

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”  
CAMPUS EXPERIMENTAL DE ITAPEVA

BRUNA DE SOUZA MORITA

**ANÁLISE DA ESTABILIDADE DIMENSIONAL E  
RESISTÊNCIA MECÂNICA EM BAMBU *Guadua angustifolia*  
PÓS-PROCESSOS DE TRATAMENTOS QUÍMICOS E  
TÉRMICO**

Itapeva - SP

2011

BRUNA DE SOUZA MORITA

**ANÁLISE DA ESTABILIDADE DIMENSIONAL E  
RESISTÊNCIA MECÂNICA EM BAMBU *Guadua angustifolia*  
PÓS-PROCESSOS DE TRATAMENTOS QUÍMICOS E  
TÉRMICO**

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> Elen Aparecida Martines Morales

Itapeva - SP

2011

**FICHA CATALOGRÁFICA**

Morita, Bruna de Souza

M862a      Análise da estabilidade dimensional e resistência mecânica em bambu *Guadua angustifolia* pós-processos de tratamentos químicos e térmico / Bruna de Souza Morita – – Itapeva, 2011  
84 f.: il. 30 cm

Trabalho de Graduação do Curso Engenharia Industrial  
Madeireira apresentado ao Campus Experimental de Itapeva –  
UNESP, 2011

Orientador: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Elen Aparecida Martines Morales  
Banca examinadora: Prof.<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Juliana Cortez Barbosa; Prof. Dr.  
José Cláudio Caraschi  
Inclui bibliografia

1. Bambu. 2. Resistência à tração. 3. Estabilidade. I. Título. II.  
Itapeva – Curso de Engenharia Industrial Madeireira.

CDD 584.9

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

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”  
CAMPUS EXPERIMENTAL DE ITAPEVA

**ANÁLISE DA ESTABILIDADE DIMENSIONAL E  
RESISTÊNCIA MECÂNICA EM BAMBU *Guadua angustifolia*  
PÓS-PROCESSOS DE TRATAMENTOS QUÍMICOS E  
TÉRMICO**

BRUNA DE SOUZA MORITA

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> Elen Aparecida Martines Morales  
Orientador – Campus Experimental de Itapeva/UNESP

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

Prof. Dr. José Cláudio Caraschi  
Campus Experimental de Itapeva/UNESP

## DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais Francisco e Maria e ao meu irmão Rafael por me incentivarem em todos os momentos fazendo com que este sonho se tornasse realidade.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por todas as oportunidades, conquistas, pela saúde e por tudo na vida.

Agradeço ao meu pai Francisco Morita, a quem amo muito, por ter acreditado nos meus sonhos e me apoiado incondicionalmente em todos eles me orientando a fazer sempre as escolhas certas. Pai este sonho só está se concretizando porque você sempre esteve ao meu lado. Obrigada por tudo sempre.

Agradeço a minha mãe, Maria, e ao meu irmão Rafael, que sempre me incentivaram e estiveram presentes em todos os momentos da minha vida me apoiando em tudo. Vocês são importantes demais para mim. Amo vocês.

Agradeço ao meu namorado Rafael pela paciência, apoio e carinho em todos os momentos.

Agradeço a toda a minha família por compreenderem a falta de tempo e de atenção durante a graduação e, mesmo assim me apoiarem incondicionalmente.

Agradeço a todos os meus amigos, principalmente a Ariane Flores, Bruno Araújo, Diego Almeida, Saulo Pupo, Isabella Imakawa, Mariane Fonseca e Marcel Kondo por se tornarem presentes não somente na graduação, mas também na minha vida. "Amigo é coisa para se guardar no lado esquerdo do peito mesmo que o tempo e a distância digam "não"" (Canção da América).

Agradeço aos meus amigos que considero irmãos, Bruno Ferreira e Karla Fonseca. Cada vez que lembrar de uma dificuldade, pensarei em vocês, pois sempre trazem a solução com apenas um sorriso, uma frase, ou um gesto de reprovação. Cada momento que lembrar e realizar uma conquista também pensarei, porque vocês tem grande parte nisto, e sei que torcem por mim sempre e, sem hesitar quando mais precisei eram vocês que faziam os problemas parecerem pequenos para que se pudesse haver motivos para sorrir. Obrigada sempre.

Agradeço a minha melhor amiga, Amanda Domingues, que mesmo distante devido a nossas vidas terem tomados rumos diferentes sempre entendeu os meus objetivos de vida e quando mais precisei esteve presente me confortando com bons conselhos e um ombro amigo.

Agradeço a minha orientadora Elen Aparecida Martines Morales por toda a dedicação e paciência para que pudesse haver a concretização deste trabalho.

Agradeço aos professores Juliana Cortez Barbosa e José Claudio Caraschi por todos os ensinamentos, conselhos e dedicação. Vocês têm grande parte neste trabalho.

Agradeço a professora Maria Angélica por ter sido uma amiga com quem sempre pude contar em todos os momentos, inclusive nos de dificuldade e indecisão.

Agradeço aos alunos Karina Arakaki, Vinicius Rosolem, Jorge Martins e Samuel Matarazzo. Sem vocês este trabalho não teria sido concluído.

Agradeço a todos os funcionários da Unesp do campus de Itapeva por todo o apoio e auxílio sempre que precisei. Agradeço principalmente ao técnico Juliano Brito e ao Alex Costa, a quem sempre pude contar para a confecção dos corpos de prova e também para a realização dos ensaios deste trabalho.

Agradeço a Fazenda Manduri e ao Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) pelas doações dos bambus, pois sem estas este trabalho não se finalizaria.

Agradeço ao Diretor Luiz Augusto pela oportunidade e por sempre entender minha ausência devido a compromissos com a graduação.

Agradeço a Eucatex S/A pela oportunidade e a todos os funcionários, principalmente aos dos setores Picador e Moinhos pela amizade e pelo apoio.

Agradeço ao Gerente de Produção, Alípio Nascimento, a Eng<sup>a</sup> de Produção, Danila Estevam, ao Supervisor, Gerolino Vitorino, e ao Auxiliar de Laboratório, Sebastião (Lico) pelo apoio e compreensão para que pudesse realizar a concretização deste trabalho.

Agradeço a Tatiane Rosin, Ana Cecília Oliveira, Nathalia Visquetti, Muriel van Leeuwen, Carolina Ruv e a todas as outras integrantes da República Irmãs Metralhas por me acolherem quando mais precisei e por entenderem minhas decisões para que pudesse finalizar este trabalho.

*We should be flexible in our life like bamboo,  
because if it blows down by wind, it gets up  
again!*

*(Japanese Proverb)*



## RESUMO

O bambu atualmente vem sendo objeto de estudo devido as suas propriedades de resistência em relação a sua massa específica e rapidez de crescimento, o que o torna uma alternativa importante como um novo recurso natural que venha a contribuir para reduzir a pressão sobre as florestas e auxiliar favoravelmente a minimização do desmatamento descontrolado em muitas regiões do Brasil. Este trabalho teve como objetivo, de maneira geral, analisar propriedades físicas e mecânicas do material visando à divulgação de suas potencialidades para aplicação industrial. Para tanto, nesta pesquisa foram determinadas em relação às propriedades físicas, o teor de umidade, a estabilidade dimensional e as densidades aparente e básica e as mecânicas, apenas a tração paralela às fibras, visando observar a interferência de diversos tipos de tratamentos (químicos, térmicos e natural) sobre a resistência e o módulo de elasticidade nesta solicitação. A espécie utilizada neste trabalho foi a *Guadua angustifolia*, espécie natural do Brasil. Todos os ensaios foram realizados na Universidade Estadual Paulista – Campus Experimental de Itapeva no laboratório de Propriedades dos Materiais. A metodologia utilizada para os ensaios de teor de umidade, densidades e tração paralela às fibras se basearam na NBR 7190/1997 destinada à madeira, e os ensaios de estabilidade dimensional se basearam tanto na mesma como na COPANT 462/1972 (sul-americana). Os tratamentos preservativos realizados seguiram a recomendação de cada fabricante. Os valores obtidos nos ensaios de propriedades físicas se mostraram satisfatórios principalmente com relação às densidades e a estabilidade dimensional analisada através do coeficiente de anisotropia, que demonstrou, comparado a madeira, uma qualidade excelente para o ensaio de retração, obtendo o coeficiente de 1,2. Com relação aos ensaios de tração paralela às fibras os resultados mostraram, em sua maioria, que corpos de prova com a presença de nós apresentam menores valores de resistência e de módulos de elasticidade quando comparados com os sem nós. No tratamento de termorreificação houve um aparente acréscimo de resistência à tração paralela às fibras do bambu da temperatura de 140°C até 180°C. Com relação aos outros tratamentos os resultados ainda são preliminares não sendo possível afirmar qual dos produtos utilizados possui maior influência no aumento ou decréscimo da resistência. Os resultados obtidos neste estudo mostram procedimentos importantes a serem utilizados com uma espécie de bambu tão notável quanto a *Guadua angustifolia*, contribuindo para uma melhor utilização desta espécie nos mais diversos tipos de aplicações.

**Palavras-chave:** bambu, estabilidade dimensional, resistência à tração, tratamentos preservativos.

## ABSTRACT

Nowadays, bamboo is being studied because of their strength properties according with their specific mass and speed of growth, which makes it an important alternative as a new resource that will help reduce pressure on forests and helping them favoring the minimization of uncontrolled deforestation in many regions of Brazil. This study aimed, in general, to analyze physical and mechanical properties of the material with the divulgation of its potential for industrial application. To do so, in this research were determined in relation to the physical properties, moisture content, dimensional stability and the apparent densities and the mechanics and basic, just a tension parallel to grain, in order to observe the interference of various kinds of treatments (chemical, thermal and natural) on the strength and modulus of elasticity in this request. The species used was the *Guadua angustifolia*, a species native of Brazil. All tests were performed at Universidade Estadual Paulista - Campus Experimental Itapeva in the laboratory of Materials Properties. The methodology used for testing of moisture, density and tension parallel to grain were based on NBR 7190/1997 for the wood, and dimensional stability tests were based on much the same as in COPANT 462/1972 (South American) . The preservative treatments conducted followed the recommendation of each manufacturer. The values obtained in tests of physical properties were satisfactory especially with respect to density and dimensional stability analyzed by the coefficient of anisotropy, showed that, compared to wood, excellent quality for the shrinkage test, obtaining a coefficient of 1.2. With respect to parallel tensile tests to fibre results showed, in most cases, that test specimens with the presence of us have lower values of resistance and modulus of elasticity when compared with those without us. In the treatment of thermal-treatment there was an apparent increase in resistance in tension parallel to grain of bamboo from 140°C to 180°C temperatures. In the others treatments the results are still preliminary and it is not possible to say which of the products used have greater influence on the increase or decrease the resistance. The results of this study show important procedures to be used with a kind of bamboo as remarkable as the *Guadua angustifolia*, contributing to better utilization of this species in various types of applications.

**Keywords:** bamboo, dimensional stability, resistance in tension, preservative treatments.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Seção de um colmo de bambu e suas denominações.....	21
Figura 2- Rizoma do tipo leptomorfo ou alastrante.....	24
Figura 3-Rizoma do tipo paquimorfo ou entouceirante.....	25
Figura 4- Variação da fração volumétrica das fibras na espessura do colmo do bambu <i>Guadua angustifolia</i> .....	27
Figura 5- Bambu <i>Guadua angustifolia</i> .....	29
Figura 6- Diagrama de carregamento para determinação da rigidez da madeira à tração. ....	40
Figura 7- (a) larva de <i>Dinoderus minutus</i> ; (b) pulpa; (c) adulto; (d) adulto <i>Dinoderus minutus</i> ; (e) danos causados mostrando os túneis e galerias.....	44
Figura 8- Perfis da <i>Dinoderus minutus</i> . ....	45
Figura 9- Formação de túneis e galerias dentro dos colmos.....	45
Figura 10- Serra circular e apoio para peças roliças. ....	49
Figura 11- Serra fita. ....	50
Figura 12- Desengrossadeira.....	50
Figura 13- Desempenadeira.....	51
Figura 14- Tupia utilizada para lixar. ....	51
Figura 15- (a) Mensuração da direção axial; (b) Mensuração da direção tangencial e (c) Mensuração da direção radial. ....	54
Figura 16- Saturação das amostras em água. ....	55
Figura 17- Corpos de prova tratados com ácido pirolenhoso de eucalipto (à esquerda), ácido pirolenhoso de <i>Bambusa vulgaris</i> (à direita- parte inferior) e Neem (à direita- parte superior).....	56
Figura 18- Gavetas contendo os corpos de prova passando pelo processo de secagem.....	57
Figura 19- Corpos de prova com cada produto utilizado para o tratamento da espécie.....	58
Figura 20- Corpos de prova utilizados em cada temperatura no tratamento térmico. ....	59
Figura 21- Corpo de prova na Máquina Universal de Ensaio sofrendo o teste de tração paralela às fibras. ....	60

Figura 22- Corpos de prova sem tratamento e sem ataque.....	60
Figura 23- Dimensões do corpo de prova para o ensaio de tração.....	61
Figura 24- Corpo de prova após ter sofrido tração paralela às fibras.....	61
Figura 25-Resultados obtidos no ensaio de tração paralela às fibras para os corpos de prova de referência. ....	69
Figura 26- Módulo de elasticidade dos corpos de prova de referência. ....	69
Figura 27- Módulo de elasticidade dos corpos de prova de referência. ....	71
Figura 28- Análise do módulo de elasticidade dos corpos de prova de acordo com as temperaturas de tratamento. ....	72
Figura 29- Relação entre os tratamentos sofridos pelos corpos de prova e a resistência destes no ensaio de tração. ....	74
Figura 30- Valores médios do módulo de elasticidade obtido em cada tipo de tratamento. ....	74
Figura 31- Valores médios de resistência para os corpos de prova de referência e para todos os outros tratamentos no ensaio de tração paralela às fibras. ....	75
Figura 32- Valores médios de módulo de elasticidade para os corpos de prova de referência e para todos os outros tratamentos no ensaio de tração paralela às fibras. ....	76

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 1. Constituintes químicos do bambu comparados aos das coníferas.....	28
Tabela 2. Razão entre tensão de tração e o peso específico de alguns materiais....	38
Tabela 3. Teor de umidade de cada talisca da espécie <i>Guadua angustifolia</i> . ....	62
Tabela 4. Densidade aparente dos corpos de prova da espécie <i>Guadua angustifolia</i> . .....	63
Tabela 5. Densidade básica dos corpos de prova da espécie <i>Guadua angustifolia</i> ...	64
Tabela 6. Retratibilidade e coeficiente de anisotropia do bambu <i>Guadua angustifolia</i> . .....	65
Tabela 7. Porcentagem de inchamento nas três direções e coeficiente de anisotropia da espécie <i>Guadua angustifolia</i> . ....	66
Tabela 8. Coeficiente de anisotropia dimensional na retração, qualidade e uso da madeira. ....	67
Tabela 9. Módulo de elasticidade e resistência à tração dos corpos de prova de referência com e sem nó. ....	68
Tabela 10. Análise dos resultados obtidos na literatura e ensaios realizados.....	70
Tabela 11. Análise da resistência a tração paralela as fibras dos corpos de prova tratados termicamente.....	71
Tabela 12. Resistência a tração e módulo de elasticidade dos corpos de prova que sofreram diferentes tipos de tratamentos químicos. ....	73

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	16
2. OBJETIVOS .....	17
2.1. Objetivo geral .....	17
2.1.1. Objetivos específicos.....	17
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	18
3.1. Histórico do bambu.....	18
3.2. O bambu.....	20
3.2.1. Rizoma .....	23
3.2.2. Anatomia geral do colmo.....	25
3.3. Composição química do bambu .....	27
3.4. Características do bambu <i>Guadua angustifolia</i> .....	28
3.5. Propriedades físicas e mecânicas do bambu .....	29
3.5.1.1. Teor de umidade .....	31
3.5.1.2. Densidades básica e aparente .....	32
3.5.2. Propriedades mecânicas .....	37
3.5.2.1. Tração paralela às fibras .....	37
3.6. Tratamento do bambu .....	40
3.6.1. Biologia da <i>Dinoderus minutus</i> .....	42
4. MATERIAIS E MÉTODO .....	48
4.1. Origem da espécie empregada .....	48
4.2. Caracterização física das taliscas de bambu da espécie <i>Guadua angustifolia</i> .....	48
4.2.1. Processamento dos corpos de prova .....	49
4.2.3. Ensaio das propriedades físicas.....	52
4.3. Tratamentos preservativos .....	55
4.3.1. Tratamento com produtos químicos .....	56
4.3.2. Tratamento térmico .....	58
4.4. Ensaio de tração paralela às fibras .....	59
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	62
5.1. Teor de umidade .....	62
5.2. Densidades aparente e básica .....	63
5.3. Estabilidade dimensional.....	65

5.4. Resistência à tração envolvendo diferentes tipos de tratamentos.....	68
6. CONCLUSÃO.....	77
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	79

## 1. INTRODUÇÃO

Devido aos grandes impactos ambientais e as diversas devastações que ainda ocorrem nas grandes florestas, a necessidade de se encontrar um material renovável, com propriedades físico-mecânicas competitivas, e que também seja de baixo custo possibilitou o destaque do bambu, pois este atinge seu crescimento em poucos meses e o máximo de sua resistência em poucos anos, tornando-se uma alternativa promissora para diversos setores industriais. Desta maneira, além do uso tradicional deste material estão sendo desenvolvidas algumas utilizações industriais em diversos setores o que mostra o seu grande potencial.

Os estudos das suas propriedades físicas e mecânicas ainda encontram-se em fase inicial, principalmente devido à ausência de documentos normativos para este material. Pesquisas mostram que o bambu possui características excelentes, o que pode auxiliar na difusão do melhor uso desta matéria-prima, principalmente no Brasil, que possui mais de 100 espécies de bambu nativo, onde é visto como um material que se limita a fabricação de produtos apenas com baixo valor agregado, como artesanato e ferramentas manuais. Faz-se necessária, portanto a criação de normas específicas, pois utilizando o documento normativo brasileiro destinado a madeira concluiu-se que as características geométricas destes dois materiais são muito distintas, não sendo possível obter determinadas proporções e comparações entre os elementos do bambu.

A ausência de pesquisas na área de tratamentos para o bambu também é uma das principais causas da baixa credibilidade deste material para utilização que requeira uma maior durabilidade. Isto comprova a necessidade de haver estudos efetivos nesta área para se inverter o pensamento errôneo e preconceituoso sobre este recurso renovável de alto potencial produtivo.

Observa-se, então, que obstáculos importantes a serem vencidos para a melhor divulgação e empregabilidade desta gramínea referem-se à normatização para a execução de ensaios, à realização de pesquisas efetivas na área de preservação do bambu e suas possíveis implicações sobre propriedades físico-mecânicas, assim como ao aprimoramento de equipamentos e tecnologias no processamento do bambu.



## 2. OBJETIVOS

### 2.1. Objetivo geral

Este trabalho tem como objetivo determinar as propriedades físicas do bambu *Guadua angustifolia*, mais especificamente, sua estabilidade dimensional nas condições de retração e inchamento analisando o coeficiente de anisotropia, assim como, avaliar sua resistência à tração após receber tratamentos específicos.

#### 2.1.1. Objetivos específicos

Os objetivos específicos a serem estudados no presente trabalho podem ser listados como sendo:

- Realizar os ensaios referentes à retração e inchamento;
- Estudar uma metodologia de tratamento térmico em bambu;
- Desenvolver metodologia de tratamento com diferentes produtos químicos e naturais;
- Estudar a influência na rigidez e na resistência à tração paralela às fibras de bambus tratados com diferentes métodos preservativos contra ataque de carunchos do bambu *Dinoderus minutus*;
- Análise das propriedades físicas do bambu propondo adaptações aos documentos normativos NBR 7190/1997 e COPANT 462 1972;
- Propostas de adaptações para ensaio mecânico de tração paralela às fibras;
- Realizar uma revisão bibliográfica sobre métodos preservativos utilizados em bambu.

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O bambu, como material lignocelulósico, apresenta diversas características e propriedades que ainda não são muito difundidas, o que conseqüentemente, resulta em pouca utilização deste material para fins industriais e de maior valor agregado. Neste item, estas características e propriedades serão apresentadas mais profundamente, proporcionando assim, um maior conhecimento sobre este material, enfatizando-se a espécie *Guadua angustifolia*.

#### 3.1. Histórico do bambu

O bambu é um material que possui diversificada e antiga utilização. Conforme consta em antigos caracteres chineses esta planta é utilizada desde os anos de 1600 a 1100 a.C. A história do bambu remonta ao começo da civilização na Ásia, sendo aceito que o bambu teve sua origem no Cretáceo, um pouco antes do início da era Terciária, quando surgiu o homem (LÓPEZ, 2003).

No mundo são cultivados aproximadamente 22 milhões de hectares de bambu com mais de 4.000 usos para esta planta (HSIUNG, 1988), como por exemplo, na forma de abrigo, na confecção de ferramentas manuais, utensílios, objetos e na alimentação (MOIZÉS, 2007).

De acordo com Farrelly (1984), Liese (1985), Hsiung (1988), Sastry (1999) e Pereira (2000) apud Moizés (2007), o bambu é conhecido e utilizado há séculos pelos habitantes de países tropicais, especialmente da Ásia, devido as suas características de dureza, leveza, resistência, conteúdo de fibras, flexibilidade e facilidade de trabalho.

A China utiliza a polpa do bambu para produzir papel há mais de 1700 anos (PEREIRA, 1997a), possuindo atualmente uma área cultivada de 7 milhões de hectares, segundo dados do (CNBRC, 2001 apud MOIZÉS, 2007), representando aproximadamente 32% dos 25 milhões de hectares de bambu plantados em todo o mundo (SASTRY, 1999). Este país também intensificou a partir dos anos de 1980 a

utilização do bambu em diversas áreas industriais, como na produção de alimentos, na fabricação de papel, na engenharia e na química (CBRC,2001 apud PEREIRA; BERALDO, 2007).

Já na América Latina, de acordo com Moizés (2007), vários países como Equador, Colômbia, Brasil e Costa Rica cultivam o bambu para vários usos e pesquisas, mas a Colômbia é o país que mais utiliza esse material em construções rurais e urbanas. A Colômbia utiliza o bambu na construção, pisos, estruturas e em paredes do tipo “taipa”. No Brasil é utilizado em estruturas de casas e em objetos em geral, aplicados na forma natural (colmos), vinculado às tradições indígenas.

Segundo Vasconcellos (2006), o Brasil tem cerca de 230 espécies nativas de bambus e 50 espécies introduzidas pelos colonizadores e imigrantes. Entretanto, apesar de o país possuir grandes recursos florestais, terras férteis e indústrias, o bambu ainda é pouco cultivado e utilizado comercialmente. No país, os índios utilizavam esta planta para a fabricação de tubos de zarabatana, prendedores de cabelo, facas, recipientes e cestos, gravetos para fazer fogo, flautas e instrumentos de percussão.

No Brasil, a maior produção referente ao bambu está destinada à fabricação de vara-de-pescar, mobiliários tradicionais utilizando os colmos desta planta, artesanato, brotos comestíveis, instrumentos e papéis de fibras longas, sendo que a empresa ITAPAGÉ S. A – Celulose, Papéis e Artefatos, é a que possui mais de 30 mil hectares destinados à cultura do bambu e que é suporte florestal para a produção de celulose de fibra longa, de alta resistência, ideal para a fabricação de papel kraft (Fonte:[http://:www.itapage.com](http://www.itapage.com), 2006).

De acordo com Jaramillo (1992) o bambu é considerado o recurso natural que se renova em menor intervalo de tempo do que qualquer outra espécie florestal em termos de velocidade de crescimento e de aproveitamento por área.

Lee et al. (1994) observaram que o decréscimo da quantidade e na qualidade dos recursos florestais tem aumentado o interesse pela busca de materiais renováveis e de baixo custo, como é o caso do bambu.

Por se tratar de uma planta tropical, perene, renovável e que produz colmos anualmente sem a necessidade de replantio, esta planta apresenta um grande potencial agrícola. É um excelente sequestrador de carbono e, pode ser utilizado em reflorestamentos, na recomposição de matas ciliares e, como protetor e

regenerador ambiental, além de poder ser empregado como matéria-prima em diversas aplicações (PEREIRA; SANTOS, 2010).

Já em relação às propriedades estruturais do bambu se forem consideradas as relações resistência/massa específica e rigidez/massa específica, tais valores superam as madeiras e o concreto, podendo ser até comparável ao aço (JANSSEN, 2000).

Qisheng e Shenxue (2001) ressaltam em estudos e ensaios realizados as propriedades físico-mecânicas do bambu, além de suas características de facilidade de manuseio e sua infinidade de utilizações.

Sendo assim, o bambu com suas características possibilitaria uma infinidade de alternativas no desenvolvimento industrial, com o mínimo de requisitos ambientais, utilizando recursos renováveis ou de áreas plantadas contribuindo, através da fabricação de produtos, para um futuro mais responsável (MOIZÉS, 2007).

### **3.2. O bambu**

Os bambus pertencem à família *Graminae* e subfamília *Bambusoideae*, algumas vezes tratados separadamente como pertencentes à família *Bambusaceae*, com aproximadamente 50 gêneros e 1300 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. Os bambus nativos crescem naturalmente em todos os continentes, exceto na Europa, sendo que 62% das espécies são nativas da Ásia, 34% das Américas e 4% da África e da Oceania (LÓPEZ, 2003).

Sendo assim, o bambu é considerado uma planta predominantemente tropical e que cresce mais rapidamente do que qualquer outra planta do planeta, levando em média de três a seis meses para que um broto atinja sua altura máxima de até 40 metros para as espécies denominadas gigantes. Apresenta admirável vitalidade, grande versatilidade, leveza, resistência e facilidade em ser trabalhado com equipamentos e ferramentas simples. Apresenta formidável beleza do colmo ao

natural ou após ser processado e, possui qualidades que tem proporcionado o mais longo e variado papel na evolução da cultura humana do que qualquer outro tipo de planta (FARRELY, 1984).

De acordo com Pereira (1997b) o bambu é uma planta gramínea lenhosa, monocotiledônea, e pertencente às angiospermas. Produz colmos assexuadamente através dos seus rizomas, podendo ser do tipo moita ou do tipo alastrante. O bambu é uma árvore-gramínea única no reino vegetal, restaurador e protetor de solos degradados.

López (1982) define que os bambus, tal como as árvores, são constituídos por uma parte aérea e outra subterrânea. Janssen (1988) faz referência que a parte aérea (tronco ou caule das árvores) é denominada de colmo no bambu, sendo normalmente oco. Estes espaços dentro do colmo são denominados cavidades, as quais são separadas uma das outras por diafragmas, que aparecem externamente como nós, de onde saem ramos e folhas. A porção do colmo entre os dois nós é chamada de internó e a espessura do colmo é denominada de parede, como se pode analisar na Figura 1.

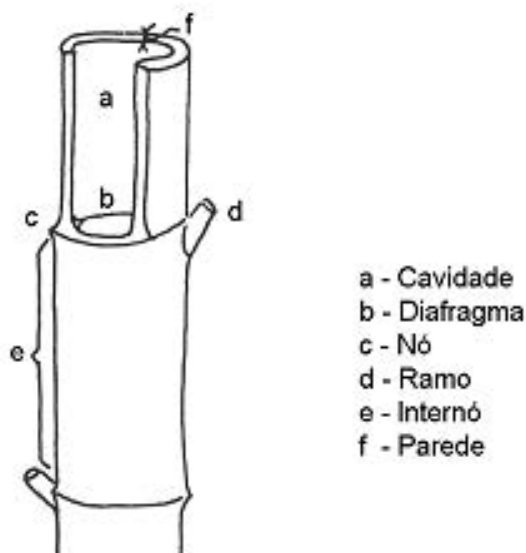


Figura 1- Seção de um colmo de bambu e suas denominações.

Fonte: JANSSEN, 1988.

Segundo Pereira e Beraldo (2007) o colmo do bambu nasce com o diâmetro que terá por toda a vida. Este diâmetro é maior perto da base e vai

diminuindo com a altura em direção à ponta (ou seja, o bambu é geometricamente um tronco de cone), mas nunca aumenta com o passar dos anos, como ocorre normalmente com as espécies arbóreas (madeiras). Atinge seu diâmetro máximo por volta do quarto ou quinto ano após o plantio podendo sofrer influências pelo ambiente, principalmente pelo tipo de solo e pelo clima. O comprimento dos internós aumenta da base até o meio do colmo, diminuindo daí em direção ao topo, tendo em média um comprimento de 20 a 35 cm na maioria das espécies.

Conforme Koichiro Ueda apud López (2003) o período de crescimento de um colmo, desde o momento em que emerge do solo até adquirir sua altura total, é de 80 a 110 dias nas espécies do grupo paquimorfo (entouceirante) e de 30 a 80 dias nas espécies do grupo leptomorfo (alastrante). Em condições normais e na época de maior desenvolvimento, o crescimento médio, em 24 horas, é de 8 a 10 cm e, em alguns casos, de 38 a 40 centímetros, com recordes observados de até 121 cm (*Phyllostachys reticulata*), relatados em Kyoto, Japão, em 1955.

Os colmos caracterizam-se pela ausência de raios, o que é uma vantagem com relação ao corte longitudinal, mas uma desvantagem quando se trata de realizar ligações com parafusos e pregos.

Os colmos, ao nascerem, possuem um tecido delicado e, por este motivo, estão protegidos por brácteas (bainhas), que são folhas de formato triangular, importantes também para o acaso de 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 maioria das espécies, quando então suas propriedades de resistência mecânica se estabilizam (PEREIRA; BERALDO, 2007).

A vida útil dos colmos varia de acordo com a espécie; aos 12 anos, em média, o colmo morre, ficando seco e esbranquiçado como, por exemplo, a espécie *Guadua angustifolia*, que inicia sua diminuição de resistência mecânica no período entre sete e oito anos, recomendando-se assim, que não seja usada a partir do sexto ano (LÓPEZ, 2003).

### 3.2.1. Rizoma

Segundo Padovan (2010) o rizoma é um caule subterrâneo, que se desenvolve paralelamente à superfície do solo, muitas vezes confundido com raízes. Possui como funções a armazenagem de nutrientes para a planta e a propagação por ramificações, de forma assexuada. Esta ramificação, conforme cita Pereira e Beraldo (2007) ocorre de duas maneiras distintas, dando origem aos dois principais grupos de bambu: o grupo alastrante (monopodial), no qual os colmos nascem e se desenvolvem separados uns dos outros, e o grupo entouceirante (simpodial), no qual os colmos nascem e se desenvolvem agrupados uns aos outros. Mas, segundo Spolidoro (2008), alguns autores ainda sugerem um terceiro tipo de ramificação, sendo este o semi-entouceirante (anfipodial) que dispõe de ambas as características anteriores.

#### 3.2.1.1. Grupo leptomorfo, alastrante ou monopodial

Os tipos alastrantes, leptomorfos, ou monopodial (Figura 2) são bem resistentes ao frio, tem como principal centro de origem a China e tem como representante mais conhecido o gênero *Phyllostachys* (SPOLIDORO, 2008). Apresentam rizomas longos, delgados e de formato cilíndrico; são tipicamente ocos e interrompidos em cada nó por um diafragma. Normalmente possuem espessura ou diâmetro menor do que os colmos que irão originar (PEREIRA; BERALDO, 2007).

Segundo, Spolidoro (2008) nos nós dos rizomas encontram-se algumas gemas que permanecem por um tempo ou permanentemente dormentes e, geralmente quando em estado ativo estas gemas brotam e produzem colmos esparsos o que permite caminhar entre eles. O rizoma, conforme afirmam Pereira e Beraldo (2007) pode crescer entre um e seis metros por ano, formando uma teia que pode atingir de 50 a 100 mil metros lineares por hectare. Este tipo de bambu apresenta ramos e folhas nas partes altas do colmo mesmo antes que este atinja sua altura final.

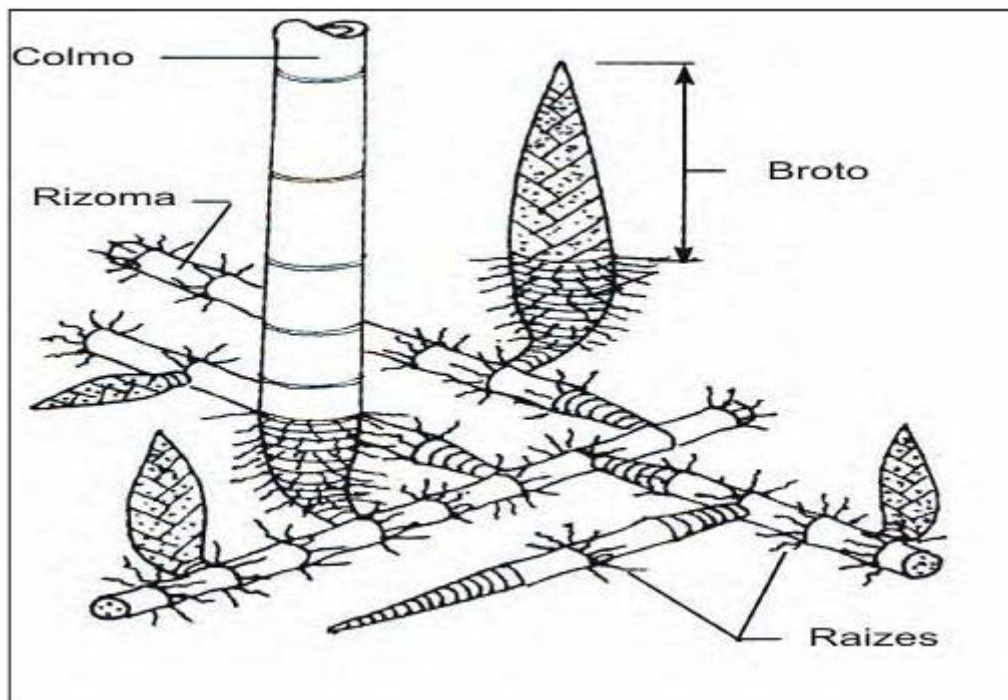


Figura 2- Rizoma do tipo leptomorfo ou alastrante.

Fonte: LÓPEZ, 2003.

### 3.2.1.2. Grupo paquimorfo, entouceirante ou simpodial

O grupo paquimorfo, também denominado entouceirantes ou simpodial (Figura 3) apresenta os gêneros *Bambusa*, *Dendrocalamus* e *Guadua* como principais representantes. A maior parte destes bambus se desenvolve melhor em climas tropicais, apresentando um crescimento mais lento em temperaturas baixas (SPOLIDORO, 2008). Os rizomas do bambu deste grupo são curtos, grossos e sólidos, com internós assimétricas e raízes na parte inferior, sendo normalmente mais grossos do que o colmo anterior do qual se originou (PEREIRA; BERBALDO, 2007).

Segundo Spolidoro (2008) os rizomas são dotados de gemas laterais que dão origem somente a novos rizomas. Muitas destas gemas permanecem inativas de forma permanente ou temporariamente. Apenas a gema apical do rizoma pode dar origem a um novo colmo e por consequência cada rizoma emitirá no máximo um



colmo. Este processo continua de tal maneira que os rizomas se desenvolvem formando uma touceira densa e concêntrica.

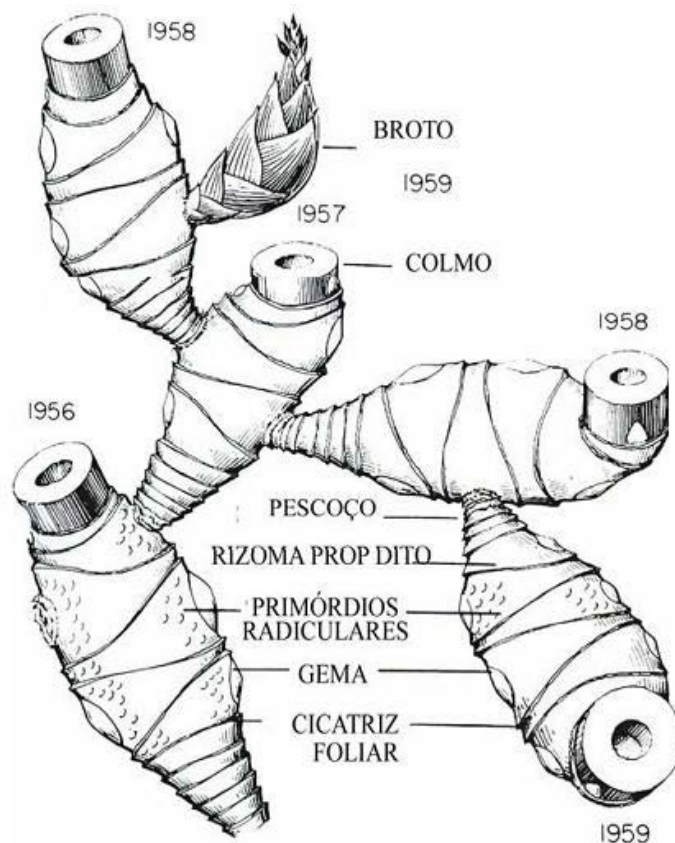


Figura 3-Rizoma do tipo paquimorfo ou entouceirante.

Fonte: LÓPEZ, 2003.

### 3.2.2. Anatomia geral do colmo

A estrutura anatômica do colmo é a base do entendimento das propriedades físicas e mecânicas do bambu e de seu comportamento estrutural (LÓPEZ, 2003). O colmo é constituído externamente por duas camadas de células epidermes, cobertas por uma camada cutinizada, com concentração de sílica, material que confere muita resistência ao colmo e lhe serve de proteção, na natureza, contra os ataques de animais e exposição mecânica. Isso, porém, é

prejudicial a ferramentas de corte, por desgastá-las com facilidade (JANSSEN, 2000).

A parte externa do colmo é coberta também com cera, e na camada interna ocorre uma camada mais espessa e altamente lignificada, constituída de numerosas células esclerenquimáticas (feixe de fibras), dificultando qualquer movimentação lateral de líquidos (PEREIRA; BERALDO, 2007).

O tecido de um colmo é composto pelas células de parênquima, pelos feixes vasculares e pelos feixes de fibras.

O parênquima, segundo Padovan (2010), é o tecido básico do colmo; representa de 40% a 60% de sua composição e sua distribuição e, no eixo do colmo, tem concentrações diferentes: 60% encontram-se na base e 40% na parte apical, com função de estocar nutrientes e água, podendo armazenar quantidades significativas de amido.

As fibras compõem o tecido mecânico da planta e sua função é, essencialmente, a de dar resistência ao colmo (NOGUEIRA, 2008). Elas ocorrem nos internós, servindo como proteção de feixes vasculares, constituindo de 40 a 50% do tecido total do colmo e de 60 a 70% de sua massa. O comprimento das fibras geralmente aumenta da periferia para o centro do colmo e diminui daí até a parte interna, estando as mais curtas situadas sempre perto dos nós e as mais longas situadas no meio internós (PEREIRA; BERALDO, 2007).

Segundo Janssen (2000), na maioria das espécies, as fibras concentram-se na proporção de 60% na região próxima à casca e 10% na área interna do colmo. Sendo assim, na Figura 4, pode-se observar a disposição dos feixes de fibras na cor escura, concentradas transversalmente, próximas à região da casca, conferindo assim maior resistência a esta área e, na cor clara, estão localizadas as células de parênquima, próximas ao centro do colmo que conseqüentemente proporcionam menor resistência.

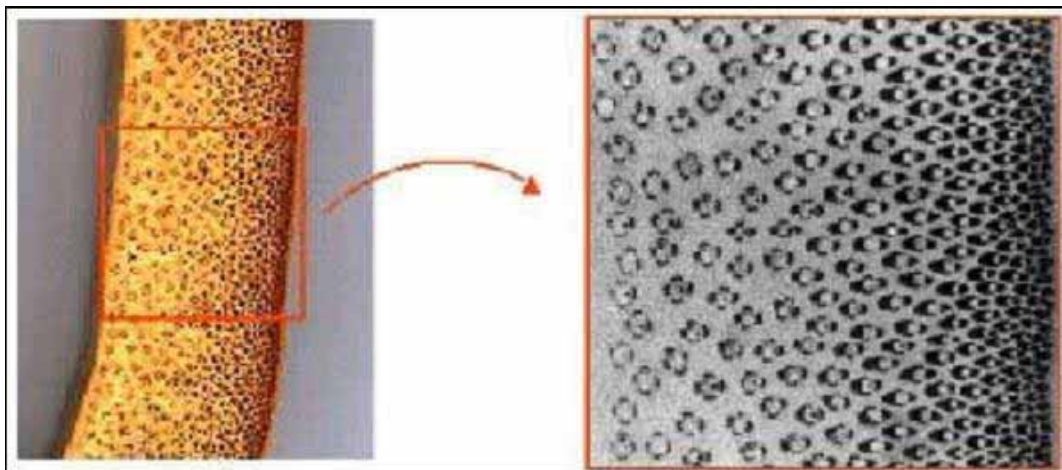


Figura 4- Variação da fração volumétrica das fibras na espessura do colmo do bambu *Guadua angustifolia*.

Fonte: GHAVAMI; MARINHO, 2005 apud PADOVAN, 2010.

Já os feixes vasculares são os principais vazios, portanto, tornam-se pontos de menor resistência mecânica dos colmos, representando aproximadamente 10% (PADOVAN, 2010). Compreendem o xilema e o floema, e são menores e mais numerosos na periferia do colmo, e maiores e em menor número na sua parte interna. Dentro da parede o número total de feixes diminui da base para o topo, porém sua densidade aumenta (PEREIRA; BERALDO, 2007).

### 3.3. Composição química do bambu

Os principais constituintes da composição química média dos colmos de bambus são a celulose, hemiceluloses e a lignina; em menor quantidade temos as resinas, ácido tânico, ceras e os sais inorgânicos. A composição varia de acordo com a espécie, as condições de crescimento vegetativo, a do bambu e a parte do colmo (COSTA, 2003).

Segundo Yongyu (1984) apud Nogueira (2008), há também a composição nutricional formada por proteína (1,5 à 6%), glicose (2%), amido (2,02 à 5,18%), gordura e cera (2,18 à 3,55%).

Esse tipo de composição é responsável pelo ataque de carunchos e brocas, especialmente da espécie *Dinoderus spp.*, que vão à procura do amido no bambu (LIESE, 1992).

Segundo Jain (1992), o bambu pode ser considerado como um compósito natural onde a lignina atua como matriz e as fibras de celulose como reforço. E a lignina como um armazenador de energia responsável pela transferência de tensões entre as fibras, sendo que as fibras de celulose promovem grande resistência à tração, flexão e rigidez na seção longitudinal do colmo (GHAVAMI, 2005).

Os principais constituintes químicos do bambu apresentam teores similares aos de madeira conífera, como pode ser observado na Tabela 1.

Tabela 1. Constituintes químicos do bambu comparados aos das coníferas.

<b>Componente</b>	<b>Bambu</b>	<b>Conífera</b>
<b>Celulose</b>	55	50
<b>Lignina</b>	25	25
<b>Hemiceluloses</b>	20	25
<b>Peso por volume (kg/m<sup>3</sup>)</b>	600	600

Fonte: Janssen (1981) apud Nogueira (2006).

### **3.4. Características do bambu *Guadua angustifolia***

Segundo Pereira e Beraldo (2007) o bambu *Guadua angustifolia* (Figura 5), é uma espécie gigante entouceirante, que possui espinhos nas gemas, é de elevado porte, apresentando elevadas propriedades mecânicas e também grande durabilidade natural dos colmos, sendo muito importante para a economia rural na Colômbia e no Equador.

Possui varas altas, em torno de 25 metros, grossas, em média de 10 a 12 centímetros, e de parede espessa, que lhe garantem o título de melhor espécie de bambu para a construção civil. Gosta de muito sol e não é muito tolerante a climas frios (Fonte: [http://: www.guadua.com.br](http://www.guadua.com.br)).

Pereira e Beraldo (2007) afirmam que esta espécie de bambu pode chegar a ter colmos de até 30 metros de altura, com diâmetro de até 20 centímetros

e espessura da parede em torno de 1,5 a 2 centímetros. Sua distribuição natural se dá pela América do Sul, incluindo a região Norte do Brasil, até o Panamá. É um bambu de múltiplos usos, sendo mais extensivamente utilizado como material de construção para casas de baixo custo, como por exemplo, no programa habitacional *Hogar de Cristo* (Equador) e em centenas de usos no meio rural.



Figura 5- Bambu *Guadua angustifolia*.

Fonte: <http://www.guaduabamboo.com>.

### 3.5. Propriedades físicas e mecânicas do bambu

As propriedades físicas e mecânicas do bambu estão diretamente correlacionadas às suas propriedades químicas e anatômicas. Outro fator que também influencia as propriedades físicas e mecânicas do colmo é a sua idade.

Segundo Liese (1998), Janssen (2000) e López (2003), o bambu apresenta excelentes propriedades mecânicas, as quais são influenciadas pelo teor de umidade do colmo. Essas propriedades estão interligadas com a idade e com a densidade do colmo, dependendo principalmente do teor de fibras, principal

elemento responsável pela sua resistência. Na condição seca, o colmo apresenta maior resistência do que na condição verde.

A variação nas propriedades de resistência do colmo é mais acentuada na direção radial do que na direção axial. A densidade dos nós é maior do que a dos internós devido ao fato de existirem menor quantidade de células de parênquima, porém, sua resistência à tração, flexão, compressão e cisalhamento são menores, conduzindo assim, a presença dos nós, a uma redução em todas as propriedades de resistência do colmo (LIESE, 1998).

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 (LIESE, 1985).

O que diferencia o bambu de outros materiais vegetais estruturais é sua alta produtividade. Dois anos e meio após ter brotado do solo, o bambu possui resistência mecânica elevada, não havendo, portanto, neste aspecto, nenhum concorrente no reino vegetal. Somam-se às características favoráveis, uma forma tubular acabada e estruturalmente estável, baixo peso específico, uma geometria circular oca, resultando em uma excelente relação entre o peso específico e a resistência à tração (GHAVAMI, 1989; MOREIRA; GHAVAMI, 1995).

López (2003) apud Padovan (2010) fez menção que devem ser consideradas em qualquer estudo sobre bambu os seguintes aspectos:

a) Nos colmos inteiros: as propriedades mecânicas variam da base para o topo do colmo. Se a altura útil do colmo for dividida em três partes, na maioria dos casos a parte superior é a mais resistente em compressão e flexão do que a mediana e a inferior. A parte central, onde ocorrem os internós mais longos, é a mais resistente em tração, enquanto que a parte inferior do colmo apresenta, geralmente, menores valores de resistência mecânica;

b) No internó: as fibras são mais curtas quando próximas ao nó e, mais longas quando estão no centro do internó, conseqüentemente, a parte mais resistente corresponde à região central do colmo;

c) Na parede do colmo: a massa específica, as resistências em tração e em compressão aumentam da parte interna para a externa, devido a maior

quantidade de fibras, portanto, a região de maior resistência é o terço externo da parede, e a mais fraca, o terço interno;

d) Em relação aos nós: a densidade nos mesmos, decorrente da menor ocorrência de células parenquimatosas, é mais elevada do que a obtida nos internós, mas, sua resistência à tração, flexão, compressão e cisalhamento são menores, isso se deve à descontinuidade da seção e aos desvios dos feixes de fibras.

Diversos autores como Ghavami (1989), Beraldo e Zoulalian (1995), Janssen (2000), Liese (2000), Hidalgo López (2003) apud Pereira e Beraldo (2007) comentaram que na determinação das características mecânicas dos colmos do bambu, o principal inconveniente tem sido a inexistência de uma padronização ou de uma normatização dos ensaios, o que tem levado à tendência de que cada pesquisador adote sua própria metodologia, dificultando a comparação entre os resultados obtidos.

#### **3.5.1.1. Teor de umidade**

O teor de umidade é definido como a porcentagem de massa de água do material em relação a sua massa seca. No bambu, a água é encontrada de três formas nos colmos do bambu: água absorvida ou que embebe as paredes das células, água química que compõe a estrutura da parede e água livre encontrada nas cavidades intracelulares. O teor de umidade é decrescente gradualmente no sentido da parte basal para a apical e também na camada externa é mais baixo do que na camada intermediária e interna. Os nós sempre apresentam valores mais baixos de umidade do que os internos (CNBRC, 2001).

Beraldo e Rivero (2003) definem que o teor de umidade de um colmo de bambu (em base seca) recém-cortado é de cerca de 80%. Esse valor pode variar de acordo com a idade do colmo e da posição escolhida neste para se efetuar a amostragem, além da época do ano em que foi realizado o abate. Após o corte do colmo, é necessário um período de cerca de um a quatro meses de secagem ao ar, para que o colmo possa atingir uma umidade constante na faixa de 10-15%.

López (2003) comenta que o ponto de saturação das fibras (PSF) em madeiras se encontra na faixa de 28% a 30%, enquanto que nos bambus este valor está compreendido entre 13 a 20%, conforme a espécie.

De acordo com a ABNT – NBR 7190/1997, anexo B, para se determinar o teor de umidade que corresponde à relação entre a massa da água nela contida e a massa da madeira seca, deve-se utilizar a equação 1.

$$U\% = \frac{m_i - m_s}{m_s} \quad (1)$$

onde:

$m_i$  é a massa inicial da madeira, em gramas

$m_s$  é a massa da madeira seca, em gramas.

Para se determinar a massa seca do material devem-se seguir os seguintes procedimentos:

- Determinar a massa inicial ( $m_i$ ) do corpo de prova com exatidão de 0,01g;
- Após a determinação da massa inicial, colocar o corpo de prova na câmara de secagem, com temperatura máxima de  $103^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ ;
- Durante a secagem, a massa do corpo de prova deve ser medida a cada 6 horas, até que ocorra uma variação, entre duas medidas consecutivas, menor ou igual a 0,5% da última massa medida. Esta massa será considerada como a massa seca ( $m_s$ );
- Conhecida a massa seca ( $m_s$ ) do corpo de prova, determina-se a umidade à base seca através da equação 1.

### 3.5.1.2. Densidades básica e aparente

Segundo Nogueira (2006) a densidade está diretamente relacionada à estrutura anatômica do colmo sendo influenciada pela maneira como os elementos anatômicos se arranjam e pelas espessuras de suas paredes celulares. Esses



elementos variam dentro do colmo, nos sentidos transversal e longitudinal. De acordo com Hidalgo Lopez (2003), a massa específica aumenta ao longo do colmo, apresentando 0,547 g/cm<sup>3</sup> na região basal, 0,607 g/cm<sup>3</sup> à meia altura e 0,675 g/cm<sup>3</sup> no topo. Segundo Liese (1998), a dos bambus varia entre 500 kg/cm<sup>3</sup> a 800 kg/cm<sup>3</sup>, dependendo principalmente do tamanho, da quantidade e da distribuição dos feixes de fibras ao redor dos vasos.

Pereira e Beraldo (2007) comentam que, quanto mais próximo das camadas externas do colmo (casca) for realizada a avaliação da amostra retirada maior será a massa específica do material.

Segundo o documento normativo da NBR 7190/1997, há dois tipos de densidade:

- Densidade básica ( $\rho_{bas}$ ): esta é uma massa específica convencional definida pela razão entre a massa seca e o volume saturado, sendo dada pela equação 2:

$$\rho_{bas} = \frac{m_s}{V_{sat}} \quad (2)$$

onde:

$m_s$  é a massa da madeira seca, em quilograma,

$V_{sat}$  é o volume da madeira saturada, em metros cúbicos.

O volume saturado é determinado pelas dimensões finais do corpo de prova submerso em água até que atinja massa constante, ou seja, com no máximo uma variação de 0,5% em relação à medida anterior.

- Densidade aparente ( $\rho_{ap}$ ): é uma massa específica convencional, definida pela razão entre a massa e o volume de corpos de prova com teor de umidade de 12%, geralmente, sendo dada pela equação 3:

$$\rho_{ap} = \frac{m_{12}}{V_{12}} \quad (3)$$

onde:

$m_{12}$  é a massa da madeira a 12% de umidade, em quilograma,

$V_{12}$  é o volume da madeira 12% de umidade, em metros cúbicos.

### 3.5.1.3. Estabilidade dimensional

Variações dimensionais podem ocorrer no bambu, devido à rápida absorção e posterior liberação de água. Este material pode se contrair aproximadamente 12% de seu diâmetro e 16% de sua espessura, quando tem apenas seis meses de idade, no entanto, na idade adulta, reduz sua contração para 4% a 7% do diâmetro e 3% a 7% na espessura da parede do colmo (VIJAY RAJ, 1991). Em relação à variação dimensional o bambu para apresentação de melhor coeficiente anisotrópico, ou seja, próximo a um, deve possuir idade superior a três anos, devido à maturação dos colmos onde este atinge o teor de máxima lignificação em sua estrutura anatômica.

Segundo Pereira e Beraldo (2007) a exemplo de outros materiais lignocelulósicos, o bambu apresenta deformações dimensionais quando é sujeito a variações em seu teor de umidade abaixo do ponto de saturação das fibras (PSF) ao ar, em torno de 20%.

Contrariamente o que ocorre nas madeiras, o bambu passa a se retrair desde o início do processo de secagem, e a higroscopicidade dos extrativos, como a sílica, presentes nas células de parênquima é a principal responsável pela absorção de água pelo colmo seco (LIESE, 1987).

Beraldo et al. (2003 a) comentam que durante a secagem do colmo aparecem os problemas ligados às variações dimensionais lineares, as quais são variáveis em função do eixo geométrico considerado. Os fenômenos de retração e inchamento são conseqüências da então aproximação ou afastamento, respectivamente, das cadeias celulósicas. Pelo fato de o bambu ser um material ortotrópico (variação dependente do eixo considerado), definem-se três variações lineares– longitudinal axial, radial e tangencial, quando se adota o uso de corpos de prova de seção retangular a variação radial refere-se à movimentação na direção

interior-casca, enquanto que a variação tangencial é tomada paralelamente à casca do bambu. Para o caso de corpos de prova cilíndricos pode-se considerar apenas duas variações lineares - axial e radial. Semelhante ao que ocorre com as madeiras, as variações dimensionais do bambu, segundo o eixo longitudinal, são desprezíveis. As variações dimensionais nos outros dois eixos, radial e tangencial são as mais importantes e apresentam valores relativamente próximos.

De acordo com a NBR 7190/1997, a estabilidade da madeira é caracterizada pelas propriedades de retração e inchamento nas três direções, correspondentes às direções axial, radial e tangencial, respectivamente. Devem ser determinadas a retração tangencial, a retração radial, a retração axial, o inchamento tangencial, o inchamento radial e o inchamento axial.

As deformações específicas de retração  $\epsilon_r$  e de inchamento  $\epsilon_i$  são consideradas como índices de estabilidade dimensional e são determinadas, para cada uma das direções preferenciais, em função das respectivas dimensões (L) da madeira saturada (verde) e seca, sendo dadas pelas equações apresentadas abaixo baseadas no documento normativo citado acima e também no documento normativo COPANT 462 1972.

$$\epsilon_{r,1} = \frac{(L_{1,sat} - L_{1,seca})}{L_{1,sat}} * 100 \quad (4)$$

$$\epsilon_{r,2} = \frac{(L_{2,sat} - L_{2,seca})}{L_{2,sat}} * 100 \quad (5)$$

$$\epsilon_{r,3} = \frac{(L_{3,sat} - L_{3,seca})}{L_{3,sat}} * 100 \quad (6)$$

$$\epsilon_{i,1} = \frac{(L_{1,sat} - L_{1,seca})}{L_{1,seca}} * 100 \quad (7)$$

$$\epsilon_{i,2} = \frac{(L_{2,sat} - L_{2,seca})}{L_{2,seca}} * 100 \quad (8)$$

$$\epsilon_{i,3} = \frac{(L_{3,sat} - L_{3,seca})}{L_{3,seca}} * 100 \quad (9)$$

onde:

os índices 1, 2 e 3 representam respectivamente as direções axial, radial e tangencial;

$\varepsilon_r$  = porcentagem de deformação específica de retração do bambu sendo calculado para as direções axial, radial e tangencial;

$\varepsilon_i$  = porcentagem de deformação específica de inchamento do bambu sendo calculado para as direções axial, radial e tangencial;

$L_{sat}$  = comprimento da amostra saturada em água em centímetros e,

$L_{seco}$  = comprimento da amostra seca em centímetros.

A variação volumétrica é determinada em função das dimensões do corpo de prova nos estados saturados e seco, sendo fornecida por:

$$\Delta V = \frac{V_{sat} - V_{seca}}{V_{seca}} \quad (10)$$

onde:  $V_{sat} = L_{1,Sat} \times L_{2,Sat} \times L_{3,Sat}$  ;  $V_{seca} = L_{1,seca} \times L_{2,seca} \times L_{3,seca}$ .

Em que:

$\Delta V$  é a variação volumétrica expressa em porcentagem;

$V_{sat}$  é o volume saturado em  $m^3$  e  $V_{seca}$  é o volume no estado seco em  $m^3$ .

#### 3.5.1.4. Coeficiente de anisotropia

De acordo com Galvão e Jankowsky (1985) apud Vicente et al. (2005) o coeficiente anisotrópico é utilizado para prever o comportamento da madeira quanto à variação dimensional. De uma forma geral quanto menor os coeficientes anisotrópicos, mais estáveis são as madeiras. O fator ideal de anisotropia seria um o que indicaria nula ou idêntica alteração das dimensões nos sentidos tangencial e radial. Quanto maior o desvio entre os movimento dimensional nesses dois sentidos, mais alto será o fator de anisotropia (NOCK et al., 1971).

Os coeficientes de anisotropia para retratibilidade e para o inchamento são obtidos através da relação entre a variação dimensional na direção tangencial e a variação dimensional na direção radial, conforme as equações 11 e 12:

$$\text{Coeficiente de Anisotropia para retratibilidade} = \frac{\varepsilon_{r,3}}{\varepsilon_{r,2}} \quad (11)$$

$$\text{Coeficiente de Anisotropia para inchamento} = \frac{\varepsilon_{i,3}}{\varepsilon_{i,2}} \quad (12)$$

onde:

$\varepsilon_{r,3}$  = deformação específica de retração do bambu no sentido tangencial;

$\varepsilon_{r,2}$  = deformação específica de retração do bambu no sentido radial;

$\varepsilon_{i,3}$  = deformação específica de inchamento do bambu no sentido tangencial; e

$\varepsilon_{i,2}$  = deformação específica de inchamento do bambu no sentido radial.

### 3.5.2. Propriedades mecânicas

A seguir será apresentada a propriedade mecânica de tração paralela às fibras referentes à madeira e que poderá ser utilizada como referência para a caracterização de uma espécie de bambu devido à ausência de documentos normativos.

#### 3.5.2.1. Tração paralela às fibras

A resistência à tração do bambu é elevada, e para algumas espécies pode atingir até 370 MPa. Isso torna atrativo o uso do bambu como um substituto para o aço especialmente quando for considerada a razão entre sua resistência à tração e massa específica (PEREIRA e BERALDO, 2007).

Abaixo segue a Tabela 2 de Ghavami (2002), apresentando a razão entre a tensão de tração e peso específico de alguns materiais.

Tabela 2. Razão entre tensão de tração e o peso específico de alguns materiais.

<b>Tipo de material</b>	<b>Resistência em tração <math>\sigma_T</math> (MPa)</b>	<b>Peso específico <math>\gamma</math> (N/mm<sup>2</sup>x 10<sup>-1</sup>)</b>	<b>R= <math>\sigma_T/\gamma \times 10^1</math></b>	<b>R Razão</b>
Aço CA 50	500	7,83	0,64	1
Alumínio	300	2,79	1,07	1,67
Ferro fundido	280	7,7	0,39	0,61
Bambu	120	0,8	1,5	2,34

Fonte: GHAVAMI, 2002 apud BRANDÃO, 2008 (Adaptada).

Nota-se que a razão R entre a resistência à tração do bambu e sua massa específica ( $\sigma/\gamma$ ) é mais do que 2,34 vezes aquela obtida para o aço CA 50. Em geral, a resistência à tração do bambu, com ou sem nó, situa-se entre 40 e 215 MPa, e o seu módulo de elasticidade varia entre 5,5 e 18 GPa (PEREIRA; BERALDO, 2007).

A montagem de um ensaio de tração do bambu é uma operação particularmente delicada. A simples pressão das garras da máquina de ensaio pode provocar a ruptura dos corpos de prova por compressão transversal às fibras. Se a pressão não for suficiente pode ocorrer o deslizamento do colmo durante a realização do carregamento. Nesse tipo de ensaio pequenas heterogeneidades existentes no material forçam a condução da ruptura em regiões de menor resistência, geralmente na área de contato entre o bambu e as garras da máquina de ensaio. Cabe lembrar que mesmo no estudo da madeira esse tipo de ensaio também é alvo de muitas críticas, sendo proposta sua substituição pelo ensaio indireto de tração obtido por meio do ensaio de flexão estática (PEREIRA; BERALDO, 2007).

Outra particularidade existente no ensaio de tração deve-se à heterogeneidade natural existente na talisca de bambu. Se no corpo de prova houver maior porcentagem das camadas externas (mais ricas em fibras), os resultados tenderão a ser mais elevados. A presença e a quantidade de nós nos corpos de prova também interferem de forma importante na magnitude dos

resultados, pois nesses pontos de singularidade ocorre o desvio das fibras, implicando em redução acentuada da resistência da talisca de bambu, quando submetido à tração. Isso pôde ser comprovado através do ensaio de tração de ripas laminadas considerando as regiões de base, meio e ponta, ou seja, analisando o colmo como um todo, a partir destes ensaios observou-se que a resistência à tração é muito afetada quando há a presença de nós, pois as amostras sem nó apresentaram valores de resistência superiores ao dobro daqueles obtidos pelas amostras que tinham nós (PEREIRA; BERALDO, 2007).

Para a determinação dos valores referentes à tração paralela às fibras segue-se a NBR 7190/1997, em que a resistência à tração paralela às fibras ( $f_{t0}$  ou  $f_{t0}$ ) é dada pela máxima tensão de tração que pode atuar em um corpo de prova alongado com trecho central de seção transversal uniforme de área  $A$  e comprimento não menor que  $8\sqrt{A}$ , com extremidades mais resistentes que o trecho central e com concordâncias que garantam a ruptura no trecho central, sendo dada por:

$$f_{t0} = \frac{F_{t0,max}}{A} \quad (13)$$

onde:

$F_{t0,max}$  é a máxima força de tração aplicada ao corpo de prova durante o ensaio, em Newtons;

$A$  é a área inicial da seção transversal tracionada do trecho central do corpo de prova, em metros quadrados;

$f_{t0}$  é a resistência à tração paralela às fibras, em megapascals.

A rigidez da madeira, na direção paralela, obtida pelo ensaio de tração paralela às fibras, é caracterizada pelo módulo de elasticidade determinado pelo trecho linear do diagrama tensão deformação específica. Para esta finalidade, o módulo de elasticidade deve ser determinado pela inclinação da reta secante à curva tensão x deformação, definida pelos pontos  $(\sigma_{10\%}; \epsilon_{10\%})$  e  $(\sigma_{50\%}; \epsilon_{50\%})$ , correspondentes respectivamente a 10% e 50% da resistência a tração paralela às fibras, medida no ensaio, sendo dado pela equação 14.

$$E_{t0} = \frac{\sigma_{50\%} - \sigma_{10\%}}{\varepsilon_{50\%} - \varepsilon_{10\%}} \quad (14)$$

onde:

$\sigma_{10\%}$  e  $\sigma_{50\%}$  são as tensões de tração correspondentes a 10% e 50% da resistência  $f_{t0}$ , representadas pelos pontos 71 e 85 do diagrama de carregamento (Figura 6) e,  $\varepsilon_{10\%}$  e  $\varepsilon_{50\%}$  são as deformações específicas de tração medidas no corpo-de-prova alongado, correspondentes às tensões  $\sigma_{10\%}$  e  $\sigma_{50\%}$ , respectivamente.

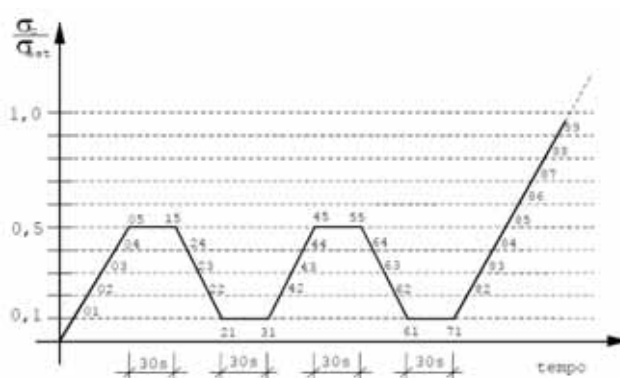


Figura 6- Diagrama de carregamento para determinação da rigidez da madeira à tração.

Fonte: NBR 7190:1997, Anexo B.

### 3.6. Tratamento do bambu

O bambu, apesar de sua alta resistência, não está imune ao ataque de pragas e doenças. Quanto maior é a quantidade de amido presente na sua seiva, como é o caso do bambu da espécie vulgaris, mais atrativo ele se torna aos insetos. Dos insetos que atacam o bambu, dois são os mais comuns a broca do bambu (*Dinoderus minutus*) e o caruncho do bambu (*Rhinastus lastistermus*). São insetos minúsculos, que atacam transformando a parte lenhosa do bambu em pó (ARAÚJO, 2007).

Segundo Azzini e Beraldo (2001), a durabilidade natural de materiais fibrosos, tanto para a madeira como para o bambu, é o intervalo de tempo em que



os mesmos permanecem inalterados, sem que tenha sido realizado qualquer tipo de tratamento preservativo. Os diversos organismos que atacam a madeira e o bambu são denominados xilófagos (*xylo* = madeira; *phago* = que se alimenta de), destacando-se dentre eles bactérias, fungos e insetos.

Vários são os métodos de tratamento do bambu com a finalidade de, após o corte, aumentar a durabilidade do mesmo, sem perda de suas qualidades mecânicas e também estéticas. Os métodos são divididos em dois tipos: químicos e térmicos.

Cada vez mais pesquisadores buscam métodos naturais para o tratamento do bambu, usando substâncias como o neem, tiririca, eucalipto e tanino da acácia negra. Entre os produtos químicos mais utilizados na atualidade, destacam-se o CCA (cobre, cromo e arsênico), o Pentox, o Bórax (com ácido bórico), solução de cal e octaborato. Por propiciarem boa retenção e possuírem baixa toxicidade os preservativos à base de boro são os mais recomendados (ARAÚJO, 2007).

Segundo Lepage (1986) apud Xavier (2004) os produtos químicos utilizados na preservação do bambu similares à madeira são os oleossolúveis (creosoto, alcatrão e pentaclorofenol) ou sais hidrossolúveis (arseniato de cobre cromatado – CCA e borato de cobre cromatado – CCB). Os sais de boro não costumam ser utilizados em contato direto com o solo ou com a água, devido ao processo de lixiviação da solução, e conseqüente perda percentual do agente preservante.

Segundo Pereira e Beraldo (2007) os produtos químicos utilizados como métodos de tratamento podem ser principalmente hidrossolúveis formados por produtos preservativos solúveis em água e constituídos pela associação de vários tipos de sais, cujas soluções aquosas penetram nos elementos anatômicos do bambu e reagem com a lignina formando então compostos insolúveis - tóxicos aos organismos xilófagos. Estes sais são: sulfato de cobre ou de zinco, dicromato de sódio ou de potássio, ácido bórico ou crômico.

Os oleossolúveis são representados principalmente pelo pentaclorofenol (pó-da-China), atualmente com restrição de venda em vários países. A concentração do pentaclorofenol é de 5% em massa e, para que não ocorra alteração da cor dos colmos, deve-se utilizar o óleo diesel como solvente. Existem diferentes formulações

comerciais à base de pentaclorofenol, preparadas com solventes e aditivos. Estes solventes podem ser: óleo diesel, querosene ou aguarraz. Como aditivos empregam-se inseticidas, como é o caso do produto de marca comercial Pentox.

Outra possibilidade de tratamento de material lignocelulósico é denominado tratamento térmico, em que a ação do calor pode dar-se de maneira relativamente intensa, devido às transformações estruturais que ocorrem durante a combustão, conforme se observa para a madeira (BRITO, 1992 apud COLLA et al., 2010). Uma das etapas mais importantes do tratamento térmico é a seleção da faixa de temperatura.

A durabilidade do bambu está diretamente relacionada à forma de tratamento que o colmo receberá e à destinação do uso. A presença de amido é comprovadamente o ponto fraco do bambu, por estar relacionada com o ataque da broca (*Dinoderus minutus*). Em condições naturais, a durabilidade do bambu se limita a dois anos, tornando-se, portanto, fundamental o processo de tratamento (RIVERO, 2003).

### 3.6.1. Biologia da *Dinoderus minutus*

*Dinoderus minutus* é uma espécie de besouro do gênero *Dinoderus* sp, Sub-Família *Dinoderinae*, Família *Bostrichidae* e Ordem *Coleoptera* (BINDA e JOLY, 1991; MYERS et al., 2005 apud MATOSKI, 2005).

A broca *Dinoderus minutus* diferencia-se dos demais insetos da família *Bostrichidae*, pelas duas suaves depressões arredondadas que possui no dorso do pronoto, nas extremidades próximas aos élitros (SILVA; FARONI, 1994 apud SARLO, 2000).

A larva de *D. minutus* possui as seguintes características: é branca com cabeça hipognata parcialmente esclerotizada e profundamente retraída; corpo escarabeiforme em forma de “C”, possui comprimento de 4 mm e largura do protórax de 1,0 mm. As antenas são 3-segmentadas (transversal, alongado e curto); pernas protorácicas; abdômen com 9 segmentos visíveis com franja de cerdas laterais (COSTA et al., 1988 apud MATOSKI, 2005).

Spilman (1982) relata que a *D. minutus* é uma espécie de besouro cosmopolita, que se adapta com facilidade em diferentes regiões do mundo, comum em estoques de bambu e também de alimentos secos (MATOSKI, 2005).

Haojie et al. (1996) apud Matoski (2005), afirmam que a incidência de ataque por brocas no bambu tem forte correlação com a abundância de nutrientes, pois o amido, os carboidratos solúveis e as proteínas são nutricionalmente essenciais a estas brocas. Além disso, os ataques diferenciam-se significativamente entre as diferentes espécies de bambu, local de crescimento (por exemplo, lugares quentes são mais propícios para o ataque destas brocas), tempo, idade, método de transporte e também estoque.

A infestação por *D. minutus*, se caracteriza pela presença de pó fino resultante do material infestado cuja coloração depende da coloração do bambu. O ataque se inicia 24 horas após ter ocorrido o corte dos colmos, caracterizado por furos no sentido longitudinal a alguma fratura (PLANK, 1948 apud SARLO, 2000). Após a abertura da galeria para oviposição, o inseto fecha-a com o próprio pó da do material. As larvas são as responsáveis pelos maiores danos causados aos colmos. Quando as larvas recém-eclodidas começam a se alimentar, escavam galerias paralelas aos vasos da madeira (SARLO, 2005).

Adultos e larvas (Figura 7) podem ser encontradas em qualquer época do ano, porém, eles possuem uma menor atividade no período de inverno.

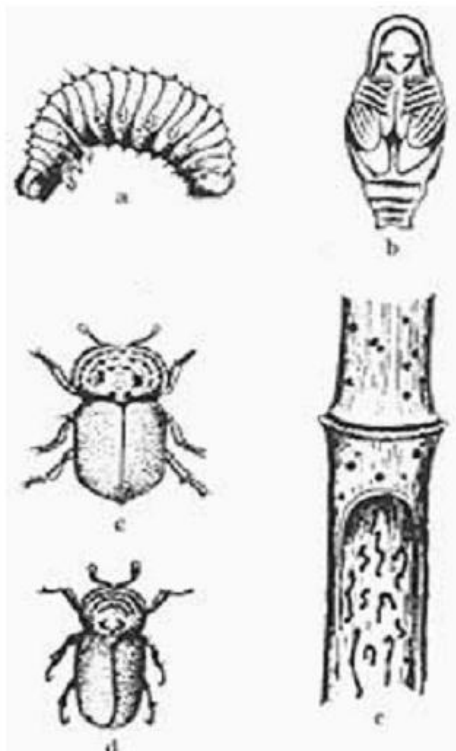


Figura 7- (a) larva de *Dinoderus minutus*; (b) pupa; (c) adulto; (d) adulto *Dinoderus minutus*; (e) danos causados mostrando os túneis e galerias.

Fonte: Courtesy: India Forester, N<sup>o</sup>. 10, 1988 apud MATOS Jr., 2004.

Os ovos são postos individualmente nos túneis feitos pelos adultos, em média de cinco a oito ovos por dia. Em grande escala, o besouro adulto (Figura 8), causa uma grande rede de túneis inutilizando o bambu, pois há uma perda das características físicas e estéticas (Figura 9).

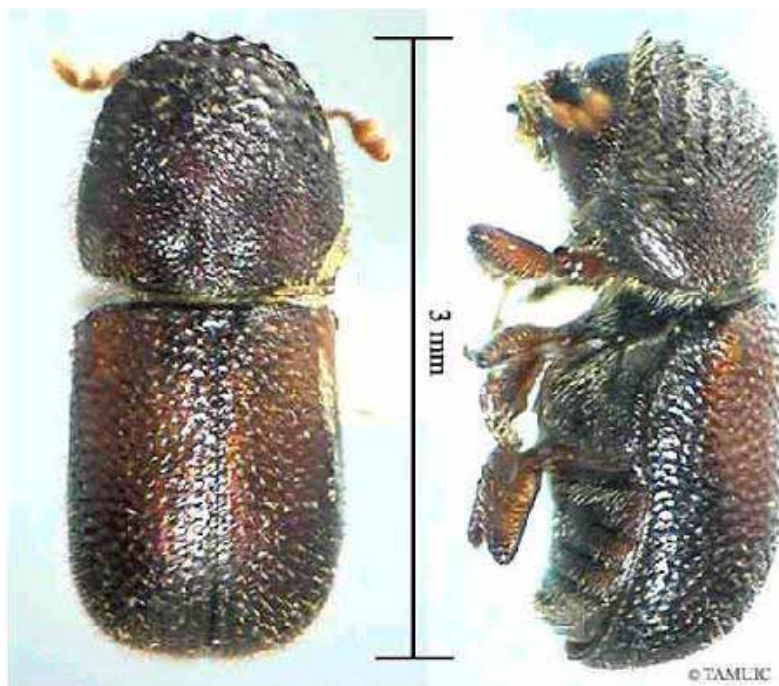


Figura 8- Perfis da *Dinoderus minutus*.

Fonte: <[http://insects.tamu.edu/images/animalia/arthropoda/insecta/coleoptera/bostrichidae/dinoderus\\_minutus\\_dorsal\\_m\\_final.jpg](http://insects.tamu.edu/images/animalia/arthropoda/insecta/coleoptera/bostrichidae/dinoderus_minutus_dorsal_m_final.jpg)> apud BRANDÃO, 2008.

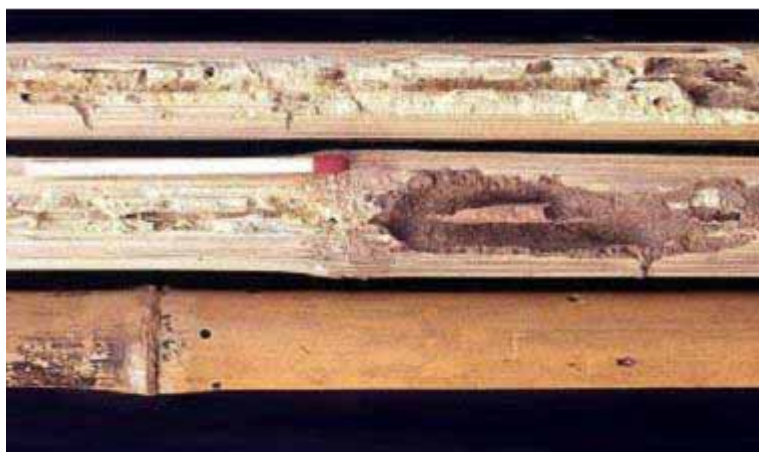


Figura 9- Formação de túneis e galerias dentro dos colmos.

Fonte: MATOS Jr., 2004.

O controle, se o colmo ainda não contiver besouros em seu interior, pode ser realizado de maneira preventiva mergulhando os colmos em soluções de 9% (m/v) de ácido bórico. Se o besouro já está alojado, pode se fazer um controle químico com o uso de inseticidas (MATOS Jr., 2004).

### 3.6.1.2. Ocorrência e hospedeiros

A espécie *D. minutus* é encontrada na China e na maioria dos países Sul Asiáticos, onde existem ou ocorrem três gerações na China e três a quatro gerações nos países Sul Asiáticos por ano (HAOJIE et al., 1996 apud MATOSKI, 2005).

Já no Brasil existem diferentes espécies de bambu que podem ser atacados por esta broca sendo poucos os trabalhos a respeito da resistência natural dessas espécies a este tipo de agente (SARLO, 2000).

### 3.6.1.3. Ciclo de vida

De acordo com Plank (1948) apud Sarlo (2000), o ciclo de vida desse inseto pode ser resumido como segue:

- O período de ovoposição é de cerca de 41 dias e o tempo médio de vida é de 110 dias, isso pode variar entre fêmeas (79 dias) e machos (128 dias);
- Os ovos possuem como características uma coloração branca, superfície rugosa e formato alongado. A incubação tem um período médio entre cinco e seis dias e a fêmea produz, em média, cinco ovos por dia;
- O desenvolvimento larval desse inseto é constituído de quatro ínstaes e ocorre no período aproximado de 42 dias (seis semanas), com alimentação pequena no início, tornando-se mais voraz à medida que as larvas atingem os últimos ínstaes;
- A pupação ocorre dentro da câmara preparada pela larva ao concluir sua mineração na madeira. O período pré-pupal inicia-se 24 horas antes da última ecdise (mudança periódica da pele da larva). A pupa possui cor amarelo-clara, cujo período de pupação é, em média, de quatro dias. O período da fase de ovo a adulto é de, aproximadamente, 52 dias (7 semanas e 3 dias);
- Os adultos possuem o corpo cilíndrico endurecido e hábito crepuscular sendo observados mais ativos em condições de baixa luminosidade, sendo normalmente observados voando nos finais de tarde. Fatores como a

luminosidade e a temperatura são críticos na questão da atividade de vôo dos adultos, porém a temperatura exerce influência em menor escala.

## 4. MATERIAIS E MÉTODO

A parte experimental dos ensaios físico-mecânicos e tratamentos preservativos realizados com a espécie de bambu *Guadua angustifolia* foram conduzidos no Laboratório de Propriedades dos Materiais do Campus Experimental de Itapeva da Universidade Estadual Paulista (UNESP). Os ensaios físicos se referem à determinação do teor de umidade, densidades básicas e aparentes e, também ao coeficiente de anisotropia. Já com relação às propriedades mecânicas foi realizado o ensaio de tração paralela às fibras do bambu somente com os corpos de prova em formato de taliscas.

### 4.1. Origem da espécie empregada

A espécie de bambu utilizada: *Guadua angustifolia* é proveniente de doações da Fazenda Manduri e do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC). Por se tratar de doação torna-se impossível conhecer dados referentes ao plantio, a idade e ao manejo, principalmente.

### 4.2. Caracterização física das taliscas de bambu da espécie *Guadua angustifolia*

Para se realizar a caracterização física da espécie mencionada foi necessário que diversos procedimentos fossem seguidos que serão apresentados a seguir.



#### 4.2.1 Processamento dos corpos de prova

As taliscas foram obtidas através da usinagem, sendo que este procedimento aconteceu no Laboratório de Processamento da Madeira do Campus Experimental da UNESP de Itapeva, seguindo as etapas:

- Foram realizados na superfície externa dos bambus pequenos rasgos (com a profundidade pouco maior que a espessura da parede), na direção axial, utilizando-se para isso uma serra circular e uma guia para melhor precisão e segurança do operador de máquina (Figura 10);



Figura 10- Serra circular e apoio para peças roliças.

- Os bambus, já com os rasgos, foram lançados contra o solo, com o objetivo de simplesmente separar as ripas que foram obtidas na etapa anterior;
- Com o auxílio de uma serra fita da BALDAN modelo SF-3/600 mm foram retiradas as partes internas dos nós e, outras saliências externas (Figura 11);



Figura 11- Serra fita.

- Para que se pudesse padronizar as espessuras das ripas utilizou-se uma desengrossadeira modelo DGR-4 (400 mm) da marca BALDAN (Figura 12);



Figura 12- Desengrossadeira.

- A regularização das laterais das ripas, devido a imprecisão do processo, foi realizada através de uma desempenadeira ROCCO, modelo PM5350 (Figura 13);



Figura 13- Desempenadeira.

- Os corpos de prova foram passados pela esquadrejadeira da VERRY, modelo Life, para deixá-los no comprimento exigido;
- Para dar melhor acabamento dos corpos de prova utilizou-se uma lixadeira de fita e disco da BALDAN, modelo SF-3/600 mm.
- Para os corpos de prova que foram utilizados nos ensaios de tração paralela às fibras utilizou-se uma tupa da BALDAN TU-3 para realizar a parte central dos mesmos (Figura 14).



Figura 14- Tupa utilizada para lixar.

As dimensões dos corpos de prova e os procedimentos utilizados para a condução tanto dos ensaios físicos quanto dos mecânicos foram adaptadas da NBR

7190/1997, específica para a madeira, devido à inexistência de documento normativo específico para o bambu, inclusive nacional.

#### **4.2.3. Ensaio das propriedades físicas**

Para a realização dos ensaios de propriedades físicas utilizou-se corpos de prova nas dimensões 30 x 50 x 20 mm (largura x espessura x comprimento), que se referem as direções tangencial, axial e radial, respectivamente. Devido à estrutura anatômica do bambu as direções tangencial e radial foram adaptadas conforme a espessura da parede do colmo e a largura da ripa.

Para estes ensaios também foi necessária a utilização de uma câmara climática TE 4001 TECNAL, parametrizada com temperatura de 20°C e umidade relativa de 60% com o intuito de estabilizar a umidade das amostras em 12%. Utilizou-se também uma balança DIGIMED KN4000 com precisão de 0,01g, um paquímetro digital DIGIMESS STAINLESS STEEL com precisão de 0,01 mm e uma estufa para secagem e esterilização da MARCONI, modelo MA 033.

O documento normativo NBR 7190/1997 estabelece que para uma caracterização mínima de resistência para espécies poucos conhecidas deve-se utilizar 12 corpos de prova, sendo assim, para cada conjunto de ensaios este número foi criteriosamente seguido.

##### **4.2.3.1. Determinação do teor de umidade**

Para a determinação do teor de umidade utilizou-se corpos de prova de seção retangular com as seguintes dimensões: 20 x 30 mm e comprimento de 50 mm.

Primeiramente através de uma balança analítica determinou-se a massa inicial ( $m_i$ ), do corpo de prova.

Em seguida, a amostra foi conduzida a estufa de secagem com temperatura de  $103 \pm 2^\circ\text{C}$ . Assim, durante todo o processo de secagem, foram realizadas pesagens dos corpos de prova em um intervalo de aproximadamente seis horas até que a variação entre duas pesagens consecutivas não fosse maior que 0,5%, obtendo-se então a massa seca, ou massa final ( $m_f$ ) das amostras analisadas. Após determinadas as massas úmida e seca das amostras pôde-se então realizar os cálculos pertinentes para se obter o teor de umidade.

#### **4.2.3.2. Determinação da densidade**

Para a determinação das densidades básica e aparente também seguiu-se a NBR 7190/1997. Para ambos os ensaios utilizaram-se 12 corpos de prova ausentes de nó e com dimensões de 30 x 10 x 50 mm (largura x espessura x comprimento), onde adequou-se a espessura do corpo de prova utilizado com a espessura da parede do colmo do bambu.

Inicialmente, foram efetuadas três marcações nas três direções (tangencial, radial e axial) dos corpos de prova, em seguida estes foram pesados e mensurados em todas as direções marcadas. Feito isto, estes corpos de prova foram colocados em um recipiente com água até ficarem saturados, ou seja, até que os vasos e espaços vazios destas amostras estivessem preenchidos totalmente com água, permanecendo então, submersos.

Em seguida, os corpos de prova foram mensurados novamente para se obter o volume saturado de cada amostra, sendo então conduzidos a estufa de secagem a uma temperatura de  $103 \pm 2^\circ\text{C}$ , onde foram sendo realizadas novas mensurações dos corpos de prova até que a variação entre duas mensurações consecutivas com um intervalo de tempo entre uma medição e outra não fosse superior a 0,5%, encontrando-se assim, a massa seca das amostras. Logo, com a massa seca determinada pôde-se calcular a densidade básica.

Para a determinação da densidade aparente os corpos de prova foram acondicionados em uma câmara climática com temperatura de  $20^\circ\text{C}$  e umidade relativa de 60% para que então, após determinado período estas amostras

atingissem umidade de 12%. Atingido este valor, os corpos de prova foram pesados e mensurados nas três direções (axial, radial e tangencial) a fim de se obter o volume a 12%. Conhecendo-se então a massa e o volume a 12% pôde-se calcular a densidade aparente da espécie de bambu analisada.

#### 4.2.3.3. Determinação da estabilidade dimensional

Para a determinação da estabilidade dimensional do bambu foram utilizadas 12 corpos de prova com dimensões de 30 x 10 x 50 mm (largura x espessura x comprimento) isentos de nó e provenientes da região mais próxima à casca. Primeiramente foram realizadas três marcações nas três direções dos corpos de prova (axial, tangencial e radial) (Figura 15 (a), (b) e (c), respectivamente), medindo-os e pesando-os logo após terem sido realizadas as marcações.

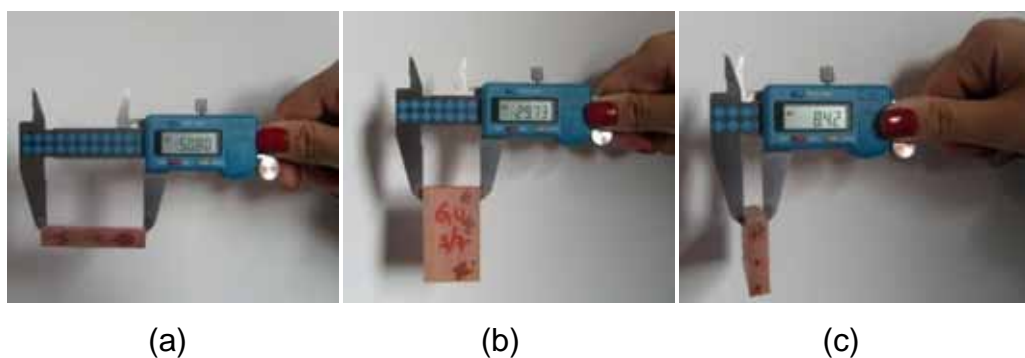


Figura 15- (a) Mensuração da direção axial; (b) Mensuração da direção tangencial e (c) Mensuração da direção radial.

Em seguida foram colocados em um recipiente com água para a saturação (Figura 16).



Figura 16- Saturação das amostras em água.

Medições e pesagem foram realizadas após duas horas, 24 horas e 30 dias. Após a saturação os corpos-de-prova ficaram expostos ao ar livre durante um período de sete dias, em seguida permaneceram por 24 horas em uma estufa climatizadora a 20°C. Posteriormente a este processo, os corpos de prova foram levados para a estufa de secagem nas temperaturas de 40°C, 60°C, 80°C e 100°C, permanecendo em cada temperatura por 24 horas seguidas por pesagens e medições. Após a obtenção e armazenamento de todos estes dados foram realizados os cálculos pertinentes a este ensaio.

### 4.3. Tratamentos preservativos

Para a realização dos tratamentos preservativos dos colmos de bambu utilizaram-se os seguintes produtos: neem, ácido pirolenhoso de eucalipto (ÁCP), ácido bórico (ÁB), ácido pirolenhoso de *Bambusa vulgaris* (ÁPBV) e pentox (Figura 17), além de ter-se realizado o tratamento térmico da espécie de *Guadua angustifolia*.



Figura 17- Corpos de prova tratados com ácido pirolenhoso de eucalipto (à esquerda), ácido pirolenhoso de *Bambusa vulgaris* (à direita- parte inferior) e Neem (à direita- parte superior).

#### 4.3.1. Tratamento com produtos químicos

O tratamento com os produtos químicos citados no tópico 4.2., foi realizado da seguinte maneira:

- Primeiramente, os corpos de prova já processados no formato exigido pela NBR 7190/1997 para serem utilizados nos ensaios de tração, foram colocados em recipientes contendo cada tipo de preservativo com concentração de 10% (m/v), sendo utilizados no total cinco recipientes um para cada tipo de tratamento;
- Todos os corpos de prova, totalizando 14 para cada tipo de tratamento por imersão, ficaram em repouso durante dois dias nos recipientes contendo os produtos, exceto os corpos de prova que estavam sendo tratados com pentox, que permaneceram apenas cerca de dois minutos em contato com o produto. Estes tempos foram seguidos devido às orientações dos fabricantes (somente os três corpos de prova de referência, ou seja, tratados mas sem a exposição ao ataque dos insetos, foram ensaiados com relação à resistência à tração. Os demais foram colocados em locais susceptíveis ao ataque dos insetos xilófagos);



- Após o tempo determinado para cada tipo de tratamento os corpos de prova foram retirados dos recipientes e permaneceram em “gavetas abertas” para que pudessem passar pelo processo de secagem (Figura 18).



Figura 18- Gavetas contendo os corpos de prova passando pelo processo de secagem.

Posteriormente a secagem, os corpos de prova foram submetidos ao ensaio de tração paralela às fibras com o objetivo de analisar a influência de cada tratamento nesta propriedade mecânica.

- A Figura 19 apresenta os corpos de prova que sofreram tratamento com os produtos citados.



Figura 19- Corpos de prova com cada produto utilizado para o tratamento da espécie.

#### 4.3.2. Tratamento térmico

Para a realização do tratamento térmico, comumente conhecido como tratamento de termorretificação, foram utilizados 13 corpos de prova para cada temperatura, sendo que estas variaram de 10°C em 10°C abrangendo a faixa de 140°C à 210°C (somente os três corpos de prova de referencia foram ensaiados, os demais foram colocados em locais susceptíveis ao ataque dos insetos xilófagos).

Inicialmente obteve-se baseado na literatura consultada de Pessoa et al. (2006) e, através de cálculos, a taxa de aquecimento, ou seja, o quanto se deveria variar (aumentar) a temperatura da estufa (210°C) em 8 horas, para padronizar todas as demais medições. Tal taxa constituiu-se de aumentar em 6° C a temperatura da estufa a cada meia hora até o corpo de prova atingir as faixas estabelecidas de temperaturas. Este procedimento foi utilizado devido à ausência de controle interno da taxa de aquecimento na estufa utilizada.

Encontrada esta taxa de aquecimento os corpos de prova foram colocados na estufa modelo MA 033, da MARCONI, já pré-aquecida com temperatura de 100 ° C, e então a cada meia hora aumentava-se de maneira manual

a temperatura em 6 ° C até atingir a temperatura desejada, sendo que quando estava próximo de se atingir a temperatura almejada, em vez de se aumentar 6° C as últimas alterações eram feitas com 7° C, para se estabilizar na temperatura exata. Atingida a temperatura, a estufa foi desligada e as amostras permaneceram cerca de 12 horas resfriando. Este procedimento foi realizado para todas as temperaturas: 140°C, 150° C, 160°C, 170°C, 180°C, 190°C, 200°C e 210°C.

A Figura 20 mostra os corpos de prova após serem termorretrificados.



Figura 20- Corpos de prova utilizados em cada temperatura no tratamento térmico.

#### 4.4. Ensaio de tração paralela às fibras

Utilizou-se para a condução do ensaio de tração paralela às fibras uma Máquina Universal de ensaio EMIC, modelo DL, com capacidade de 30000 N, provida de um sistema automatizado para a aquisição de dados e um extensômetro, para medir o deslocamento e, posteriormente calcular o módulo de elasticidade (Figura 21).

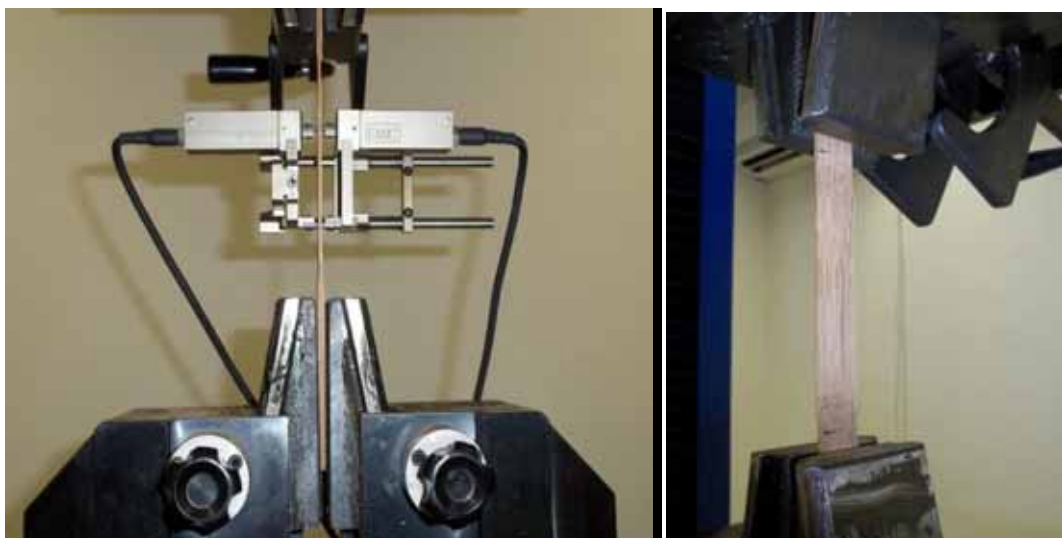


Figura 21- Corpo de prova na Máquina Universal de Ensaio sofrendo o teste de tração paralela às fibras.

Os ensaios de tração foram realizados com corpos de prova com tratamento e sem tratamento (térmico ou com preservativos), ambos sem terem sido expostos ao ataque das brocas, para servirem como grupo controle do trabalho que terá prosseguimento para permanecerem em exposição ao ataque das brocas (Figura 22).

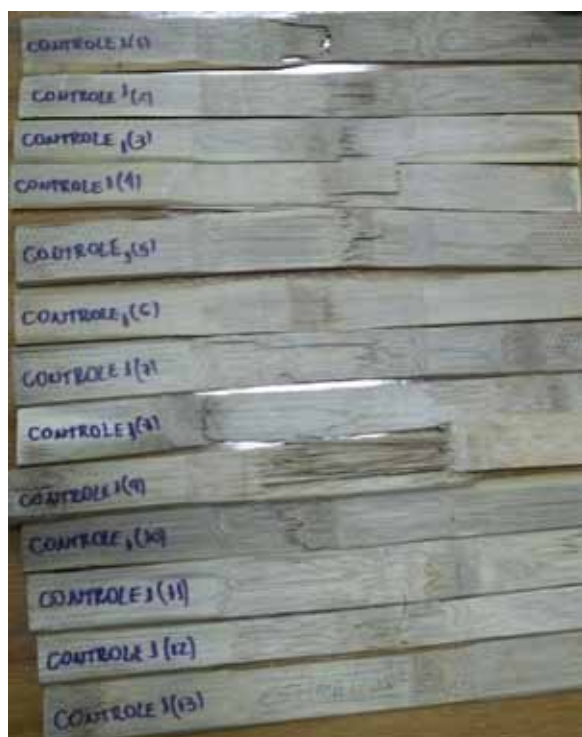


Figura 22- Corpos de prova sem tratamento e sem ataque.

As dimensões dos corpos de prova seguiram as citadas pelos autores Pereira e Greco (2010) em seu trabalho, ou seja, os corpos possuíam comprimento de 300 mm, largura de 20mm, espessura de 5mm e espessura central com metade da largura da talisca, ou seja, 2,5mm (Figura 23).

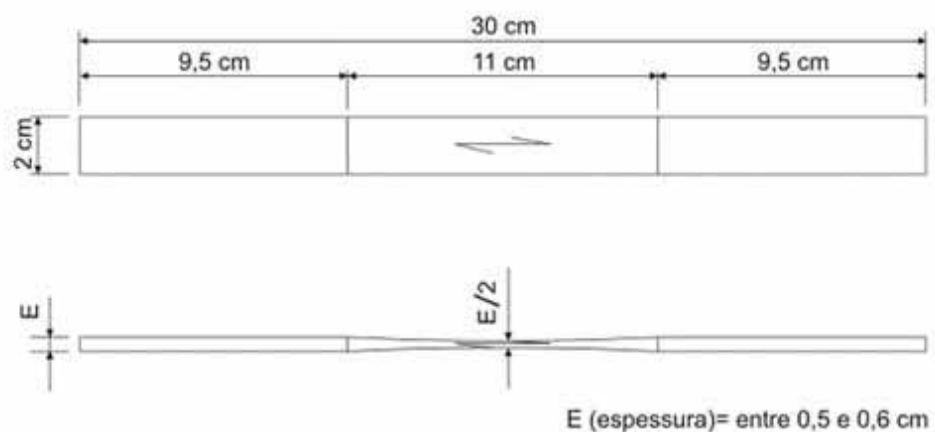


Figura 23- Dimensões do corpo de prova para o ensaio de tração.

Fonte: PEREIRA; GRECO, 2010.

A Figura 24 apresenta um corpo de prova após ter sido realizado o ensaio de tração paralela às fibras.



Figura 24- Corpo de prova após ter sofrido tração paralela às fibras.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir serão apresentados os resultados pertinentes aos ensaios realizados com o bambu da espécie *Guadua angustifolia*.

### 5.1. Teor de umidade

Os resultados do teor de umidade base seca das taliscas utilizadas para os ensaios físicos foram calculados através da equação 1. Na Tabela 3, foram apresentados os respectivos valores de teor de umidade de cada corpo de prova, a média, desvio padrão (DP) e coeficiente de variação (CV).

Tabela 3. Teor de umidade de cada talisca da espécie *Guadua angustifolia*.

Corpos de prova	Massa Inicial (g)	Massa Final (g)	Ubs (%)
1	10,33	8,64	19,56
2	9,80	7,99	22,65
3	9,85	8,08	21,91
4	9,57	7,83	22,22
5	9,90	8,16	21,32
6	9,23	7,63	20,97
7	8,14	6,80	19,71
8	8,61	7,11	21,10
9	8,91	7,39	20,57
10	9,71	8,20	18,41
11	10,12	8,60	17,67
12	8,73	7,38	18,29
	<b>Média (%)</b>		20,77
	<b>DP (%)</b>		1,63
	<b>CV (%)</b>		7,86

Através da análise da média pode-se dizer que o teor de umidade encontrado está acima da média do teor de umidade ao ar do colmo da espécie de *Guadua angustifolia* encontrada por Lopes et al. (2000) de 15,61% e também está

acima da variação do teor de umidade natural de 13% e 14% encontrada por Ghavami (2005) para esta espécie.

Isto pode ser consequência do período de secagem ao ar ter sido menor do que o tempo necessário para que o colmo atingisse cerca de 10 a 15% de umidade, ou seja, cerca de um a quatro meses, conforme afirma Pereira e Beraldo (2003). Sendo que os bambus foram doados não se pôde afirmar o tempo em que ficaram expostos para ocorrer uma secagem satisfatória.

## 5.2. Densidades aparente e básica

A densidade aparente de cada talisca de *Guadua angustifolia* pôde ser calculada através da equação 3, em que o teor de umidade de cada corpo de prova se encontrava a 12%, obtendo-se assim os resultados expostos na Tabela 4.

Tabela 4. Densidade aparente dos corpos de prova da espécie *Guadua angustifolia*.

Corpos de prova	Massa x 10 <sup>-3</sup> (kg)	Volume x 10 <sup>-3</sup> (m <sup>3</sup> )	Densidade (kg/m <sup>3</sup> )
1	10,33	0,0133	776,69
2	9,80	0,0133	739,06
3	9,85	0,0134	736,17
4	9,57	0,0125	763,16
5	9,90	0,0130	762,12
6	9,23	0,0124	747,37
7	8,14	0,0123	660,71
8	8,61	0,0127	675,82
9	8,91	0,0127	701,02
10	9,71	0,0127	765,17
11	10,12	0,0130	779,66
12	8,73	0,0130	672,06
<b>Média (kg/m<sup>3</sup>)</b>			743,22
<b>DP(kg/m<sup>3</sup>)</b>			43,00
<b>CV(%)</b>			5,79

De acordo com os valores obtidos, pode-se afirmar que o resultado encontrado está de acordo com a literatura encontrada, pois Janssen (2000), afirma que a massa específica aparente, ou a densidade, é uma das propriedades mais importantes do bambu, independentemente da espécie, e esta pode variar de 700 a 800 kg/m<sup>3</sup>, o que abrange o valor encontrado na média das densidades aparentes apresentada na Tabela 4 de 743,22 kg/m<sup>3</sup>.

A densidade básica de cada talisca da espécie utilizada pôde ser calculada através da equação 2, obtendo-se os resultados apresentados na Tabela 5.

Tabela 5. Densidade básica dos corpos de prova da espécie *Guadua angustifolia*.

Corpos de prova	Massa x 10 <sup>-3</sup> (kg)	Volume x 10 <sup>-3</sup> (m <sup>3</sup> )	Densidade (kg/m <sup>3</sup> )
1	8,64	0,0141	611,84
2	7,99	0,0140	571,53
3	8,08	0,0143	563,66
4	7,83	0,0138	566,15
5	8,16	0,0139	588,79
6	7,63	0,0139	548,73
7	6,80	0,0134	508,43
8	7,11	0,0140	508,56
9	7,39	0,0140	527,17
10	8,20	0,0141	580,99
11	8,60	0,0138	624,14
12	7,38	0,0129	571,79
<b>Média (kg/m<sup>3</sup>)</b>			568,84
<b>DP (kg/m<sup>3</sup>)</b>			36,53
<b>CV (%)</b>			6,42

Analisando o resultado da média das densidades básicas encontrada, de 568,84 kg/m<sup>3</sup>, pode-se dizer que este valor encontra-se dentro da faixa apresentada por Liese (1998) de que a densidade de massa dos bambus, independentemente da espécie, pode variar entre 500 a 800 kg/m<sup>3</sup>.



### 5.3. Estabilidade dimensional

Na Tabela 6 pode se encontrar os resultados referentes à retratibilidade da espécie utilizada, sendo que para se calcular a retratibilidades nas direções axial, tangencial e radial foi necessário utilizar as equações 4, 5 e 6 e, para se calcular o coeficiente de anisotropia também expresso na tabela, foi necessário utilizar a equação 11, referente ao coeficiente de anisotropia para o ensaio de retração. Juntamente com estes valores estão sendo apresentadas as médias, desvios padrões e coeficiente de variação referente a cada direção analisada do bambu e ao coeficiente de anisotropia.

Tabela 6. Retratabilidade e coeficiente de anisotropia do bambu *Guadua angustifolia*.

Taliscas	RETRATIBILIDADE (%)			COEFICIENTE DE ANISOTROPIA
	Direção Axial	Direção Tangencial	Direção Radial	
1	0,25	6,38	7,68	0,83
2	0,21	7,14	4,64	1,54
3	0,19	6,44	5,95	1,08
4	0,33	6,18	3,64	1,70
5	0,11	8,31	6,14	1,35
6	0,29	6,98	5,24	1,33
7	0,20	7,53	6,83	1,10
8	0,39	7,30	5,91	1,24
9	0,24	6,67	8,47	0,79
10	0,29	7,17	7,06	1,01
11	0,40	7,12	7,20	0,99
12	0,31	7,17	4,91	1,46
<b>Média (%)</b>	0,27	7,03	6,14	1,20
<b>DP (%)</b>	0,08	0,58	1,39	0,28
<b>CV (%)</b>	29,63	8,25	22,64	23,33

Como se pode observar e analisar de acordo com Pereira e Beraldo (2007) a variação dimensional na direção axial é praticamente desprezível, e a variação nas outras duas direções são relativamente iguais, fato este semelhante ao que ocorre na madeira.

Mas, há uma diferença entre o material madeira e o bambu quando se comparam as variações nas direções tangencial e radial. Os valores são relativamente próximos, mas para a madeira sabe-se que a variação na direção tangencial predomina em relação a variação na direção radial, sendo que essa predominância pode atingir em algumas espécies até o dobro em relação a direção radial, o que nem sempre acontece em algumas espécies de bambu. Como pode se observar na Tabela 6, alguns resultados encontrados para a variação na direção tangencial são inferiores aos encontrados na direção radial. Este comportamento é consequência da ausência de raios no bambu que reflete em uma maior variação dimensional nos colmos nesta direção.

A Tabela 7 apresenta os valores encontrados para o ensaio de inchamento nas três direções, calculados através das equações 7, 8 e 9. Para o coeficiente de anisotropia foi necessário utilizar a equação 12. Nesta Tabela também estão sendo expostos os valores da média, desvio padrão e coeficiente de variação referentes a cada direção analisada e do coeficiente de anisotropia.

Tabela 7. Porcentagem de inchamento nas três direções e coeficiente de anisotropia da espécie *Guadua angustifolia*.

Taliscas	INCHAMENTO (%)			COEFICIENTE DE ANISOTROPIA
	Direção Axial	Direção Tangencial	Direção Radial	
1	0,25	6,81	8,31	0,82
2	0,21	7,69	4,87	1,58
3	0,19	7,51	5,53	1,36
4	0,33	7,72	7,60	1,02
5	0,11	7,19	5,29	1,36
6	0,30	7,71	9,89	0,78
7	0,20	6,96	6,51	1,07
8	0,39	7,00	5,78	1,21
9	0,24	7,90	8,16	0,97
10	0,29	8,11	7,45	1,09
11	0,40	6,26	6,26	1,00
12	0,31	5,97	6,13	0,97
<b>Média (%)</b>	0,27	7,24	6,82	1,06
<b>DP (%)</b>	0,09	0,66	1,48	0,24
<b>CV(%)</b>	33,33	9,12	21,7	22,64

Analisando e comparando os resultados do ensaio de inchamento com o ensaio de retração, pode-se afirmar que o fenômeno que ocorre é o mesmo, ou seja, a variação dimensional na direção axial é praticamente desprezível, e em alguns casos os resultados encontrados para a variação na direção tangencial são inferiores aos encontrados para a direção radial, devido a ausência de raios que pode acarretar uma maior variação nessa direção anatômica.

Observando as médias do coeficiente de anisotropia apresentados nas Tabelas 6 e 7, nota-se que a relação entre as direções tangencial e radial estão próximas de um, o que indica nula ou idêntica alteração das dimensões nos sentidos tangencial e radial, como afirma Nock et al. (1971), conferindo assim uma maior estabilidade dimensional ao bambu.

Realizando uma analogia com o material madeira pode-se observar que o coeficiente de anisotropia apresentado no ensaio de retratibilidade se enquadra no quesito de qualidade excelente, como se analisa na Tabela 8.

Tabela 8. Coeficiente de anisotropia dimensional na retração, qualidade e uso da madeira.

<b>Coeficiente de anisotropia na Retração, <math>A_r</math></b>	<b>Qualidade da madeira</b>	<b>Utilização indicada para a madeira</b>
1,2 a 1,5	Excelente	Móveis finos, esquadrias, barcos, aparelhos musicais, aparelhos de esporte e etc..
1,5 a 2,0	Normal	Estantes, mesas, armários, enfim usos que permitam pequenos empenamentos.
Acima de 2,0	Ruim	Construção civil (observadas as características mecânicas), carvão, lenha e etc..

Fonte: NOCK et al., 1975 apud REVISTA AGRICULTURA TROPICAL, 2004.

Calculou-se também através da equação 10, a variação volumétrica das taliscas da espécie utilizada obtendo-se o resultado de 14,83%.

#### 5.4. Resistência à tração envolvendo diferentes tipos de tratamentos

Para a realização dos ensaios de tração paralela às fibras primeiramente realizou-se um ensaio destrutivo com um corpo de prova para se estimar a força de ruptura para a espécie de bambu *Guadua angustifolia*, obtendo-se como resultado 2578,13 Newtons (N).

A Tabela 9 apresenta os valores médios do módulo de elasticidade ( $E_{c0}$ ) e da resistência à tração paralela às fibras ( $f_{t0}$ ) para os corpos de prova com e sem nós (totalizando 12 corpos), que não receberam nenhum tipo de tratamento e nenhum tipo de ataque, ou seja, os corpos de prova denominados de referência (C.P.R.) para a comparação dos resultados obtidos das amostras que receberam tratamentos e que, posteriormente, ficarão expostas ao ataque das brocas. Através das Figuras 26 e 27 pode-se analisar a diferença significativa dos resultados obtidos para os corpos de prova com e sem nós.

Tabela 9. Módulo de elasticidade e resistência à tração dos corpos de prova de referência com e sem nó.

<b>Corpos de prova de referência (C.P.R.)</b>	<b><math>E_{c0}</math> (MPa)</b>	<b>DP (MPa)</b>	<b>CV (%)</b>	<b><math>f_{t0}</math> (MPa)</b>	<b>DP (MPa)</b>	<b>CV (%)</b>
Ausência de nó	18675	3825	20	110,78	67,32	61
Presença de nó	16932	4570	27	90,34	47,90	53

A Figura 25 apresenta os dados médios de resistência à tração paralela às fibras dos corpos de prova de referência (C.P.R.).

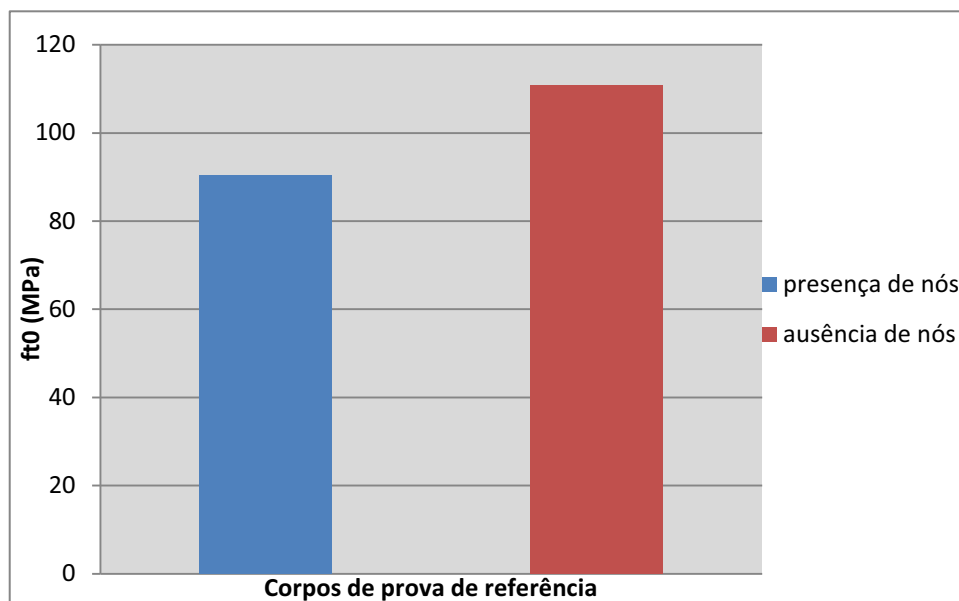


Figura 25-Resultados obtidos no ensaio de tração paralela às fibras para os corpos de prova de referência.

A Figura 26 apresenta os resultados médios do módulo de elasticidade dos corpos de prova de referência.

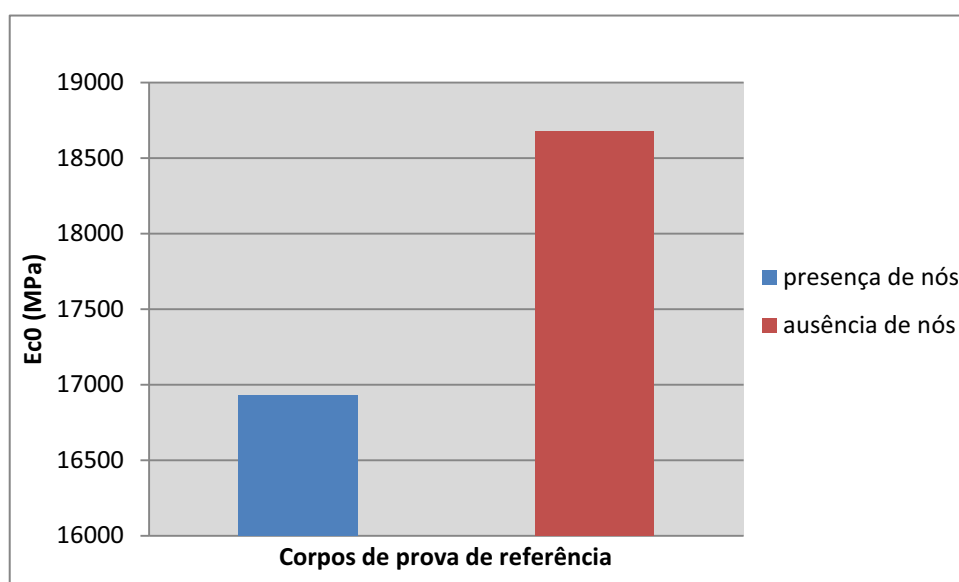


Figura 26- Módulo de elasticidade dos corpos de prova de referência.

Como se pode observar os corpos de prova com a presença de nós possuem resultados inferiores aos que não possuem nós em relação ao módulo de elasticidade e a resistência à tração paralelas às fibras. Segundo Pereira e Beraldo

(2007), isso ocorre porque na região do nó ocorre o desvio das fibras, o que implica em uma redução acentuada da resistência da talisca de bambu, quando submetida à tração.

Culzoni (1986) realizou ensaios de tração com a espécie *Guadua superba* obtendo valores de resistência à tração de 112,3 MPa e módulo de elasticidade de 8900 MPa para corpos de prova com nó. Comparando estes valores com os obtidos e apresentados na Tabela 9, pode-se dizer que a espécie *Guadua angustifolia* possui aproximadamente cerca do dobro do módulo de elasticidade da espécie *Guadua superba*, mas em relação a resistência à tração esta última espécie apresenta melhores resultados. Isto é de extrema importância, visto que a resistência à tração é uma das propriedades mecânicas mais importantes do bambu.

Já os corpos de prova com ausência de nó apresentaram uma resistência a tração de 137,8 MPa e módulo de elasticidade de 11200 MPa, o que novamente comprovou a superioridade do módulo de elasticidade da espécie *Guadua angustifolia* em relação a espécie analisada pelo autor, mas a inferioridade com relação à resistência a tração.

Analisando também os resultados encontrados por Ghavami e Marinho (2005) para a espécie *Guadua angustifolia* nota-se que a média das partes do bambu ausentes de nó resultam no valor de 101,67 MPa para a resistência a tração e de 17570 MPa para o módulo de elasticidade, já para as partes do bambu com nó apresentam 72,25 MPa para resistência a tração e 11600MPa para o módulo de elasticidade, comportamento semelhante ao que ocorreu nos ensaios realizados.

A Tabela 10 apresenta os resultados obtidos pela literatura consultada e, também os valores obtidos através dos ensaios.

Tabela 10. Análise dos resultados obtidos na literatura e ensaios realizados.

Espécie analisada	$E_{c0}$ (MPa)		$f_{t0}$ (MPa)		Autores
	Presença de nós	Ausência de nós	Presença de nós	Ausência de nós	
<i>G. superba</i>	8900	11200	112,30	137,80	Culzoni(1986)
<i>G. angustifolia</i>	11600	17570	72,25	101,67	Ghavami e Marinho (2005)
<i>G. angustifolia</i>	16932	18675	90,34	110,78	Autor (2011)

A Tabela 11 apresenta os valores médios dos módulos de elasticidade e resistência à tração paralela às fibras dos corpos de prova, com presença ou

ausência de nós, submetidos às diferentes temperaturas utilizadas para o tratamento térmico.

Tabela 11. Análise da resistência a tração paralela as fibras dos corpos de prova tratados termicamente.

Temperatura (°C)	$E_{c0}$ (MPa)		$f_{t0}$ (MPa)	
	Presença de nós	Ausência de nós	Presença de nós	Ausência de nós
140	14900	17550	74,96	137,36
150	14997	-	89,49	-
160	18603	21777	172,35	152,24
170	-	19881	-	197,36
180	15431	25693	83,76	223,57
190	17064	20319	73,47	65,76
200	17651	22029	84,71	121,29
210	16427	26649	27,24	87,55

A Figura 27 mostra como a resistência dos corpos de prova com e sem nós aumentaram ou diminuíram conforme a temperatura do tratamento.

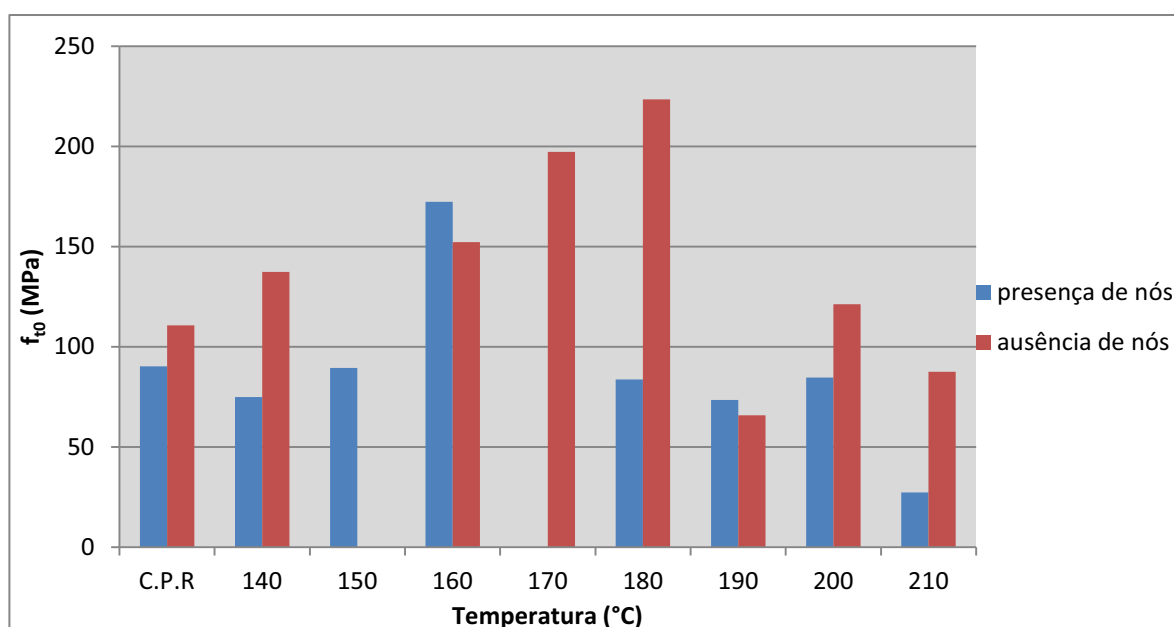


Figura 27- Módulo de elasticidade dos corpos de prova de referência.

Já a Figura 28 apresenta a média dos módulos de elasticidade obtidos para este tratamento.

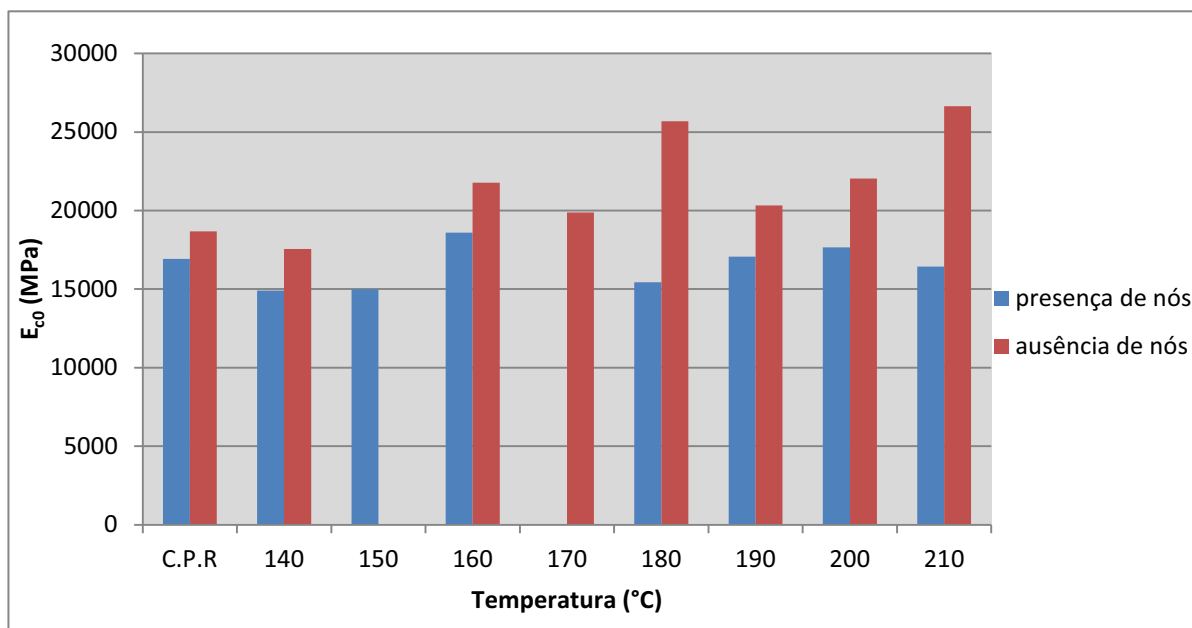


Figura 28- Análise do módulo de elasticidade dos corpos de prova de acordo com as temperaturas de tratamento.

Analisando a Tabela 11 e as Figuras 27 e 28, observa-se que exceto nas temperaturas de 160°C e 190°C, em todas as outras temperaturas que o bambu foi tratado termicamente e ensaiado a tração paralela às fibras, tanto o módulo de elasticidade como a resistência foram superiores nos corpos de prova sem nós do que nos que apresentavam algum nó na região que iria sofrer o esforço.

Os resultados que se apresentaram fora do padrão observado nas demais temperaturas podem ser explicados em decorrência de uma não percepção da ocorrência de nós, ou por consequência da densidade das taliscas em função das mesmas terem sido obtidas mais próximas da parede externa ou interna do bambu, causando considerável variação nos valores de resistência nos corpos de prova. Segundo Pereira e Beraldo (2007) às pequenas heterogeneidades existentes no material acabam forçando à condução da ruptura em regiões de menor resistência. Deve-se destacar que neste estudo por ser preliminar foram utilizados poucos corpos de prova, o que pode justificar essa significativa variabilidade.

Pôde-se perceber que os corpos de prova na temperatura de 210°C apresentaram uma cor destacadamente mais escura que as demais temperaturas e em decorrência desta elevada temperatura, obtiveram uma resistência à tração menor do que as outras temperaturas. Segundo Colla et al. (2010) temperaturas mais elevadas provocam degradação acentuada na estrutura anatômica do bambu.



Outro fato interessante é notado no módulo de elasticidade a esta temperatura, pois os corpos de prova sem nós apresentaram maiores valores de módulo de elasticidade em relação às outras temperaturas, já os corpos de prova com nó apresentaram o menor valor dessa propriedade.

A temperatura que se mostrou mais adequada ao tratamento térmico sem a perda de resistência a tração paralela às fibras do bambu, foi a 180°C, já que nesta tanto os valores de resistência quanto de módulo de elasticidade foram superiores aos obtidos nos corpos de prova de referência, restando comparar esse ganho após o desempenho quanto ao ataque de insetos xilófagos.

A Tabela 12 apresenta os resultados dos corpos de prova que sofreram os demais tipos de tratamentos preservativos, químicos e natural. Os valores médios referentes à resistência a tração e o módulo de elasticidade obtidos nos ensaios de tração paralela às fibras de bambu também são apresentados.

Tabela 12. Resistência a tração e módulo de elasticidade dos corpos de prova que sofreram diferentes tipos de tratamentos químicos.

Tratamento	$E_{c0}$ (MPa)		$f_{t0}$ (MPa)	
	Presença de nós	Ausência de nós	Presença de nós	Ausência de nós
Ácido Pirolenhoso de Eucalipto	15004	25960	92,18	270,93
Ácido Pirolenhoso de <i>Bambusa vulgaris</i>	15752	12074	65,14	158,24
Ácido Bórico	18216	-	87,80	-
Neem	16058	-	106,37	-
Pentox	24461	25483	94,47	175,31

A Figura 29 mostra a relação entre a resistência à tração paralela as fibras em cada tipo de tratamento e de acordo com cada característica dos corpos de prova.

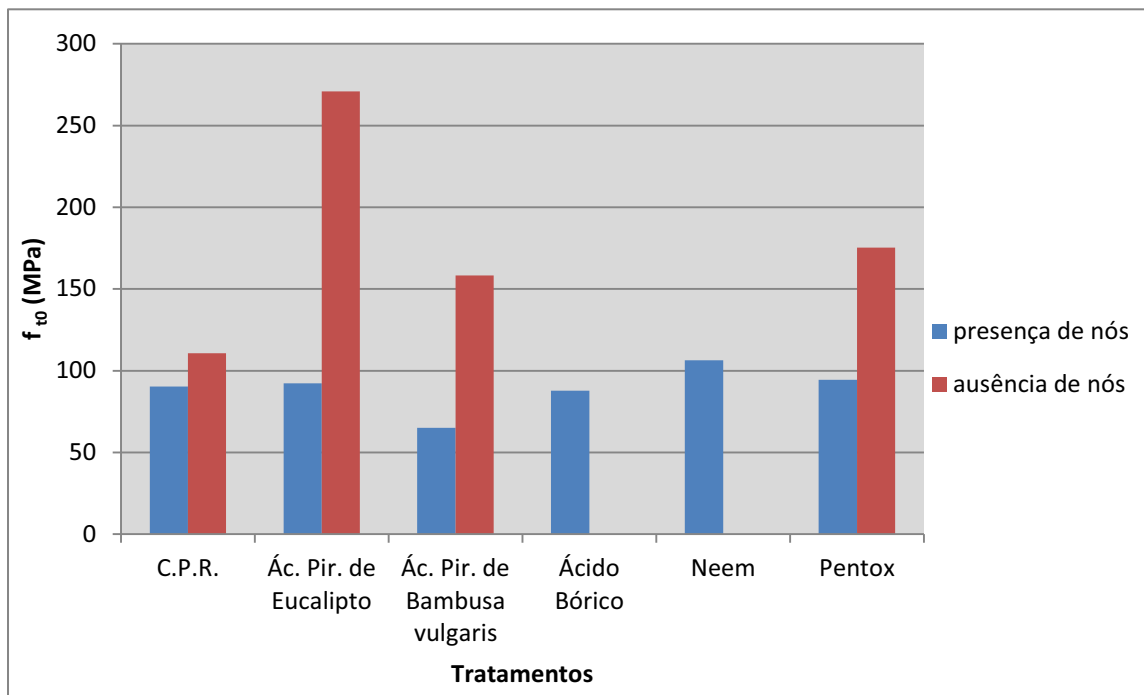


Figura 29- Relação entre os tratamentos sofridos pelos corpos de prova e a resistência destes no ensaio de tração.

A Figura 30 apresenta o módulo de elasticidade em média dos corpos de prova que sofreram tratamento preservativo

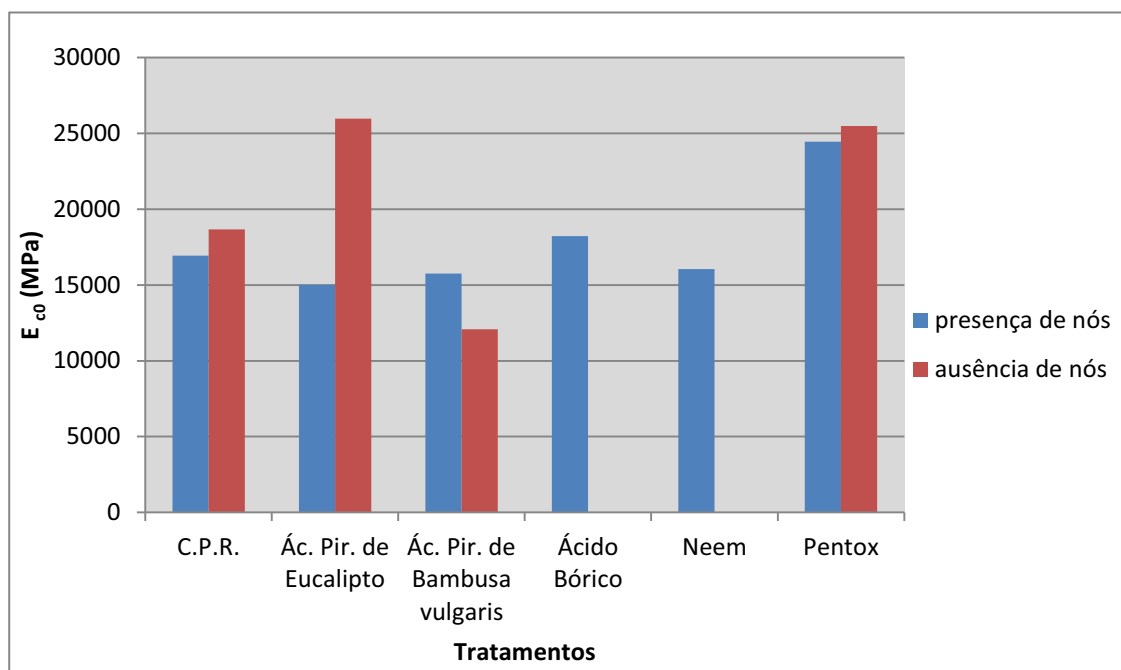


Figura 30- Valores médios do módulo de elasticidade obtido em cada tipo de tratamento.

A Figura 31 apresenta a média dos valores obtidos para a resistência no ensaio de tração paralela às fibras tanto para os corpos de prova de referência como para os outros tratamentos realizados.

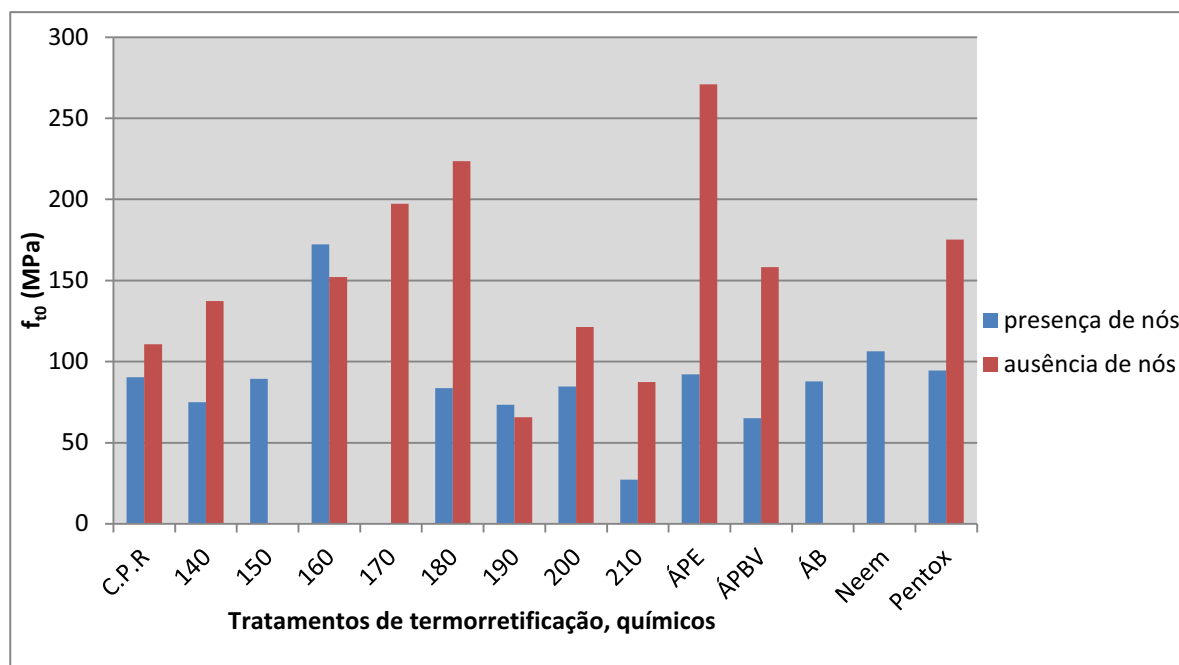


Figura 31- Valores médios de resistência para os corpos de prova de referência e para todos os outros tratamentos no ensaio de tração paralela às fibras.

Através da análise da Figura 31 pode-se observar no tratamento de termorreificação que as temperaturas inferiores a 180°C obtiveram um aumento gradativo na resistência, isto se deve ao decréscimo do teor de umidade que está ocorrendo nestas temperaturas, aumentando consequentemente a densidade do bambu, proporcionando uma maior resistência.

Após a temperatura de 180° C, a lignina já sofreu degradação brusca, resultando assim, em uma queda visível na resistência, cabe, portanto em próximos estudos interligar a temperatura ideal mínima para se observar a eficácia do tratamento evitando o ataque de insetos xilófagos sem comprometer a resistência do material analisado. Já em relação aos outros tratamentos, os resultados ainda são preliminares, portanto não há como se afirmar qual dos tratamentos químicos realizados possui maior influência no aumento ou decréscimo da resistência e também no módulo de elasticidade.

A Figura 32 apresenta a média dos valores obtidos para o módulo de elasticidade no ensaio de tração paralela às fibras tanto para os corpos de prova de referência como para os outros tratamentos realizados.

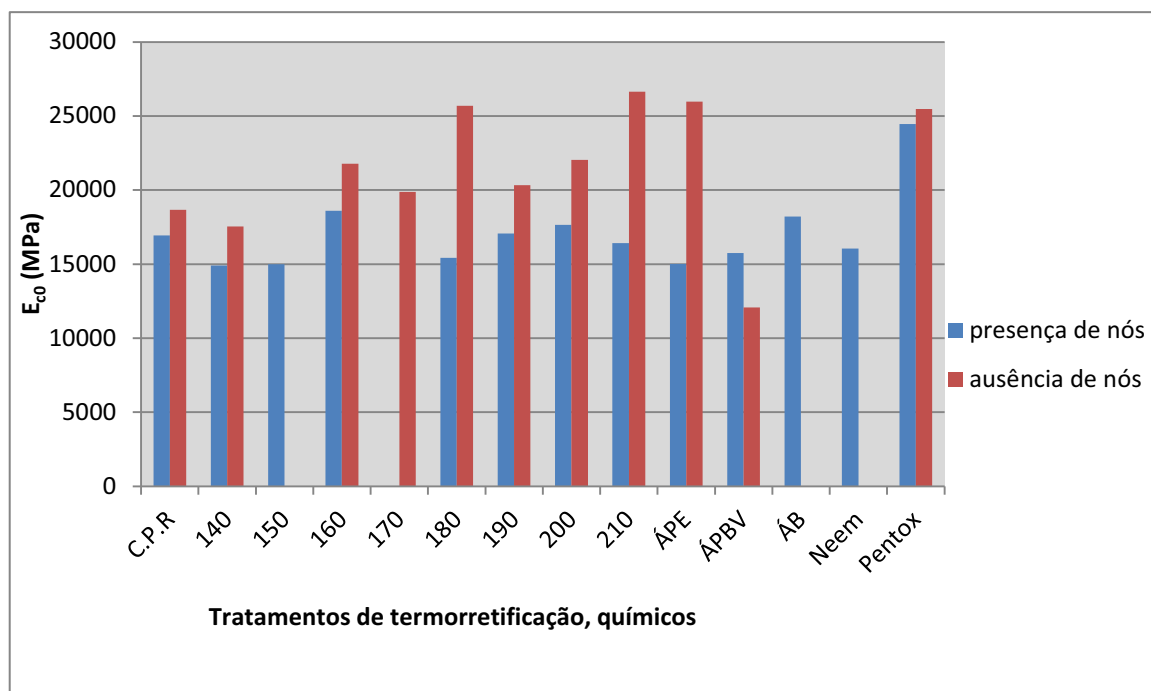


Figura 32- Valores médios de módulo de elasticidade para os corpos de prova de referência e para todos os outros tratamentos no ensaio de tração paralela às fibras.

Por se tratar de um trabalho preliminar e ter sido analisado um pequeno número de corpos de prova por tratamento pelos dados da Figura 32 nada se pode concluir, no momento, em relação aos módulos de elasticidade encontrados.

Como não há literaturas a que se possam comparar os dados obtidos, é necessário que ocorra a continuação e a incrementação dos ensaios, conforme mencionado, para que se possam obter melhores comparações entre os tratamentos.

## 6. CONCLUSÃO

Analisando os dados obtidos para os ensaios de propriedades físicas para a espécie utilizada: *Guadua angustifolia*, sendo estas densidades aparente ( $743,22\text{kg/m}^3$ ) e básica ( $568,84\text{kg/m}^3$ ), teor de umidade (20,77%), e coeficiente de anisotropia nos ensaios de retração (1,20) e inchamento (1,06), nota-se que a maioria dos resultados foram satisfatórios em relação à literatura consultada. Destaca-se apenas o valor do teor de umidade que não atingiu o resultado esperado ultrapassando cerca de 7 a 8% dos resultados obtidos na literatura, podendo esta variação ser minimizada através de acompanhamento do plantio, manejo, corte e tempo de secagem do bambu, já que as amostras utilizadas foram de doações, em que estes parâmetros não puderam ser acompanhados, podendo ter influenciado nesta propriedade.

A propriedade mecânica analisada, tração paralela às fibras, para os corpos de prova que não sofreram tratamento mostrou resultados de resistência e módulos de elasticidade satisfatórios de acordo com a literatura. Isso evidencia que foi utilizada a maneira correta de se conduzir os ensaios de tração paralela às fibras de bambu, principalmente em relação aos corpos de prova, visto que essa é uma grande dificuldade para a comparação de resultados obtidos, pois ainda não há um documento normativo específico para o bambu gerando muitas controvérsias entre os autores.

Nas amostras que sofreram tratamento térmico e posteriormente passaram pelo ensaio de tração paralela às fibras a maioria dos resultados obtidos com relação à presença ou ausência de nós se mostrou de acordo com a literatura consultada, onde os que possuíam a presença de nós apresentaram menores valores de resistência quando comparados aos corpos de prova com ausência de nós, isto ocorreu em todas as temperaturas, exceto nas de  $160^\circ\text{C}$  e  $190^\circ\text{C}$ . Conclui-se, então, que este fato pode ter ocorrido devido à heterogeneidade do material analisado, da propriedade física de densidade que pode ter auxiliado na maior fragilidade das amostras na ruptura, por haver poucos resultados, consequência de ser um trabalho preliminar, onde se ensaiaram poucos corpos de prova. Analisando este tratamento pode-se observar uma tendência no aumento de resistência à tração

paralela às fibras em temperaturas até 180°C. Por outro lado, observa-se que a temperatura acima deste valor pode estar alterando a estrutura anatômica do material e causando prejuízo às propriedades mecânicas do mesmo.

Em relação aos tratamentos preservativos químicos utilizados, os resultados também são preliminares e, não se pode afirmar com precisão qual dos tratamentos realizados influencia positiva ou negativamente nas propriedades da espécie utilizada. Através da análise realizada para estes tratamentos pode-se dizer que comparando a média dos valores dos corpos de prova com nó e ausentes de nó, os que possuíam nós obtiveram resultados inferiores de resistência do que os não apresentavam nós, o que está de acordo com a literatura analisada.

Pela ausência de literatura na área em que foi realizada a pesquisa torna-se difícil poder comparar os resultados obtidos. Este é um trabalho preliminar que será utilizado como base para se desenvolver novas pesquisas com a mesma espécie, analisando a eficiência dos tratamentos utilizados contra ataques de insetos xilófagos.

Os resultados obtidos neste estudo mostram características importantes das propriedades físicas e mecânicas da espécie *Guadua angustifolia*, uma espécie de muita importância para diversas utilizações, além de apresentar tratamentos preservativos que possuem baixa toxicidade ao meio ambiente, se tornando uma alternativa para os métodos já utilizados.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, G. B. **Recomendações para melhoria tecnológica da vedação vertical em técnica mista em habitação de interesse social: um estudo de caso no bairro do Alegre em São Sebastião do Passé**. 2007. 206 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190**: Projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro, 1997. 107p.

AZZINI, A.; BERALDO, A.L. **Métodos práticos de tratamento do bambu**. Gráfica da Unicamp, Campinas, SP, 14p. 2001.

BERALDO, A. L.; RIVERO, L. A. Bambu Laminado Colado (BLC). **Revista Floresta e Ambiente**. Seropédica, RJ, v. 10, n. 2., p 36 – 46, 2003.

BERALDO, A.L.; ZOULALIAN, A. Bambu: material alternativo para construções rurais. In: **Anais do V EBRAMEM – Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira**, Belo Horizonte, MG, v.2,p. 425-439, 1995.

BERALDO et. al. Desempenho de um dispositivo para efetuar o tratamento químico de colmos de bambu: avaliação por ultra-som. In: **Anais do III ENECS- Encontro Nacional sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis**. São Carlos, SP. CD-ROM. 2003a.

BRANDÃO, C. M. R. **O uso do bambu como componente construtivo em arquitetura sustentável**. 2008. 92 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Gama Filho, Rio de Janeiro, 2008.

CNBRC, China National Bamboo Research Center. **Cultivation & Integrated utilization on bamboo in China**. Hangzhou, China, 2001.

COLLA, W. A.; BERALDO, A. L.; BRITO, J. O. **Efeito do tratamento térmico nas características físicas e mecânicas do bambu gigante**. In: EBRAMEM, 22., 2010, Lavras. **Anais....** Lavras,2010. p. 1 - 9.

COMISIÓN PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS. **COPANT 462**. Método de determinación de la contracción. Buenos Aires, 1972.

COSTA, T. M. S. **ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA PARA PRODUÇÃO DE CARVÃO VEGETAL A PARTIR DE BAMBU DA ESPÉCIE *Bambusa vulgaris***. São Paulo: 2003. 29 p. Disponível em: <<http://www.bambubrasileiro.com/arquivos/Carvao%20de%20Bambusa%20vulgaris%20-%20Costa%20-%20USP.pdf>>. Acesso em: 04 abr. 2011.

CULZONI, R.A.M. **Caraterísticas dos bambus e sua utilização como material alternativo no concreto**. 1986. 134 p. Dissertação (Mestrado)- Pontifícia Universidade Católica (PUC)- Rio, Rio de Janeiro, 1986.

FARRELY, D. **The book of bamboo**. Sierra Club Books, São Francisco, 1984, 202 p.

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.

GHAVAMI, K., **Bamboo as reinforcement in structural concrete elements**. Cement & Concrete Composites, n. 27, 2005, p. 637-649.

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.

**GUADUA Angustifolia**. Disponível em: <<http://www.guaduabamboo.com/guadua-angustifolia.html>>. Acesso em: 06 abr. 2011.

HSIUNG, W. **Prospects for bamboo development in the World**. In: IBC 88, 1988, Prafance.

**ITAPAGÉ S.A. Celulose, papéis e artefatos**. Disponível em: <<http://www.itapage.com>>. Acesso em: 23 abril. 2011.

JAIN, S.; KUMAR, R.; JINADAL, U.C. Mechanical behavior of bamboo and bamboo composite. **Journal of Materials Science**, London, v. 27, n.17, p.4598-4604, set.1992.

JANSSEN, J.J.A. **Building with bamboo**. London: Intermediate Technology Publications. 1988. p. 68.



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

JARAMILLO, S.V. **La Guadua en los proyectos de inversión**. In: Anales del Congresso Mundial de Bambú/Guadua, Pereira, Colômbia, 1992.

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**. v.44, n.9, p.40-46, 1994.

LIESE, W. **Bamboos- Biology, silvics, properties, utilization**. GTZ, Germany, 132p., 1985.

LIESE, W. **The structure of bamboo relation to its properties and utilization**. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON INDUSTRIAL USE OF BAMBOO, 1992, Beijing.

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

LIESE, W. **The anatomy of bamboo culms**. Inbar- International Network for bamboo and rattan, 1998. China. Technical Report. 204p.

LÓPEZ, O.H. **Tipos de Bambúes y metodos de cultivo**. In: SIMPOSIO LATINO AMERICANO DEL BAMBOO. Guayaquil. 1982.

LÓPEZ, O.H. **Bamboo: the gift of the God's**. D'vinni Ltda., Bogotá, Colômbia. 2003. 553p.

MATOS JUNIOR, S.M.S. **BAMBUS COMO RECURSO FLORESTAL: Suas aplicações, manejo, silvicultura, propagação, entomologia e a situação no DF**. 2004. 50 f. (TCC) - Universidade de Brasília, Brasília, 2004.

MATOSKI, Selma Lúcia Schmidlin. **Comportamento de *Dinoderus minutus* Fabricius (1775) (coleoptera: bostrichidae) em lâminas torneadas de madeira**. 2005. 94 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

MOIZÉS, F. A. **Painéis de bambu, uso e aplicações: uma experiência didática nos cursos de Design em Bauru**, São Paulo. 2007. 113 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2007. Disponível em: <[http://www.faac.unesp.br/posgraduacao/design/dissertacoes/pdf/fabio\\_moizes.pdf](http://www.faac.unesp.br/posgraduacao/design/dissertacoes/pdf/fabio_moizes.pdf)>. Acesso em: 27 jun. 2009.

MOREIRA, L.E.; GHAVAMI, K. Os méritos do bambu. **Informador das construções, pesquisa e prospecção**. Belo Horizonte, MG, p. 22-23,1995.

**MUDAS de bambu.** Disponível em: <[http://www.guadua.com.br/conteudos\\_html/mudas\\_bambu/guadua\\_angustifolia\\_texto.htm](http://www.guadua.com.br/conteudos_html/mudas_bambu/guadua_angustifolia_texto.htm)>. Acesso em: 06 abr. 2011.

NOCK, H. P.; RICHTER, H. G.; BURGER, L. M. **Tecnologia da Madeira**. Curitiba: Trabalho datilografado, 1971. 201 p.

NOGUEIRA, C. L. **Painel de bambu laminado colado estrutural**. 2008. 89 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo- Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2008.

PADOVAN, R. B. **O bambu na arquitetura: design de conexões estruturais**. 2010. 181 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Bauru, 2010.

PEREIRA M. A. R.; GRECO, T. M. **Determinação de características mecânicas de ripas laminadas da espécie *Guadua angustifolia***. In: EBRAMEM, 12, 2010, Lavras. **Anais**. Lavras: 2010.

PEREIRA, M. A. R.; BERALDO, A. L. **Bambu de corpo e alma**. Bauru: Canal6, 2007. 231 p.

PEREIRA, M. A. R. **Características hidráulicas de tubos de bambu gigante (*Dendrocalamus giganteus*)**. Tese (Doutorado). Unesp, Faculdade de Ciências Agrônomicas. 1997 a. p.161.

PEREIRA, M. A. R. **O Uso do Bambo na Irrigação: montagem de um sistema de irrigação por aspersão de pequeno porte, utilizando tubulação de bambu**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA. Campina Grande: CONBEA.1997 b. p.1-22.

PEREIRA, M. A. R. **Bambu: Espécies, Características e Aplicações.** Departamento de Engenharia Mecânica/Unesp. Apostila. Bauru. 2001, 56p.

PESSOA, A. M. C.; BERTI FILHO, E.; BRITO, J. O. Avaliação da madeira termorretrificada de *Eucalyptus grandis*, submetida ao ataque de cupim de madeira seca, *Cryptotermes brevis*. **Scientia Florestalis**, n. 72, p.11-16, 2006. Disponível em: <<http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr72/cap01.pdf>>. Acesso em: 15 mar. 2011.

QISHENG, Z.; SHENXUE, J. **Bamboo Based Panels In China.** Forestry University, China: Bamboo Engineering Research Center Nanjing. 2001. p. 1-14.

RAJ, VIJAY. Treatise on Utilization of Bamboo as Reinforcement in Ferrocement. In: **Journal of Ferrocement**: v.21, n. 4, p. 371 –381. October 1991.

**REVISTA AGRICULTURA TROPICAL.** Cuiabá: Universitária, v. 8, n. 1, dez. 2004. Anual. Disponível em: <[http://www.ufmt.br/agtrop/revista8/Revista\\_8\\_1\\_2004.pdf](http://www.ufmt.br/agtrop/revista8/Revista_8_1_2004.pdf) >. Acesso em: 18 mar. 2011.

**REVISTA BRASILEIRA DE ENGENHARIA AGRÍCOLA E AMBIENTAL:** Propriedades físicas e mecânicas do colmo inteiro do bambu da espécie *Guadua angustifolia*. Campina Grande: v. 9, n. 1, p.107-114. 2005. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1415-3662005000100016&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1415-3662005000100016&script=sci_arttext)>. Acesso em: 18 fev. 2011.

RIVERO, L. A. **Laminado colado e contraplacado de bambu.** 2003. 81 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

SANTOS, G. F.; PEREIRA, M. A. R. **Desenvolvimento de produtos artesanais em bambu, transferência de conhecimento e geração de renda ao assentamento rural horto de aimorés.** In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 22, 2010, Marília. **Anais....** Marília, 2010. p. 7235 - 7238.

SARLO, H. B. **Influência das fases da lua, da época de corte e das espécies de bambus sobre o ataque de *Dinoderus minutus* (Fabr.) (Coleoptera: Bostrichidae).** 200. 50 f. Tese (Magister Scientiae) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2000.

SASTRY, C.B. **Timber for the 21st Century.** On line. Inbar, 1999. Disponível em [www.inbar.org.cn/Timber.asp](http://www.inbar.org.cn/Timber.asp). Acesso em: 22/04/2011.

SPILMAN, T. J. – **False Powderpost Beetles of the Genus *Dinoderus* in North America (Coleoptera, Bostrichidae)** – The Coleopterists Bulletin, 36(2): 193-196. 1982 – COMUT pedido nº 2331899/2002.

SPOLIDORO, P. V. **Características dendrométricas e propriedades físicas dos colmos de *Bambusa vulgaris* e *Bambusa tuldoides***. 2008. 55 f. Dissertação - Universidade Federal Rural Do Rio De Janeiro, Seropédica, 2008.

VASCONCELLOS, R. M. **Bambúes en Brasil, una Visión Histórica y Perspectivas Futuras**, Rio de Janeiro, 2006.

VICENTE, A.T.V. **Variação radial e axial da massa específica básica e das contrações da madeira de quatro procedências de *Pinus***. Brasília. 2005. 29 p. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento.

XAVIER, L.M. **Caracterização química, física e mecânica do *Phyllostachys aureae* sua resistência ao ataque de térmitas, preservado com ácido bórico e tanino condensável**. 2004. 54 f. Dissertação (Magister Scientiae) - Universidade Federal Rural Do Rio De Janeiro Instituto De Florestas, Seropédica, 2004. Cap. 2. Disponível em: <[www.bambubrasileiro.com](http://www.bambubrasileiro.com)>. Acesso em: 15 jul. 2009.