeiro de 2016, abrangendo as fases da lua nova e crescente.

A primeira espécie coletada, o povoamento do bambu *Phyllostachys aurea*, se localiza na coordenada 22°45'09,30" S e 43°41'28,01" O, no município de Seropédica, Rio de Janeiro. O povoamento de bambu ocorre num fragmento de floresta ombrófila densa, a uma elevação de 48 m do nível do mar. Possui clima Aw, de acordo com a classificação de Köppen, com estação chuvosa no verão e seca no inverno, possuindo temperatura média máxima de 29,1 °C, em fevereiro, temperatura média mínima de 20,1 °C em julho. A pluviosidade média anual é de 1.238,5 mm, ocorrendo com abundantes chuvas em fevereiro e escassas em julho.

O local de coleta da segunda espécie, as touceiras do bambu *Bambusa tuldoides*, se localiza na coordenada 22°43'57,2" S e 43°50'54,3" O, em Cacaria, distrito de Piraí, Rio de Janeiro. As touceiras ocorrem na propriedade da empresa Grupo Monumento, em um fragmento de floresta ombrófila densa, a uma elevação de 125 m do nível do mar. Possui clima Aw, de acordo com a classificação de Köppen, com temperatura média máxima de 28,0 °C, em fevereiro, temperatura média mínima de 25,4 °C em julho. A pluviosidade média anual é de 1.300,0 mm, ocorrendo com abundantes chuvas em fevereiro e escassas em julho.

O procedimento utilizado para a coleta do bambu se deu pela avaliação da fitossanidade dos colmos e distinção de maturidade, através de caracteres morfológicos. Os colmos foram classificados em três estágios de maturidade: Imaturo (I), Intermediário (S) e Maduro (M).

Os critérios utilizados na distinção da maturidade fisiológica dos colmos foram descritos por Pereira e Beraldo (2008), sendo os colmos imaturos (até um ano) os que possuem poucas folhas e ramos; apresentam uma cor mais esverdeada, possuem folhas caulinares (brácteas) cobrindo os nós, sendo que os internós estão cobertos por uma pelagem cerosa que se desprende ao se tocar. Estes colmos imaturos localizam-se, geralmente, na parte mais externa da touceira (figura 7). Colmos intermediários (entre um e dois anos) possuem folhas, ramos e

ramificações; apresentam coloração um pouco amarelada e podem ainda reter algumas brácteas que estão mais secas e escuras. Estes colmos localizam-se no interior de uma touceira (figura 8). Colmos maduros, com idade superior a três anos, não apresentam mais brácteas aderidas, e neles, geralmente, se notam manchas provocadas por fungos, musgos e líquens nos internós (figura 9).



**Figura 7.** Colmos de bambu no estágio fisiológico imaturo das espécies *Phyllostachys aurea* (A) e *Bambusa tuldoidea* (B) (Fonte: o autor, 2016).



**Figura 8.** Colmos de bambu no estágio fisiológico intermediário das espécies *Phyllostachys aurea* (C) e *Bambusa tuldoides* (D) (Fonte: o autor, 2016).



**Figura 9.** Colmos de bambu no estágio fisiológico maduro das espécies *Phyllostachys aurea* (E) e *Bambusa tuldoides* (F) (Fonte: o autor, 2016).

Foram colhidos cinco colmos em cada estágio de maturidade das duas espécies e mensurada sua altura total. Após, os colmos foram divididos em quatro partes: basal, mediana, superior e ponta. As secções basal e mediana apresentaram altura variando entre 1,30 m a 3,30 m, dependendo da altura total de cada colmo. As secções superior e ponta foram descartadas.

As amostras colhidas foram transportadas para o Laboratório de Propriedades Físicas e Mecânicas, no Departamento de Produtos Florestais, Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. No referido Laboratório, as amostras foram climatizadas em um ambiente com temperatura de 20°C e umidade relativa de 65%.

### 3.2 Preparo da amostra

Os corpos de prova utilizados nos ensaios mecânicos de flexão estática, compressão paralela às fibras e cisalhamento foram confeccionados de acordo com as normas ISO 22157-1 e ISO 22157-2 de 2004, e devem ser livres de qualquer defeito.

Diferente da recomendação, no ensaio de flexão estática, da norma ISO 22157-2 (2204), no que diz respeito ao vão mínimo entre os apoios do corpo-de-prova, há uma restrição na máquina de ensaios utilizada, por dispor de um vão máximo de 1,30 m. Assim, adotou-se que o vão mínimo seria estipulado por 21 vezes o diâmetro externo central do colmo. Considerando que algumas amostras de *Bambusa tuldoides* abrangem medidas de diâmetro externo central da ordem de 50 mm.

No ensaio de compressão paralela às fibras, os corpos de prova não devem possuir nós, e seu comprimento tem de ser igual à medida do diâmetro externo. No entanto, se as amostras possuírem diâmetro igual ou menor que 20 mm, seu comprimento deve ser duas vezes o diâmetro externo.

No ensaio de cisalhamento paralelo às fibras, devem ser confeccionados 50% dos corpos de prova com nó e 50% sem nó. O comprimento das amostras deve ser igual ao seu diâmetro externo.

Em ambos os ensaios, cisalhamento e compressão paralela às fibras, as extremidades dos corpos de prova devem possuir ângulo reto em relação à amostra. As extremidades devem ser planas, com um desvio máximo de 0,2 mm.

As ferramentas utilizadas para a confecção e adequação dos corpos de prova foram: arco de serra, micro retífica, lixadeira orbital, lixa com grão 60 para madeira e lixa com grão 50 para metal.

### 3.3 Teor de umidade

Após a climatização dos colmos, os corpos de prova foram confeccionados e estocados na câmara climatizadora. Anterior aos ensaios, as amostras tiveram seus pesos tomados, e posteriormente colocadas em estufa até atingir 0% de umidade, na temperatura de 105 °C +/- 3 °C. As amostras foram pesadas em balança com precisão de duas casas decimais. Foi determinado o teor de umidade pela seguinte fórmula:

$$T_u = \frac{P_u - P_{se}}{P_{se}} \times 100 \quad (1)$$

Onde:

$T_u$  é teor de umidade, expresso em percentagem.

$P_u$  é o peso seco ao ar, expresso em g

$P_{se}$  é o peso seco em estufa 103 °C +/- 2 °C, expresso em g

No ensaio de flexão estática, após o termino do teste, foi retirada uma secção transversal dos corpos de prova para determinação da umidade.

### 3.4 Densidade aparente

Para a determinação da densidade aparente das amostras de bambu, foi calculado o volume ( $V$ ), em  $\text{cm}^3$ , dos corpos de prova a partir das medidas de diâmetro externo médio, diâmetro interno médio e comprimento. E tomou-se a medida de peso das amostras secas ao ar (gramas). A densidade aparente foi obtida através da seguinte equação:

$$D_a = \frac{m}{V} \quad (2)$$

Onde:

$D_a$  é a densidade aparente, expresso em  $\text{g/cm}^3$

$m$  é a massa seca ao ar, expresso em g

$V$  é volume, expresso em  $\text{cm}^3$

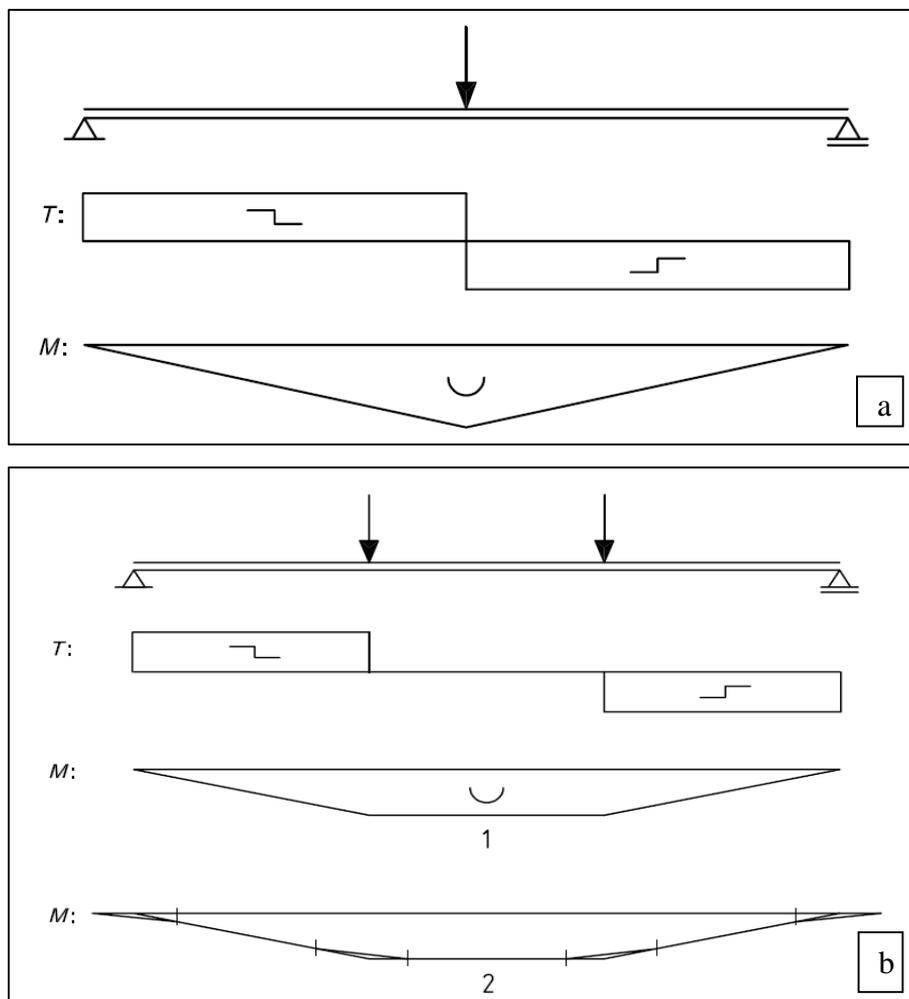
### 3.5 Ensaio mecânicos

#### 3.5.1 Flexão estática

Foi determinado neste ensaio a capacidade de flexão, o módulo de elasticidade e a curva de carga em relação à deflexão vertical em duas espécies de bambu.

O ensaio de flexão estática se deu através de dois testes, o de flexão em três pontos e de flexão em quatro pontos na espécie *Bambusa tuldoides*. Na espécie *Phyllostachys aurea*, somente o teste de flexão em três pontos foi realizado.

Observa-se na figura 10a, no ensaio em três pontos, a presença de força cortante, gerando tensão de cisalhamento. Na Figura 10b, no ensaio em quatro pontos, observa-se a ausência de força cortante entre os pontos de aplicação de carga.



**Figura 10.** Diagrama do momento de flexão e força de cisalhamento nos testes de flexão de três pontos (a) e quatro pontos (b) (ISO 22157-2, 2004).

Notas: T: Força transversal;  
M: Momento de flexão;  
1: Sem repouso;  
2: Com repouso.

Para o ensaio, foi utilizada a máquina de ensaio Universal da marca Contenco, com capacidade de 30 toneladas. O corpo de prova fora posicionado na máquina, repousado sobre dois suportes cônicos de madeira. Estes suportes são móveis, sendo possível modificar, com facilidade, o vão pré definido de cada amostra.

Em seguida, um suporte côncavo de madeira que está colado à cabeça mecânica móvel, exerceu um pré carregamento no corpo de prova, fixando-o para o início do ensaio. Durante o ensaio, a cabeça mecânica móvel exerceu, no ponto central do colmo, uma taxa constante de carregamento de 0,05 mm/s.

Os suportes côncavos de madeira, o colmo e a cabeça mecânica de carregamento móvel devem estar alinhados visualmente em um plano vertical.

Após o ensaio, tomaram-se as medidas do diâmetro externo e a espessura em quatro pontos da amostra, próximo ao ponto de ruptura para determinar a inércia, através da seguinte fórmula:

$$I = \frac{\pi}{64} \times (D^4 - d^4) \quad (3)$$

Onde,

I é a inércia, expressa em  $\text{cm}^4$

D é o diâmetro externo, expresso em cm

d é o diâmetro interno, expresso em cm

Para determinar a tensão máxima na flexão ( $f_M$ ) a três pontos utilizou-se a seguinte equação:

$$f_M = \frac{F \times L}{I} \times \frac{D}{2} \quad (4)$$

Onde,

$f_M$  é a tensão máxima na flexão a três pontos, expresso em  $\text{kgf/cm}^2$

F é a carga máxima, expresso em kgf

L é o vão mínimo entre os apoios do colmo, expresso em cm

I é a inércia, expressa em  $\text{cm}^4$

D é o diâmetro externo, expresso em cm

Na sequência, plotou-se o gráfico de carga - deflexão e calculou-se o módulo de elasticidade nominal (EM) das amostras. Foi utilizada a seguinte fórmula no teste a três pontos:

$$E_M = \frac{(F_2 - F_1) \times L^3}{(\delta_2 - \delta_1) \times 48 \times I} \quad (5)$$

Onde,

$E_M$  é o módulo de elasticidade, expresso em  $\text{kgf}/\text{cm}^2$

$F_1$  é a carga aplicada igual a 10% da carga de ruptura, expresso em kgf

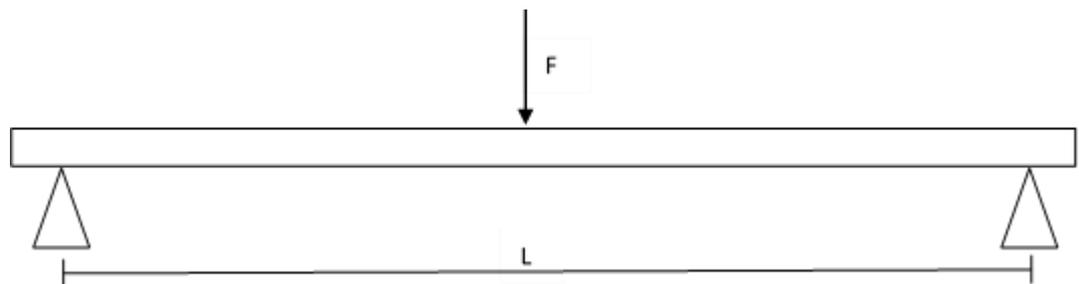
$F_2$  é a carga aplicada igual a 50% da carga de ruptura, expresso em kgf

$\delta_1$  é a deflexão referente ao primeiro carregamento, expresso em cm

$\delta_2$  é a deflexão referente ao segundo carregamento, expresso em cm

I é a inércia, expressa em  $\text{cm}^4$

L é o vão mínimo entre os apoios do colmo, expresso em cm



**Figura 11.** Desenho esquemático do ensaio de flexão estática a três pontos.

Notas: F é a carga aplicada;

L é o vão mínimo entre os apoios do colmo.

No ensaio de flexão estática a quatro pontos, foi aplicada a seguinte equação para calcular a tensão máxima na flexão ( $f_M$ ):

$$f_M = \frac{F \times L}{I} \times \frac{D}{2} \quad (5)$$

Onde,

$f_M$  é a tensão máxima na flexão a quatro pontos, expresso em kgf/cm<sup>2</sup>

F é a carga máxima, expressa em kgf

L é o vão mínimo entre os apoios do colmo, expresso em cm

I é a inércia, expressa em cm<sup>4</sup>

D é o diâmetro, expresso em cm

$$E_M = \frac{a \times (F_2 - F_1)}{24 \times I \times (\delta_2 - \delta_1)} \times (3 \times L^2 - 4 \times a^2) \quad (6)$$

Onde,

$E_M$  é o módulo de elasticidade, expresso em kgf/cm<sup>2</sup>

$F_1$  é a carga aplicada igual a 10% da carga de ruptura, expressa em kgf

$F_2$  é a carga aplicada igual a 50% da carga de ruptura, expressa em kgf

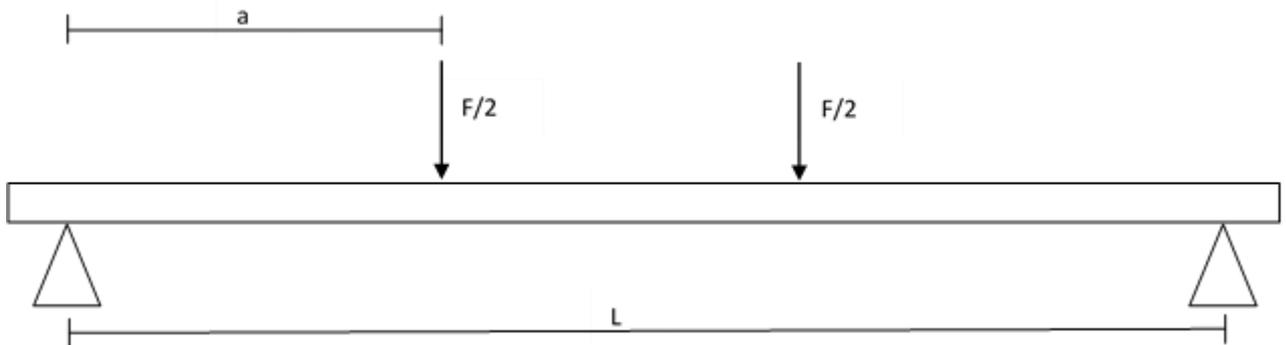
$\delta_1$  é a deflexão referente a 10% da carga de ruptura, expressa em cm

$\delta_2$  é a deflexão referente a 50% da carga de ruptura, expressa em cm

I é a inércia, expressa em cm<sup>4</sup>

a é a distancia do ponto de apoio até o ponto de aplicação de carga, expressa em cm

L é o vão mínimo ou ainda, distância entre os apoios do colmo, expresso em cm



**Figura 12.** Desenho esquemático do ensaio de flexão a quatro pontos.

Notas: F é a carga aplicada;

L é o vão mínimo entre os apoios do colmo;

a é a distância entre o ponto de apoio até o ponto de aplicação de carga.

O procedimento relatado na norma foi adaptado para o teste de flexão a três pontos, aplicado nas espécies *Phyllostachys aurea* e *Bambusa tuldoides*.



**Figura 13.** Ensaio de flexão estática a três pontos em um colmo de *Phyllostachys aurea* (Fonte: o autor, 2016).



**Figura 14.** Ensaio de flexão estática a três pontos em um colmo de *Bambusa tuldooides* (Fonte: o autor, 2016).

No teste de flexão de quatro pontos, o suporte côncavo com dois apoios utilizado foi confeccionado com madeira. A cabeça mecânica móvel é colada no ponto central do suporte, que por sua vez aloca-se de forma equidistante no colmo de bambu. Este ensaio foi realizado somente na espécie *Bambusa tuldooides*.



**Figura 15.** Ensaio de flexão estática a quatro pontos em um colmo de *Bambusa tuldoides* (Fonte: o autor, 2016).

### 3.5.2 Compressão paralela às fibras

No ensaio de compressão paralela das duas espécies de bambu, *Phyllostachys aurea* e *Bambusa tuldoides*, determinou-se: a tensão de compressão final e o módulo de elasticidade nominal.

O procedimento do ensaio se resume em colocar a amostra no centro do prato de repouso, posicionado na linha central do eixo vertical da cabeça mecânica móvel. Foi necessário apoiar o corpo de prova em dois suportes metálicos sólidos centralizados no prato de apoio, com o objetivo de aumentar a distância entre o prato de apoio e cabeça mecânica móvel, e instalar o extensômetro. Deve-se aplicar uma pré carga para fixar a amostra antes do ensaio.

A cabeça mecânica móvel deve possuir uma velocidade constante de carregamento de 0,01 mm/s. Após o rompimento da amostra, registrar sua carga máxima.

A tensão máxima na compressão deve ser determinada pela seguinte fórmula:

$$f_c = \frac{F}{A} \quad (6)$$

Onde,

$f_c$  é a tensão máxima na compressão paralela, expressa em kgf/cm<sup>2</sup>

F é a carga máxima, expressa em kgf

A é a área da amostra, expressa em cm<sup>2</sup>

Na determinação do módulo de elasticidade, inicialmente foi necessário calcular o epsolon ( $\epsilon$ ), denominado também de deformação unitária ou específica. Os valores de epsolon são calculados dividindo as deformações ocorridas, pelo comprimento original da amostra, então:

$$\epsilon = \frac{\delta}{L} \times 10 \quad (7)$$

Onde,

$\epsilon$  é deformação específica – mm/mm

$\delta$  é a deformação da amostra, expressa em mm

L é o comprimento original da amostra antes do ensaio, expresso em mm

A partir dos resultados, foi possível determinar o módulo de elasticidade ( $E_c$ ), pela seguinte expressão:

$$E_c = \frac{\left(\frac{F_2 - F_1}{A}\right)}{(\epsilon_2 - \epsilon_1)} \quad (8)$$

Onde,

$E_c$  é o módulo de elasticidade, expresso em kgf/cm<sup>2</sup>

$F_1$  é a carga aplicada igual a 10% da carga de ruptura, expressa em kgf

$F_2$  é a carga aplicada igual a 50% da carga de ruptura, expressa em kgf

$\varepsilon_1$  é a deformação específica da amostra referente a 10% da carga de ruptura, expressa em mm/mm

$\varepsilon_2$  é a deformação específica da amostra referente a 50% da carga de ruptura, expressa em mm/mm

A é a área da amostra, expressa em  $\text{cm}^2$



**Figura 146.** Ensaio de compressão paralela em um corpo de prova da espécie *Phyllostachys aurea* (Fonte: o autor, 2016).



**Figura 17.** Ensaio de compressão paralela em um corpo de prova da espécie *Bambusa tuldooides* (Fonte: o autor, 2016).

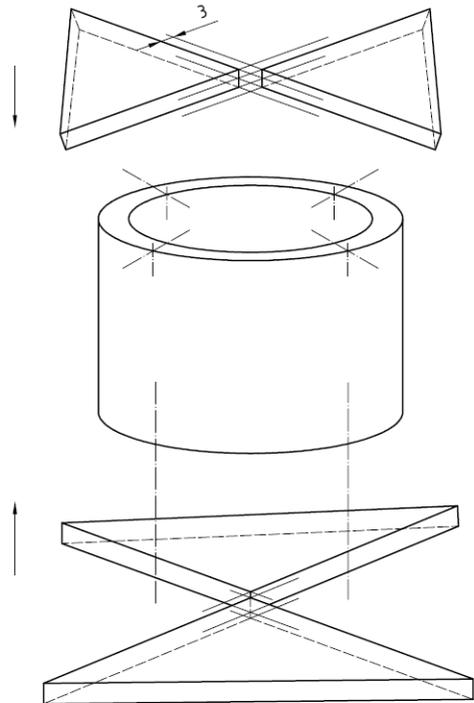
### 3.5.3 Cisalhamento

O ensaio determinou a tensão máxima ao cisalhamento das duas espécies de bambu, *Phyllostachys aurea* e *Bambusa tuldooides*. Este teste foi realizado paralelo às fibras.

No ensaio foi aplicado a uma taxa de carregamento constante, pela cabeça mecânica móvel, de 0,01 mm/s.

Foi utilizado um suporte, que é confeccionado para simular a ação cisalhante em uma amostra. O suporte possui o formato de “X”, em que a base confere dois pontos de apoio comportando 2/4 da amostra e a parte superior apoia os demais 2/4 da amostra, em planos alternados, e é confeccionado a partir de uma peça espessa de madeira. Uma lâmina de metal é instalada nas faces de apoio, conferindo maior aderência na amostra no momento do ensaio. Conforme a Figura

18, que apresenta o resumo esquemático do suporte para o ensaio de cisalhamento (ISO 22157-1, 2004).



**Figura 158.** Desenho esquemático do suporte utilizado no ensaio de cisalhamento paralelo às fibras (ISO 22157-2, 2004).

A resistência máxima ao cisalhamento foi calculada pela seguinte equação:

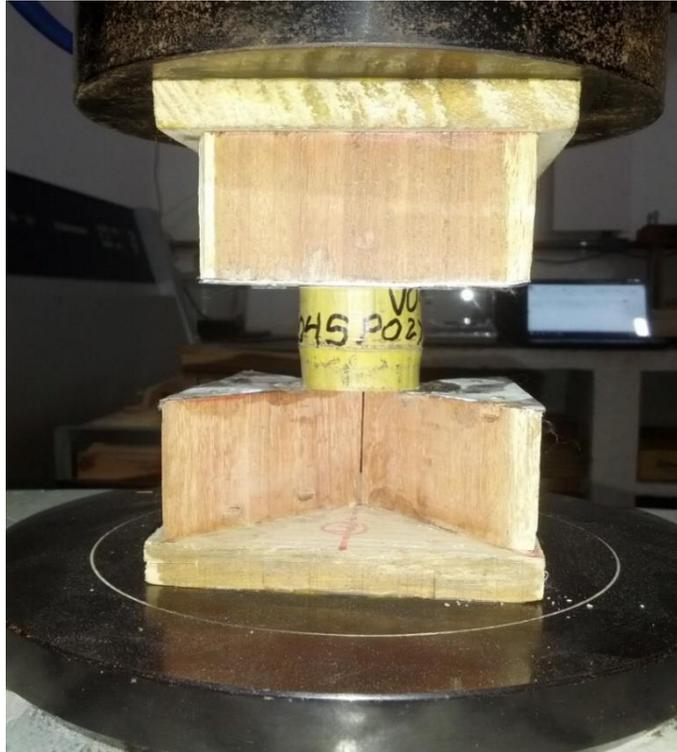
$$f_v = \frac{F}{(t \times L) \times 4} \quad (9)$$

Onde,

$f_v$  é a tensão máxima de cisalhamento, expressa em  $\text{kgf/cm}^2$ ;

$t$  é a espessura da parede do corpo de prova, expressa em  $\text{cm}$ ;

$L$  é o comprimento original da amostra antes do ensaio, expresso em  $\text{cm}$ .



**Figura 19.** Ensaio de cisalhamento paralelo às fibras em um corpo de prova da espécie *Phyllostachys aurea* (Fonte: o autor, 2016).



**Figura 160.** Ensaio de cisalhamento paralelo às fibras em um corpo de prova da espécie *Bambusa tuldooides* (Fonte: o autor, 2016).

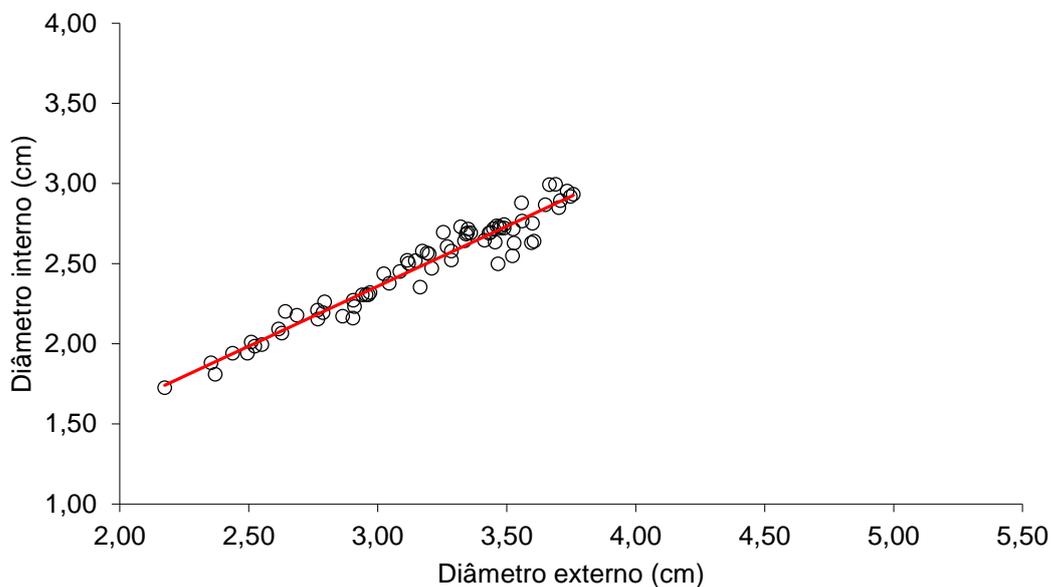
## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Propriedades físicas

#### 4.1.1 Mensuração do diâmetro e espessura

Para a espécie *Phyllostachys aurea* o valor médio do diâmetro externo dos colmos mensurados foi de 3,17 cm, atingindo um valor mínimo de 2,17 cm e um valor máximo de 3,76 cm. Já o diâmetro interno apresentou um valor médio de 2,49 cm, com valor mínimo de 1,73 cm e valor máximo de 2,99 cm. O gráfico da figura 21 apresenta a relação entre o diâmetro externo e interno da espécie *Phyllostachys aurea*.

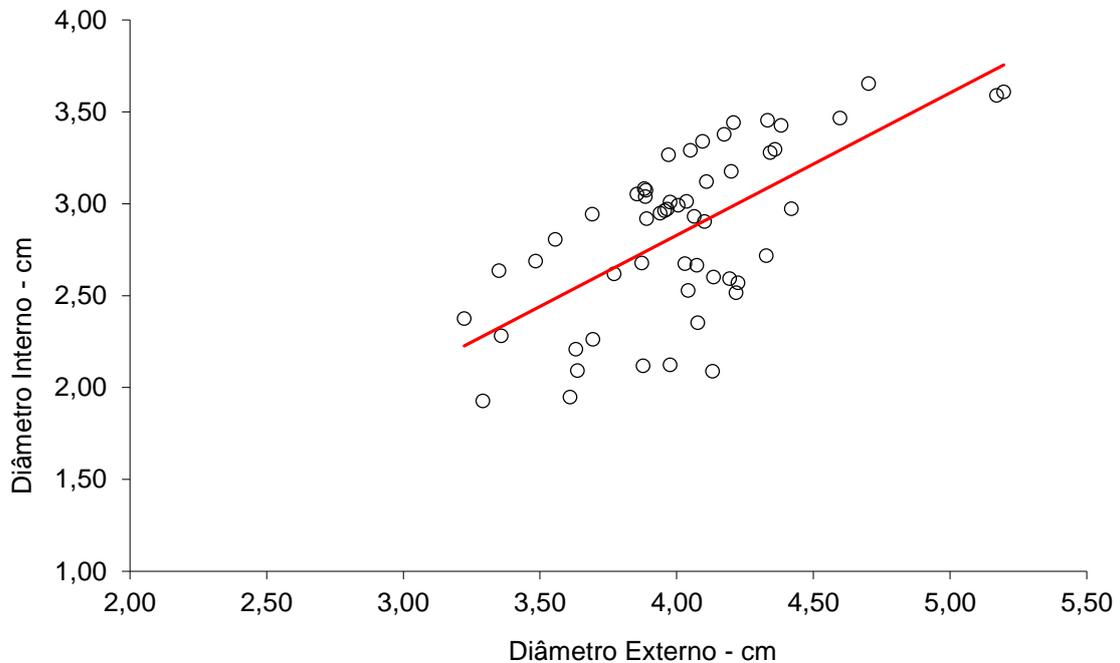
A espessura das amostras de *Phyllostachys aurea*, é apresentada nos estágios de maturidade imaturo, intermediário e maduro, com os valores médios de 3,07 mm, 3,36 mm e 3,66 mm respectivamente.



**Figura 171.** Relação entre de diâmetro externo e interno da espécie *Phyllostachys aurea*.

Já a espécie *Bambusa tuldoides* apresentou diâmetros e espessura superior que a espécie anterior, com média de diâmetro externo de 4,00 cm, e valor mínimo de 3,00 cm e máximo de 5,19 cm. O diâmetro interno apresentou valor médio de 2,75 cm, atingindo um valor mínimo de 1,22 cm e máximo de 3,71 cm. O gráfico da figura 22 demonstra a relação entre o diâmetro externo e interno das amostras de *Bambusa tuldoides*.

Os valores médios da espessura da parede do colmo para a espécie *Bambusa tuldoides*, nos estágios de maturidade foram 5,56 mm para imaturo, 6,03 mm para intermediário e 6,29 mm para maduro.



**Figura 182:** Relação entre de diâmetro externo e interno da espécie *Bambusa tuldoides*.

Dentre as duas espécies de bambu, a *Bambusa tuldoides* foi a que apresentou menor linearidade na relação entre os diâmetros interno e externo.

Constatou-se também que os diâmetros externo e interno da espécie *Bambusa tuldoides* atingiram maiores valores que da espécie *Phyllostachys aurea*.

Para ambas as espécies de bambu ocorreu um aumento da espessura da parede do colmo com o amadurecimento.

#### 4.1.2 Densidade aparente

Os valores de densidade aparente nas espécies *Bambusa tuldoides* e *Phyllostachys aurea*, nos três estágios de maturidade são expostos na Tabela 1. Nota-se o aumento da densidade aparente com o amadurecimento do colmo para ambas espécies. A espécie *B. tuldoides* apresentou valores superiores em comparação com a espécie *P. aurea*.

**Tabela 1:** Valores médios da densidade aparente de duas espécies de bambu nos diferentes estágios de maturidade.

Espécie	Variável	Estágio de maturidade		
		Imaturo	Intermediário	Maduro
<i>Phyllostachys aurea</i>	$D_a$ (g/cm <sup>3</sup> )	0,592	0,641	0,662
<i>Bambusa tuldoides</i>	$D_a$ (g/cm <sup>3</sup> )	0,743	0,796	0,857

Nota:  $D_a$  é a densidade aparente.

A espécie *Bambusa tuldoides* obteve valores máximo de 0,952 g/cm<sup>3</sup>, mínimo de 0,656 g/cm<sup>3</sup>, médio de 0,803 g/cm<sup>3</sup> de densidade aparente. Já a espécie *Phyllostachys aurea* obteve valores máximo de 0,867 g/cm<sup>3</sup>, mínimo de 0,496 g/cm<sup>3</sup>, e médio de 0,631 g/cm<sup>3</sup> de densidade aparente.

## 4.2 Propriedades mecânicas

### 4.2.1 Flexão estática a três pontos

Os resultados do ensaio de flexão a três pontos e físicas, das espécies *Phyllostachys aurea* e *Bambusa tuldoides*, são apresentados na Tabela 1. A resistência a flexão, o módulo de elasticidade e o teor de umidade são apresentados nos três estágio de maturidade dos colmos de bambu.

**Tabela 2.** Valores médios do ensaio de flexão a três pontos e teor de umidade, nos três estágios de maturidade dos colmos, de duas espécies de bambu.

Espécies	Propriedades	Estágio de Maturidade		
		Imaturo	Intermediário	Maduro
<i>Bambusa tuldoides</i>	$f_M$ (MPa)	75,3	88,2	102,7
	$f_{M12\%}$ (MPa)	<b>77,6</b>	<b>91,4</b>	<b>105,3</b>
	$E_M$ (Gpa)	15,2	16,3	17,8
	$E_{M12\%}$ (Gpa)	<b>15,7</b>	<b>16,9</b>	<b>18,2</b>
	Tu(%)	11,2	11,4	12,2
<i>Phyllostachys aurea</i>	$f_M$ (MPa)	54,3	65,7	85,9
	$f_{M12\%}$ (MPa)	<b>52,2</b>	<b>64,5</b>	<b>85,6</b>
	$E_M$ (Gpa)	7,5	9,6	13,3
	$E_{M12\%}$ (Gpa)	<b>7,3</b>	<b>9,5</b>	<b>13,2</b>
	Tu(%)	10,7	11,3	11,9

Notas:  $f_M$  é a tensão máxima na flexão;

$f_{M12\%}$  é a tensão máxima na flexão com umidade corrigida a 12%;

$E_M$  é o módulo de elasticidade;

$E_{M12\%}$  é o módulo de com umidade corrigida a 12%; Tu é o teor de umidade.

Os valores médios de resistência à flexão na espécie *B. tuldooides* foram 75,3 MPa, 88,2 MPa e 102,7 MPa, respectivamente, no estágios de maturidade Imaturo, intermediário e maduro. Os valores médios do módulo de elasticidade nos colmos imaturos, intermediários e maduros apresentaram os valores de 15,2 GPa, 16,3 GPa e 17,8 GPa, respectivamente. Com a correção da umidade a 12% das amostras, os valores médios da tensão máxima na flexão e módulo de elasticidade para os três estágios de maturidade foram 77,6 MPa e 15,7 GPa para colmos imaturos, 91,4 MPa e 16,9 para colmos intermediários e 105,3 MPa e 18,2 GPa para colmos maduros, respectivamente.

Os valores médios de resistência à flexão e módulo de elasticidade da espécie *Phyllostachys aurea* foram, respectivamente, no estágios imaturo 54,3 MPa e 7,5 GPa, no estágio intermediário 65,7 MPa e 9,6 GPa e no estágio maduro 85,9 MPa e 13,3 GPa. Após a correção da umidade das amostras a 12%, os valores médios de flexão foram 52,2 MPa para bambus imaturos, 64,5 MPa para bambus intermediários e 85,6 MPa para bambus maduros. Na sequência os valores médios para módulo de elasticidade com a umidade corrigida apresentaram 7,3 GPa em colmos imaturos, 9,5 GPa para colmos intermediários e 13,2 GPa para colmos maduros.

**Tabela 3.** Resistência à flexão e módulo de elasticidade nas porções basal e mediana de colmos de bambu da espécie *Bambusa tuldooides*.

Porção do colmo	Tensão na flexão $f_M$ (MPa)			Módulo de Elasticidade $E_M$ (GPa)		
	$f_M$ (min)	$f_M$ (max)	$f_M$ (média)	$E_M$ (min)	$E_M$ (max)	$E_M$ (média)
Basal	87,0	117,2	98,1	16,3	18,0	17,0
Mediana	86,7	113,0	86,7	16,5	20,5	16,5

Notas:  $f_M$  é a tensão máxima na flexão;

$E_M$  é o módulo de elasticidade na flexão.

A espécie *Bambusa tuldooides* no ensaio de flexão apresentou valores mínimo de 87,0 MPa, máximo de 117,2 MPa e média de 98,1 MPa na porção basal do colmo. Já na secção mediana do colmo, apresentou-se os valores mínimo de 86,7 MPa, máximo de 113,0 MPa e média de 86,7 GPa.

Gonçalves et al; citados por Pereira (2001), apresentaram valor médio de resistência na flexão de 93 MPa nos estudos feitos em *Bambusa tuldooides*. Já

Culzoni (1986), ao estudar a resistência na flexão da mesma espécie, obteve valores variando entre 115 MPa a 84 MPa.

No módulo de elasticidade na flexão, as amostras de colmos basais apresentaram valores mínimo de 16 GPa, máximo de 18 GPa e média de 17 GPa. Para a porção mediana do colmo obtiveram valores mínimo de 16 GPa, máximo de 20 GPa e média de 16 GPa.

**Tabela 4.** Resistência à flexão e módulo de elasticidade nas porções basal e mediana de colmos de bambu da espécie *Phyllostachys aurea*.

Porção do colmo	Tensão na flexão $f_M$ (MPa)			Módulo de Elasticidade $E_M$ (GPa)		
	$f_M$ (min)	$f_M$ (max)	$f_M$ (médio)	$E_M$ (min)	$E_M$ (max)	$E_M$ (médio)
Basal	56,7	93,6	73,6	5,9	14,0	10,2
Mediana	42,4	89,3	65,6	7,1	17,4	10,4

Notas:  $f_M$  é a tensão máxima na flexão;

$E_M$  é o módulo de elasticidade na flexão.

A espécie *Phyllostachys aurea* obteve na seção basal do colmo valores de resistência a flexão mínimo de 56,7 MPa, máximo de 93,6 MPa e médio de 73,6 MPa. Já na seção mediana do colmo apresentou-se os valores mínimo de 42,4 MPa, máximo de 89,3 MPa e médio de 65,6 MPa.

Já o módulo de elasticidade na flexão na porção basal do colmo apresentou valores mínimo de 5,9 GPa, máximo de 14,0 GPa e médio de 10,2 GPa. Na seção mediana do colmo foram obtidos valores mínimo de 7,1 GPa, máximo de 17,4 GPa e médio de 10,4 GPa.

Oliveira (2012) ao estudar o módulo de elasticidade na flexão de *Phyllostachys aurea* obteve média de 67 GPa.

#### 4.2.2 Flexão estática a quatro pontos

Os resultados das propriedades mecânicas e físicas do ensaio de flexão a quatro pontos comparado com o ensaio a três pontos, da espécie *Bambusa tuldoides*, são apresentados na Tabela 5. A resistência à flexão, o módulo de elasticidade e o teor de umidade são apresentados nos três estágios de maturidade dos colmos de bambu.

**Tabela 5.** Valores médios do ensaio de flexão a três pontos e quatro pontos e das propriedades físicas e mecânicas, nos três estágios de maturidade dos colmos, da espécie *Bambusa tuldooides*.

Ensaio	Propriedades	Estágio de Maturidade		
		Imaturo	Intermediário	Maduro
3 pontos	$f_M$ (MPa)	75,3	88,2	102,7
	$f_{M12\%}$ (MPa)	<b>77,6</b>	<b>91,4</b>	<b>105,3</b>
	$E_M$ (Gpa)	15,2	16,3	17,8
	$E_{M12\%}$ (Gpa)	<b>15,7</b>	<b>16,9</b>	<b>18,2</b>
	Tu(%)	11,2	11,4	12,2
Ensaio	Propriedades	Estágio de Maturidade		
		Imaturo	Intermediário	Maduro
4 pontos	$f_M$ (MPa)	84,8	99,7	114,4
	$f_{M12\%}$ (MPa)	<b>87,1</b>	<b>100,0</b>	<b>117,5</b>
	$E_M$ (GPa)	21,0	23,1	24,9
	$E_{M12\%}$ (GPa)	<b>21,6</b>	<b>23,3</b>	<b>25,6</b>
	Tu(%)	12,9	12,2	12,7

Notas:  $f_M$  é a tensão máxima na flexão;  
 $f_{M12\%}$  é a tensão máxima na flexão com umidade corrigida a 12%;  
 $E_M$  é o módulo de elasticidade;  
 $E_{M12\%}$  é o módulo de com umidade corrigida a 12%;  
 Tu é o teor de umidade.

Tendo-se por base os ensaios à flexão, efetuados a três pontos, os valores médios de resistência à flexão, efetuados a quatro pontos, para colmos da espécie *B. tuldooides* nos três estágios de maturidade foram: 84,8 MPa para os colmos imaturos, 99,7 MPa para colmos intermediários e 114,4 MPa para colmos maduros. Os valores médios do módulo de elasticidade nos estágios de maturidade imaturo, intermediário e maduro foram, respectivamente, 21,0 GPa, 23,1 GPa e 24,9 GPa. Após a correção da umidade a 12% dos colmos, os resultados médios da tensão máxima na flexão e módulo de elasticidade foram 87,1 MPa e 21,6 GPa para imaturo, 100,0 MPa e 23,3 GPa para intermediário e 117,5 MPa e 25,6 GPa para maduro, respectivamente.

**Tabela 6.** Resistência à flexão e módulo de elasticidade nas porções basal e mediana de colmos de bambu da espécie *Bambusa tuldooides*.

Porção do colmo	Tensão na flexão $f_M$ (MPa)			Módulo de Elasticidade $E_M$ (GPa)		
	$f_M$ (min)	$f_M$ (max)	$f_M$ (médio)	$E_M$ (max)	$E_M$ (min)	$E_M$ (médio)
Basal	84,9	149,0	112,2	19,5	34,2	24,5
Mediana	58,6	121,7	90,8	16,0	25,9	22,1

Notas:  $f_M$  é a tensão máxima na flexão;

$E_M$  é o módulo de elasticidade na flexão.

No ensaio de flexão a quatro pontos para a espécie *Bambusa tuldooides*, obtiveram resistência mínima de 84,9 MPa, máxima de 149,0 MPa e média de 112,2 MPa na seção basal do colmo. A resistência à flexão para a porção mediana do colmo apresentaram os valores mínimos de 58,6 MPa, máximo de 121,7 MPa e médio de 90,8 MPa.

O módulo de elasticidade na flexão na seção basal do colmo obteve valores de 19,5 GPa, máximo de 34,2 GPa e médio de 24,5 GPa. Já na porção mediana do colmo os valores mínimo, máximo de médio foram 16,0 GPa, 25,9 GPa e 22,1 GPa, respectivamente.

Não foi encontrado na bibliografia dados comparativos para o ensaio de flexão a quatro pontos em *Bambusa tuldooides*.

#### 4.2.3 Compressão paralela às fibras

Os valores médios das propriedades mecânicas e físicas das espécies *Bambusa tuldooides* e *Phyllostachys aurea*, são expostos na Tabela 7. Os resultados são apresentados nos três estágios de maturidade dos colmos.

**Tabela 7.** Valores médios do ensaio de compressão e das propriedades físicas, nos três estágios de maturidade dos colmos, de duas espécies de bambu

Espécies	Propriedades	Estágio de Maturidade		
		Imaturo	Intermediário	Maduro
<i>Bambusa tuldooides</i>	$f_c$ (MPa)	62,4	66,0	79,1
	$f_{c12\%}$ (MPa)	<b>69,6</b>	<b>72,9</b>	<b>86,2</b>
	$E_c$ (GPa)	7,9	6,6	8,2
	$E_{c12\%}$ (GPa)	<b>8,8</b>	<b>7,3</b>	<b>9,0</b>
	Tu(%)	15,9	15,4	15,1
<i>Phyllostachys aurea</i>	$f_c$ (MPa)	38,9	48,2	60,0
	$f_{c12\%}$ (MPa)	<b>38,8</b>	<b>47,8</b>	<b>60,5</b>
	$E_c$ (GPa)	6,5	7,7	9,1
	$E_{c12\%}$ (GPa)	<b>6,5</b>	<b>7,7</b>	<b>9,2</b>
	Tu(%)	11,9	11,8	12,1

Notas:  $f_M$  é a tensão máxima na compressão;

$f_{c12\%}$  é a tensão máxima na compressão com umidade corrigida a 12%;

$E_c$  é o módulo de elasticidade;

$E_{c12\%}$  é o módulo de com umidade corrigida a 12%;

Tu é o teor de umidade.

Os valores médios de tensão na compressão para a espécie *Bambusa tuldooides*, nos três estágios de maturidade foram 62,4 MPa para colmos imaturos, 66,0 MPa pra colmos intermediários e 79,1 MPa para colmos maduros. Os valores médios do módulo de elasticidade nos estágios de maturidade imaturo, intermediário e maduro foram, respectivamente, 7,9 GPa, 6,6 GPa e 8,2 GPa. Com a correção da umidade a 12%, os valores médios de tensão na compressão e módulo de elasticidade tiveram um ligeiro acréscimo. Os mesmos são apresentados nos estágios de maturidade imaturo, intermediário e maduro, respectivamente, 69,6 MPa e 8,8 GPa, 72,9 MPa e 7,3 GPa, e 86,2 MPa e 9,0 GPa.

Os resultados médios de módulo de elasticidade no estágio imaturo se mostraram maiores que no estágio intermediário, não sendo conclusivo o motivo para tal comportamento.

No caso da espécie *Phyllostachys aurea* os valores médios de tensão máxima na compressão e módulo de elasticidade foram, respectivamente, 38,9 MPa e 6,5 GPa para colmos imaturos, 48,2 MPa e 7,7 GPa para colmos intermediários e 60,0 MPa e 9,1 GPa para colmos maduros. Após a correção da umidade a 12%, os resultados de tensão máxima na compressão e módulo de elasticidade, diferiram pouco dos originais, apresentando, respectivamente, 38,8 MPa e 6,5 GPa para o estágio imaturo, 47,8 MPa e 7,7 GPa para o estágio intermediário, e 60,5 MPa e 9,2 GPa para o estágio maduro.

**Tabela 8:** Resistência à compressão e módulo de elasticidade nas porções basal e mediana do colmo de bambu da espécie *Bambusa tuldooides*.

Porção do colmo	Tensão na compressão $f_c$ (MPa)			Módulo de Elasticidade $E_c$ (GPa)		
	$f_c$ (min)	$f_c$ (max)	$f_c$ (média)	$E_c$ (min)	$E_c$ (max)	$E_c$ (média)
Basal	45,1	102,3	68,9	4,0	15,0	7,0
Mediana	48,6	119,3	71,9	4,9	12,5	8,3

Notas:  $f_c$  é a tensão máxima na compressão;

$E_c$  é o módulo de elasticidade na compressão.

Os valores mínimo, máximo e médio de tensão máxima na compressão para a espécie *Bambusa tuldooides* foram de 45,1 MPa, 102,3 MPa, 68,9 MPa, respectivamente, nas amostras basais do colmo. A resistência na compressão para porção mediana do colmo obtiveram-se valores mínimo de 48,6 MPa, máximo de 119,3 MPa e média de 71,9 MPa.

Segundo Gonçalves *et al*; citados por Pereira (2001), nos estudos das propriedades mecânicas de *Bambusa tuldoides*, obteve 34 MPa de resistência a compressão. Já Nascimento (2002), obtiveram valores de resistência a compressão variando de 66 a 88 MPa. Oliveira (2012) ao realizar o mesmo ensaio, obteve 74 MPa.

O módulo de elasticidade na compressão da espécie *Bambusa tuldoides*, apresentou valores mínimo de 4,0 GPa, máximo de 15,0 GPa e média de 7,0 GPa na base do colmo. Os valores mínimo, máximo e médio da parte mediana do colmo são 4,9 GPa, 12,5 GPa e 8,3 GPa respectivamente.

Culzoni (1986) apresentou valores de módulo de elasticidade na compressão variando de 28 a 32 GPa. Já Cruz (2002) obteve valores médios de módulo de elasticidade na compressão variando de 21 GPa a 25 GPa.

**Tabela 9.** Resistência à compressão e módulo de elasticidade nas porções basal e mediana do colmo de bambu da espécie *Phyllostachys aurea*.

Porção do colmo	Tensão na compressão $f_c$ (MPa)			Módulo de Elasticidade $E_c$ (GPa)		
	$f_c$ (min)	$f_c$ (max)	$f_c$ (média)	$E_c$ (min)	$E_c$ (max)	$E_c$ (média)
Basal	34,4	62,8	48,3	3,4	9,8	6,8
Mediana	31,0	76,6	49,4	5,5	12,1	8,7

Notas:  $f_c$  é a tensão máxima na compressão;  
 $E_c$  é o módulo de elasticidade na compressão.

Os resultados de resistência à compressão na espécie *Phyllostachys aurea* tiveram valores mínimo de 34,4 MPa, máximo de 62,8 MPa e médio de 48,3 para a porção basal do colmo. Já na seção mediana do colmo apresentaram-se os valores mínimo 31,0 MPa, máximo de 76,6 MPa e médio de 49,4 MPa.

Cruz (2002), ao estudar a resistência à compressão em *P. aurea* obteve 69 MPa para a porção basal do colmo e 80 MPa para porção mediana do colmo. Já Xavier (2004) apresentou para o mesmo ensaio valores médios de resistência a compressão de 39 MPa para base do colmo e 56 MPa para o meio do colmo. Ainda, Oliveira (2012) obteve valor médio de resistência à compressão de 47 MPa.

No módulo de elasticidade na compressão, *Phyllostachys aurea*, apresentou valores mínimo de 3,4 GPa, máximo de 9,8 GPa e médio de 6,8 GPa, na porção basal do colmo. Na porção mediana do colmo os valores mínimo, máximo e médio foram 5,5 GPa, 12,1 GPa e 8,7 GPa, respectivamente.

Cruz (2002) apresenta valores de módulo de elasticidade na compressão de 21 GPa para seção basal do colmo e 25 GPa para seção mediana do colmo.

#### 4.2.4 Cisalhamento

Os valores médios das propriedades mecânicas e físicas das espécies *Bambusa tuldoides* e *Phyllostachys aurea*, são expostos na Tabela 10. Os resultados são apresentados nos três estágios de maturidade dos colmos.

**Tabela 10.** Valores médios do ensaio de cisalhamento e propriedades físicas, nos três estágios de maturidade dos colmos, de duas espécies de bambu.

Espécies	Amostra	Propriedades	Estágio de Maturidade		
			Imaturo	Intermediário	Maduro
<i>B. tuldoides</i>	Sem nó	$f_v$ (MPa)	11,7	12,3	15,0
		$f_{v12\%}$ (MPa)	<b>11,3</b>	<b>12,0</b>	<b>15,0</b>
		Tu(%)	10,9	11,1	11,7
	Com nó	$f_v$ (MPa)	13,0	12,9	13,8
		$f_{v12\%}$ (MPa)	<b>12,7</b>	<b>12,8</b>	<b>13,5</b>
		Tu(%)	11,3	11,7	11,1
<i>P. aurea</i>	Sem nó	$f_v$ (MPa)	7,6	10,8	11,2
		$f_{v12\%}$ (MPa)	<b>7,7</b>	<b>10,5</b>	<b>11,1</b>
		Tu(%)	12,2	11,0	11,6
	Com nó	$f_v$ (MPa)	8,1	10,0	13,2
		$f_{v12\%}$ (MPa)	<b>8,1</b>	<b>9,9</b>	<b>13,2</b>
		Tu(%)	12,1	11,8	12,0

Notas:  $f_v$  é a tensão máxima no cisalhamento;  
 $f_{v12\%}$  é a tensão máxima no cisalhamento com umidade corrigida a 12%;  
 $E_v$  é o módulo de elasticidade,  $E_{v12\%}$  é o módulo de com umidade corrigida a 12%;  
 Tu é o teor de umidade.

As amostras sem nó da espécie *Bambusa tuldoides* apresentaram valores médios de tensão no cisalhamento de 11,7 MPa para colmos imaturos, 12,3 MPa para colmos intermediários e 15,0 MPa para colmos maduros. Já as amostras com nó apresentaram valores médios de tensão máxima no cisalhamento de 13,0 MPa para imaturos, 12,9 MPa para intermediários e 13,8 MPa para maduros. Após a correção da umidade a 12%, os valores médios de tensão no cisalhamento para colmos imaturos foram de 11,3 MPa sem nó e 12,7 MPa com nó, para colmos intermediários foram de 12,0 MPa sem nó e 12,8 MPa com nó, e para colmos maduros foram de 15,0 MPa sem nó e 13,5 MPa com nó.

Na espécie *Phyllostachys aurea* os valores médios de tensão de cisalhamento para amostras sem nó, apresentaram para colmos imaturos 7,6 MPa,

para colmos intermediários 10,8 MPa e para colmos maduros 11,2 MPa. Já as amostras com nó, os valores médio de tensão máxima no cisalhamento, nos estágios de maturidade imaturo, intermediário e maduro apresentaram, respectivamente, 8,1 MPa, 10,0 MPa e 13,2 MPa. Com a correção da umidade a 12%, os valores médios de tensão máxima no cisalhamento das amostras sem nó foram de 7,7 MPa para imaturo, 10,5 MPa para intermediário e 11,1 MPa para maduro. Nas amostras com nó os valores médios foram 8,1 MPa para imaturo, 9,9 MPa para intermediário e 13,2 MPa para maduro.

Observa-se, na Tabela 10 que, com a correção da umidade a 12%, ocorreram decréscimos nos valores médios de tensão máxima no cisalhamento das amostras sem nó e com nó das duas espécies, em todos os estágios de maturidade. Isso ocorreu pelo motivo de os corpos de prova apresentarem teor de umidade menor que 12% no momento dos ensaios.

**Tabela 11.** Resistência ao cisalhamento das porções basal e mediana do bambu *Bambusa tuldooides*.

Porção do colmo	Tensão no cisalhamento $f_v$ (MPa)		
	$f_v$ (max)	$f_v$ (min)	$f_v$ (média)
Basal sem nó	17,9	10,6	13,7
Basal com nó	16,7	13,5	14,9
Mediana sem nó	18,5	8,5	13,3
Mediana com nó	12,9	9,7	11,6

Nota:  $f_v$  é a tensão máxima no cisalhamento.

No ensaio de cisalhamento a espécie *Bambusa tuldooides* apresentou nas amostras da porção basal do colmo sem nó valores máximo de 17,9 MPa, mínimo de 10,9 MPa e médio de 13,7 MPa. Nas amostras com nó, os valores foram máximo de 16,7 MPa, mínimo de 13,5 MPa e médio de 14,9 MPa. Já na porção mediana do colmo, as amostras sem nó apresentaram valores máximo de 18,5 MPa, mínimo de 8,5 MPa e média de 13,3 MPa. Nas amostras com nó obteve valores máximo de 12,9 MPa, mínimo de 9,7 MPa e média de 11,6 MPa.

Ao estudar a resistência ao cisalhamento em *Bambusa tuldooides*, Nascimento (2002) obteve valores que variaram de 11 MPa a 16 MPa. Já Oliveira (2012) apresentou valor médio de 11 MPa.

**Tabela 12.** Resistência ao cisalhamento das porções basal e mediana do bambu *Phyllostachys aurea*.

Porção do colmo	Tensão no cisalhamento $f_v$ (MPa)		
	$f_v$ (max)	$f_v$ (min)	$f_v$ (média)
Basal sem nó	11,4	9,2	10,5
Basal com nó	13,6	8,4	10,9
Mediana sem nó	11,7	5,2	9,3
Mediana com nó	14,8	6,5	9,9

Nota:  $f_v$  é a tensão máxima no cisalhamento.

A resistência ao cisalhamento da espécie *Phyllostachys aurea* para o porção basal do colmo apresentou valores máximo de 11,4 MPa, mínimo de 9,2 MPa e médio de 10,5 MPa nas amostras sem nó. Já nas amostras com nó os valores máximo, mínimo e médio foram 13,6 MPa, 8,4 MPa e 10,9 MPa respectivamente. Na porção mediana do colmo apresentou-se resistência ao cisalhamento com valores máximo de 11,7 MPa, mínimo de 5,2 MPa e médio de 9,3 MPa das amostras sem nó. As amostras com nó obtiveram valores máximo de 14,8 MPa, mínimo de 6,5 MPa e médio de 9,9 MPa.

Oliveira (2012) estudou a resistência ao cisalhamento de *Phyllostachys aurea* e obteve valor médio de 10 MPa.

## 5 CONCLUSÃO

Algumas conclusões podem ser tiradas ao avaliar os resultados obtidos da análise das propriedades físicas e mecânicas das espécies de bambu *Phyllostachys aurea* e *Bambusa tuldoides*:

Ao analisar a espessura, houve incremento com o amadurecimento dos colmos de ambas as espécies.

A resistência a flexão, compressão e cisalhamento aumentou com o amadurecimento dos colmos de bambu de ambas espécies estudadas. Sendo os resultados obtidos semelhantes aos da bibliografia consultada.

A espécie *Bambusa tuldoides* apresentou maior resistência que a espécie *Phyllostachys aurea* em todos os ensaios realizados.

Na comparação dos ensaios de flexão realizados para a espécie *Bambusa tuldoides*, o ensaio de flexão a quatro pontos obteve resultados superiores de resistência em relação ao ensaio de flexão a três pontos. O módulo de elasticidade apresentou comportamento contrário ao da conclusão supracitada.

Para ambas espécies, ao se analisar a massa específica e o módulo de elasticidade, o material se mostrou leve e rígido com valores semelhantes aos da bibliografia consultada.

Analisando as propriedades físicas e mecânicas das espécies estudadas pode-se afirmar que o material possuiu grande resistência, leveza e rigidez e pode ser utilizado para fins estruturais.

Ressalta-se a importância de, primeiramente, padronizarem-se normas específicas para testes de resistência física e mecânica do material bambu no Brasil, ao invés de se utilizar de uma norma estrangeira, como ocorreu no presente trabalho. Desta maneira, trabalhos como este corroborariam para a criação de uma NBR (Norma Brasileira Regulamentadora), definindo as características técnicas para uso do bambu na construção civil, que viria a ser o primeiro passo para a legalização deste material enquanto estrutura.

## 6 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

BERALDO, A. L.; FREIRE, W. J. **Tecnologia e materiais alternativos**. 2. Ed. Campinas, 2003. 276p.

BERALDO, A. L.; ZOULALIAN, A. Bambu: material alternativo para construções rurais. In: **Anais do V EBRAMEM – Encontro Brasileiro em Madeira e Estruturas de Madeira, Belo Horizonte**, MG, v2, p.425-439, 1995.

CARRASCO, E. V. M.; MOREIRA, L. E.; XAVIER, P. V. Bambu laminado e colado. In: **Anais do VEBRAMEM – Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeiras**, Belo Horizonte, MG, v. 2, p. 412-424, 1995.

CRUZ, M. L. S. **Caracterização física e mecânica de colmos inteiros do bambu da espécie *Phyllostachys aurea*: comportamento a flambagem**. Dissertação (mestrado) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Civil. Rio de Janeiro, RJ, 2002.

CULZONI, R.A.M. **Características dos bambus e sua utilização como material alternativo no concreto**. Dissertação (mestrado) - Deptº de Engenharia Civil, PUC-RJ, Rio de Janeiro, 1986, 134p.

FILGUEIRAS, T. S.; GONÇALVES, A. P. S.; A check list of the basal grasses and bamboos in Brazil. **Bamboo Science and Culture**; The Journal of the American Bamboo Society. v. 18, n. 01, p 8-10, 2004.

GHAVAMI, K. **Bambu: um material alternativo na engenharia**. Construção civil / Pesquisa, ENGENHARIA, N 492, p. 23 – 27, 1992.

GHAVAMI, K. Application of bamboo as a low-cost energy material in civil engineering. **Third CIB-RILEM Symposium on Material for Low Income Housing**. Cidade do México, México, p.526-536, 1989.

HIDALGO, LOPEZ O. **Bamboo the gift of the gods**. D'Vinni Ltda., Bogota, Colômbia. 2003.

HIDALGO, LOPEZ O. **Bambu su cultivo e aplicaciones en : Fabricacion de papel, Construcion, Arquitectura, Ingeniería y Artesania**. Cali, Colômbia, Estudios Tecnicos Colombianos Ltda. 1974.

JANSSEN, J.J.A. *Designing and building with bamboo*. Beijing, China: International Network for Bamboo and Rattan (INBAR), **Technical report**, n.20. 2000.

KÖPPEN, W. **Climatologia com uno estudio de los climas de la Tierra**. Fondo de Cultura Económica. México, 488p.1948.

LIESE, W. **The anatomy of bamboo culms**. Beijing, Technical Report, *International Network for Bamboo and Rattan* (INBAR), 1998. 203 p.

LIESE, W. **Research on bamboo. Wood and Science Technology.** v. 3, n. 21, p. 189-209, 1987.

LIESE, W. **Bamboo – Biology, silvics, properties, utilization.** GTZ, Germany, p. 132, 1985.

NASCIMENTO, A. M.; STACHERA, S. F.; XAVIER, L. M. Determinação de algumas propriedades físicas e mecânicas do *Bambusa tuldoides* (Munro). **Anais In: Congresso Ibero-Americano de Pesquisa e Desenvolvimento de Produtos Florestais, 2.; Seminário em Tecnologia da Madeira e Produtos Florestais Não Madeiráveis.** 2002. Curitiba, PR, 10p. 1 CD.

NATIONAL MISSION OF BAMBOO APPLICATION – NMBA. **Bamboo flooring, market assessment.** MA 01. Nova Delhi, 2004.

OLIVEIRA, M. F. A. **Propriedades Físico-Mecânicas de Duas Espécies de Bambu Termorretrificadas *Bambusa tuldoides* Munro E *Phyllostachis aurea* Rivière & C. Rivière.** Dissertação (mestrado) UFRRJ, Seropédica, 2012.

PEREIRA, M. A. dos R; BERALDO, A. L. **Bambu de corpo e alma.** 1. Ed. Bauru: Canal6, 2008.

PEREIRA, M. A. dos R. **Bambu: Espécies, Características e Aplicações.** Departamento de Engenharia Mecânica/UNESP. Apostila. Bauru. 2001.

SILVA, R. M. C. **O bambu no Brasil e no mundo.** 2005.

TEIXEIRA, A. A. **Painéis de bambu para habitações econômicas: avaliação do desempenho de painéis revestidos com argamassa.** Dissertação (mestrado) UNB, DF, 2006.

XAVIER, L. M. **Caracterização química, física e mecânica do *Phyllostachys aurea* e sua resistência ao ataque de térmitas, preservado com ácido bórico e tanino condensável.** Dissertação (mestrado) UFRRJ, Seropédica, 2004.