

UFRRJ
INSTITUTO DE FLORESTAS
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
CIÊNCIAS AMBIENTAIS E FLORESTAIS

DISSERTAÇÃO

**Caracterização química, física e mecânica do *Phyllostachys aurea*
e sua resistência ao ataque de térmitas,
preservado com ácido bórico e tanino condensável**

Leonardo Menezes Xavier

2004



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
CIÊNCIAS AMBIENTAIS E FLORESTAIS**

**CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA, FÍSICA E MECÂNICA
DO *Phyllostachys aurea* E SUA RESISTÊNCIA
AO ATAQUE DE TÉRMITAS, PRESERVADO COM ÁCIDO BÓRICO E
TANINO CONDENSÁVEL**

LEONARDO MENEZES XAVIER

Sob a Orientação do Professor
Alexandre Miguel do Nascimento

e Co-orientação do Professor
Edvá Oliveira Brito

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Magister Scientiae** em Ciências Ambientais e Florestais, Área de Concentração em Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais

Seropédica, RJ
Março de 2004

633.58

X3c

T

Xavier, Leonardo Menezes, 1972-
Caracterização química, física e
mecânica do *Phyllostachys aurea* e
sua resistência ao ataque de
térmitas, preservado com ácido
bórico e tanino condensável/
Leonardo Menezes Xavier. - 2004.
44f. : il., graf., tab.

Orientador: Alexandre Miguel do
Nascimento.

Dissertação (mestrado)
Universidade Federal Rural do Rio
de Janeiro, Instituto de Florestas.
Bibliografia: f. 35-40.

1. Bambu - Teses. 2. Bambu -
Propriedades mecânicas - Teses. 3.
Bambu - Resistência aos insetos -
Teses. 4. Bambu - Conservação -
Teses. I. Nascimento, Alexandre
Miguel do, 1961. II. Universidade
Federal Rural do Rio de Janeiro.
Instituto de Florestas. III.
Título.

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS E
FLORESTAIS**

LEONARDO MENEZES XAVIER

Dissertação submetida ao Curso de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais, área de concentração em Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais, como requisito parcial para obtenção do grau de **Magister Scientiae**, em Ciências Ambientais e Florestais.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 17/03/2004

Alexandre Miguel do Nascimento (Dr.) UFRRJ
(Orientador)

Heber dos Santos Abreu (Dr.) UFRRJ

Ricardo Marius Della Lucia (Ph.D.) UFV

À Inteligência suprema,
causa primária de todas as coisas.

AGRADECIMENTOS

À Família e aos Amigos;

Aos Professores Alexandre Miguel do Nascimento, Heber dos Santos Abreu e Edvá Oliveira Brito;

Aos discentes Andréia Colli e Luciano A. Dias (graduandos em Engenharia Florestal), Bruno Salles Mota (graduando em Agronomia), Roberto Josino de Brito, Maria Beatriz de Oliveira Monteiro e Regina Paula Willemen Pereira (Mestrandos em Ciências Ambientais e Florestais);

À direção e equipe da Floresta Nacional Mário Xavier (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis – IBAMA – Ministério do Meio Ambiente).

Ao Decanato de Extensão da UFRuralRJ, na pessoa do Decano Prof. Mauro Portela.

À todos os professores, funcionários e alunos do Instituto de Florestas da UFRuralRJ, que contribuíram de alguma forma na elaboração do presente trabalho.

À Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES, pelo suporte financeiro.

BIOGRAFIA

Leonardo Menezes Xavier, brasileiro, natural da cidade do Rio de Janeiro, nascido em 17 de novembro de 1972, formou-se arquiteto e urbanista pela Universidade de Brasília em 1997. Participou da confecção de protótipos em bambu de 1996 a 2001, junto ao CANTOAR – Arquitetura e Fibras Naturais, projeto da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo – FAU - UnB, sob orientação do Prof. Dr. Jaime Gonçalves de Almeida.

Em 2002 ingressou no curso de Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais, da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, do qual é bolsista desde Outubro de 2003.

Atualmente desenvolve projeto de extensão sobre Sistemas Construtivos Não-Convencionais com a Utilização de Recursos Renováveis (Bambu e Sapé), e de Sistematização e Gerenciamento de Informações (em Mídia Digital) acerca do Bambu, junto ao Decanato de Extensão da UFRuralRJ.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	01
2. REVISÃO DE LITERATURA	03
2.1. Propriedades Físicas	03
2.2. Propriedades Mecânicas	04
2.3. Propriedades Químicas e Anatômicas	05
2.4. Produção de compósitos utilizando o bambu como matéria-prima	08
2.5. Preservação	09
2.6. Preservantes de Baixa Toxidez	11
3. MATERIAIS E MÉTODOS	13
3.1. Coleta e Manufatura do Material	13
3.2. Ensaios Físicos	14
3.3. Ensaios Mecânicos	14
3.4. Caracterização Química	16
3.5. Preservação	17
3.6. Ensaio de Biodegradação Laboratorial	19
3.7. Análise Estatística dos Dados	19
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	20
4.1. Propriedades Físicas e Mecânicas	20
4.2. Composição Química	28
4.3. Preservação	30
4.4. Ensaio de Biodegradação Laboratorial	31
5. CONCLUSÕES	34
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	35
ANEXO 1	41
ANEXO 2	42
ANEXO 3	43
ANEXO 4	44

RESUMO

XAVIER, Leonardo Menezes. **Caracterização química, física e mecânica do *Phyllostachys aurea* e sua resistência ao ataque de térmitas, preservado com ácido bórico e tanino condensável.** Seropédica: UFRRJ, 2004. 44 p. (Dissertação, Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais).

Colmos de *Phyllostachys aurea* foram coletados no município de Seropédica, RJ. As massas específicas básica, à 12 % de umidade, as contrações volumétricas parcial e total, além do limite de resistência à compressão, módulo de elasticidade à compressão e tensão de flambagem foram determinados. Preservantes com diferentes formulações a base de boro e tanino foram testados. Os corpos de prova tratados foram submetidos à ensaio de biodegradação laboratorial com cupins da família Nasutitermitinae. No que tange as propriedades físicas, foram encontrados valores médios de massa específica básica de 450 kg/m³ para o nó, e 630 kg/m³ para o internódio, enquanto que para massa específica à 12 % encontraram-se os valores de 740 kg/m³ e 750 kg/m³, respectivamente para nó e internódio. As contrações volumétricas foram bem maiores nos nós do que nos internódios, apresentando, respectivamente, valores médios da ordem de 32,42 e 5,95 % (parcial) e 36,29 e 12,12 % (total). Quanto as propriedades mecânicas, o limite de resistência à compressão foi maior no ápice dos colmos, obtendo-se um valor médio de 58 MPa (comparável às espécies nativas na mesma faixa de densidade). O módulo de elasticidade à compressão apresentou valor médio de 19.237 Mpa, enquanto a tensão de flambagem variou de 53 a 13 MPa, em média, conforme aumentava-se o índice de esbeltez. Quanto aos tratamentos preservantes, dos três tratamentos efetuados (ácido bórico 1,2 % + tanino de acácia negra 5 %, ácido bórico 5 % + tanino de acácia negra 1,2 % e borato de cobre cromatado – CCB 8 %, sendo deste 50 % de i.a.), além da testemunha, o tratamento com 5 % de ácido bórico de mostrou mais eficiente que os demais, enquanto que para o fator casta, os soldados apresentaram maior longevidade.

Palavras-chave: *Phyllostachys aurea*, propriedades físicas e mecânicas, preservação.

ABSTRACT

XAVIER, Leonardo Menezes. **Chemical, physycal and mechanical characterization of *Phyllostachys aurea* and its resistance to termite attack, treated with boric acid and condensable tannin.** Seropédica: UFRRJ, 2004. 44 p. (Dissertation, Master Science in Environmental and Forest Sciences).

Phyllostachys aurea culms were collected in Seropédica, RJ, and the basic specific gravity (oven-dry weight and green volume), specific gravity 12 %, volumetric shrinkages (partial and total), parallel to grain compression, modulus of elasticity under compression and tensile strenght parallel to grain of the *Phyllostachys aurea* were determined. Different formulations based on boric acid and tannin from acacia were tested. The samples treated were submitted to subterranean termites of the Nasutitermitinae family. The mean values found for the basic specific gravity were 450 kg/m³ and 630 kg/m³, and for specific gravity 12 % were found 740 kg/m³ and 750 kg/m³, respectively for node and internode. The volumetric shrinkages (partial and total) were higher in node than in the internode, and the mean values were 32,42 and 5,95 % (partial), 36,29 and 12,12 % (total), respectively for node and internode. The parallel to grain compression was higher on the top of the culms and the mean value obtained was 58 MPa, comparable to most of the brazillian hardwoods with similar specific gravity. The modulus of elasticity under compression shown a mean value of 19.237 Mpa, and the tensile strenght parallel to grain varied from 53 to 13 MPa (mean values), according to the increase of the slenderness index. Due to the preservative treatments (Boric acid 1,2 % + Acacia's tannin 5 %, Boric acid 5 % + Acacia's tannin 1,2 % and Chromated Copper Borate – CCB 8 %, being 50 % of. active ingredient.), besides the witness, the Boric acid 5 % + Acacia's tannin 1,2 % was the most effective. The soldiers of termites always shown higher longevity than the workers.

Key words: *Phyllostachys aurea*, Mechanical and physical properties, preservation

1. INTRODUÇÃO

A sociedade pós-industrial, em detrimento de toda tecnologia desenvolvida e conhecimento adquirido, utiliza os recursos naturais como se fossem inesgotáveis. Apesar das conseqüências das agressões ao meio ambiente já se fazerem sentir, todo o processo produtivo continua calcado em um modelo de desenvolvimento que não respeita o contexto sócio-ambiental em que se insere.

A indústria da construção civil não constitui exceção dentro desse quadro. A produção do cimento, do qual a argila e o calcário são matérias-primas, e a obtenção do aço, produzido com o minério de ferro, comprova esse pressuposto. Tais materiais, provenientes de recursos não renováveis, retirados às toneladas do seio da Terra, contribuem para a destruição do meio abiótico e da biodiversidade.

Nesse contexto, a utilização de recursos renováveis abre grande perspectiva de aptidão e sustentabilidade. O bambu, por exemplo, é um recurso florestal que apresenta excepcional desenvolvimento, gerando produção de biomassa da ordem de duas vezes a do eucalipto, no mesmo espaçamento (AZZINI et al, 1997), podendo ser utilizado na indústria da construção por apresentar propriedades físico-mecânicas adequadas, quando respeitadas suas melhores orientações estruturais, e alta durabilidade, quando tratado com substâncias preservantes, vindo a compor interessante alternativa à madeira-de-lei, ao concreto e ao aço.

A utilização do bambu pelos seres humanos é feita há milênios, principalmente no Oriente, em terras como a China, a Índia, o Japão, a Indonésia e as Filipinas, e no Ocidente, em países como a Colômbia e a Costa Rica, mas em geral nos continentes americano e asiático, principalmente, onde existem indústrias voltadas para exploração e comercialização de produtos manufaturados como pisos, forros e laminados (HIDALGO LOPEZ, 2003).

O bambu, segundo Engler, pertence à divisão Angiospermae e à classe das Monocotyledoneae. Trata-se de planta da família Poaceae. Existem aproximadamente 75 gêneros e mais de 1200 espécies, sendo que a identificação é bastante dificultada pela imprevisibilidade da floração, podendo estar vinculada à morte da touceira (LIESE, 1998).

As espécies observadas no Brasil são na sua maioria exóticas provenientes do continente asiático, tais como *Bambusa vulgaris*, *B. tuldoides*, *Dendrocalamus strictus*, *D. giganteus* e *Phyllostachys aurea* (AZZINI et al., 1997). As nativas carecem de estudos mais aprofundados e concentram-se em alguns fragmentos de mata atlântica, e na região amazônica, notadamente no estado do Acre (*Guadua taquara*).

No que tange ao sistema radicular os bambus classificam-se em Paquimorfos ou Entouceirantes (*Bambusa*, *Guadua* e *Dendrocalamus*, só para citar alguns) e Leptomorfos ou alastrantes (*Phyllostachys*, *Arundinaria* e *Sasa*, entre outros). Os primeiros possuem rizomas curtos e grossos com gemas laterais, e o segundo grupo apresenta rizomas que desenvolvem-se no solo de forma a ocupar grandes áreas. Existem ainda os Anfipodiais, que combinam características dos dois tipos (*Chusquea*), conforme observado por HIDALGO LOPEZ (1974).

Segundo AZZINI et al. (1997), a planta apresenta elevada resistência físico-mecânica, além de leveza e flexibilidade. O bambu apresenta excepcional vigor vegetativo, que resulta no rápido desenvolvimento axial dos colmos (7,88 e 22,0 cm/dia para *Guadua angustifolia* e *Dendrocalamus giganteus*, respectivamente) e apresenta desenvolvimento máximo em altura no período de 80 a 110 dias.

Devido ao seu rápido crescimento, é espécie passível de utilização em reflorestamentos (em áreas devidamente identificadas para esse fim por zoneamento

ecológico e econômico), haja vista a pressão exercida sobre os remanescentes das florestas primárias e secundárias, para obtenção de madeira. Pode ainda desempenhar papel importante na manutenção do funcionamento dos ecossistemas, em um cenário de efeito estufa e aquecimento global.

Além de promover contenção de áreas erodidas, e ser matéria-prima na fabricação de polpa celulósica (HECK, 1956) e na geração de energia, desde que devidamente preservado, o bambu tem grande potencial de utilização na construção civil, associado ou não a outros materiais (compósitos), particularmente no que tange à habitação econômica suburbana e rural, de forma semi-industrial.

O estudo das propriedades físicas, químicas e mecânicas do bambu, de forma a descobrir as correlações entre tais propriedades e eleger as espécies mais indicadas, além do enfoque na pesquisa de produtos de baixa toxidez a mamíferos visando a sua preservação, contribuem para a aplicação do material na indústria da construção, formando-se uma alternativa para as populações de baixa renda.

A preservação com produtos à base do boro e tanino, respectivamente um sal hidrossolúvel e um polifenol vegetal, em substituição aos produtos organoclorados ou sais constituídos de arsênio, contribui para minimizar o impacto do processo de imunização da madeira (ou bambu), tanto sobre os usuários quanto sobre o ambiente.

Estudos efetuados na década de 90 verificaram a eficiência conjunta de produtos à base de ácido bórico e tanino autocondensável, e novas pesquisas, segundo os autores, com a utilização de diferentes concentrações devem ser realizadas (PIZZI et al, 1996; THEVENON et al, 1998).

A disponibilidade desse recurso, aliada à sua facilidade de disseminação e preservação, rapidez de maturação, e boas propriedades físicas e mecânicas, capacitam-no para aplicações construtivas, em substituição a materiais mais impactantes ao meio ambiente, provenientes de recursos não renováveis ou de recursos vegetais nativos, explorados sem o devido manejo e conservação.

Há que se ressaltar a importância de se conhecer as propriedades físicas, químicas, mecânicas e anatômicas dos bambus de pequeno diâmetro, que podem vir a compor interessante repertório na execução de seções compostas e outros componentes para construção civil.

O objetivo desta pesquisa foi atribuir ao bambu, especificamente ao *Phyllostachys aurea*, condições de aplicabilidade do material à construção civil, na condição de tecido lenhoso com propriedades físicas, químicas e mecânicas adequadas, preservado com compostos de baixa toxidez à base de ácido bórico e tanino de acácia negra.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Propriedades Físicas

O estudo das propriedades físicas do bambu é de grande importância na construção civil, já que a densidade influencia a resistência mecânica, a qual é afetada pela umidade. O bambu é um material higroscópico, que perde e ganha umidade de acordo com a umidade relativa do ambiente, até atingir sua umidade de equilíbrio higroscópico que está na faixa de 13 a 20 %, respectivamente para os gêneros *Phyllostachys* e *Dendrocalamus* (HIDALGO-LOPEZ, 2003).

Segundo GROSSER & LIESE (1971), colmos de 01 ano de idade apresentam teor de umidade de 120 a 130 % para *Dendrocalamus strictus*, enquanto que colmos com cerca de 3 a 4 anos nas posições base e ápice apresentaram, respectivamente, 100 e 60 % de umidade no momento do abate. Os internódios apresentam maior teor de umidade que os nós, e a camada periférica da parede do colmo apresenta menor teor de umidade em relação à camada interna.

ISLAM et al. (2002), trabalhando com as espécies *Bambusa balcooa* e *B. salarkhanii*, constataram que o *B. balcooa* apresenta maior teor de umidade no momento do abate, e que em função da posição da qual a amostra foi retirada, ou seja, da base, meio ou ápice, variações foram observadas nos valores das propriedades físicas, tais como a massa específica e a retratibilidade, além do teor de umidade.

A massa específica do bambu aumenta da camada interna para a externa, e ao longo do colmo, conforme constatado por diversos autores (LIESE, 1998; HIDALGO-LOPES, 2003; KABIR, 1996). NASCIMENTO et al. (2002) estudaram o *Bambusa tuldooides*, e concluíram que ocorre aumento da densidade da base para o ápice do colmo, diminuição do teor de umidade da base para o ápice e maiores contrações na área basal, em função de sua menor massa específica, ao contrário do que acontece com as angiospermas dicotiledôneas.

ZHOU (1981), trabalhando com diversas espécies, afirma que a massa específica dos bambus depende do conteúdo de fibra, do seu diâmetro interno, da espessura da parede celular, sendo que ao longo do colmo e entre espécies, diferenças são observadas. KASIM et al. (2000) observaram que na espécie *Gigantochloa scortechinii* a porção apical dos colmos com três anos de idade, em relação a colmos com apenas um ano, foi a que apresentou maior massa específica.

A retratibilidade é outra propriedade física que afeta o desempenho do bambu em serviço. Contrações elevadas podem trincar o bambu, e expor o seu interior à infestação de agentes patogênicos, comprometendo sua durabilidade. Colmos imaturos apresentam maiores contrações do que colmos já maduros, com cerca de 3 a 4 anos de idade (HIDALGO-LOPEZ, 1974).

O fenômeno da variação dimensional ocorre quando há redução do teor de umidade abaixo do ponto de saturação das fibras (PSF), isto é, quando as cavidades apresentam-se secas e as paredes celulares saturadas a cerca de 25 a 30 % de umidade (NASCIMENTO, 1990).

NASCIMENTO & DELLA LUCIA (1994) afirmam que a baixa estabilidade dimensional atribuída ao bambu está relacionada à grande porcentagem de tecido parenquimatoso (de paredes celulares delgadas) que colapsam durante a perda de água, mascarando dessa forma, os resultados da retratibilidade. A retratibilidade é influenciada ainda pelo estágio de maturação das fibras e densidade dos feixes fibrovasculares, sendo que colmos mais velhos apresentam-se mais estáveis.

KABIR et al. (1996), trabalhando com *Dendrocalamus hamiltonii*, verificaram

que a contração diminui com a altura do colmo, haja vista que a porção apical apresenta um número maior de feixes fibro-vasculares, densidade maior e menor teor de umidade. Os nós apresentam maior massa específica e contração volumétrica menor, em relação aos internódios, devido ao menor comprimento de fibra e distorção dos feixes fibro-vasculares (Figura 1).

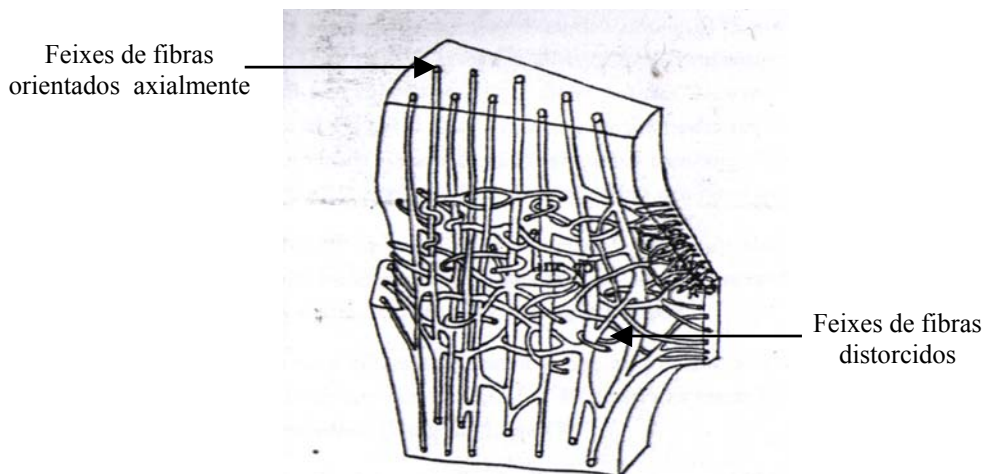


Figura 1 – Distorção dos feixes fibro-vasculares na região do nó (LIESE, 1998).

2.2. Propriedades Mecânicas

O conhecimento prévio das diferentes propriedades mecânicas do bambu pode servir de subsídio para os projetistas, no que tange a atribuição de funções específicas para cada espécie, no contexto da construção civil. Por exemplo, espécies com elevada resistência a compressão poderiam ser utilizadas como apoios, enquanto as que se comportam bem a tração como tirantes.

ZHOU (1981), trabalhando com diversas espécies, afirma que as propriedades mecânicas dos colmos de bambu são determinadas pela sua massa específica, a qual varia de 0,5 a 0,9 g/cm³, em média. Segundo MANTILLA et al.(1995), fatores tais como teor de umidade, além do tempo de colheita afetam sua resistência mecânica.

ZHANG et al. (1999), trabalhando com 04 espécies de bambu dos gêneros *Dendrocalamus* e *Bambusa*, constataram que a densidade dos feixes fibro-vasculares e o grau de lignificação das fibras apresentam correlações com as propriedades mecânicas dos colmos, as quais são diretamente proporcionais à massa específica (XAVIER et al., 2003).

Segundo HIDALGO-LOPEZ (2003), quando estudam-se as propriedades mecânicas dos colmos de bambu, devem ser observados os seguintes fatores: clima, topografia, solo, altitude, idade do colmo e a parte do colmo em questão, ou seja, se a amostra é de nó ou internódio, se provém da base, meio ou ápice, e ainda se refere-se a parte interna ou externa da parede do colmo.

GNANAHARAN (1991) observou que colmos de *Dendrocalamus strictus* crescidos em terrenos úmidos apresentaram internódios mais longos, diâmetro maior e resistência mecânica menor, em relação a colmos crescidos em terrenos secos. Em trabalho com espécies do gênero *Gigantochloa*, observou que colmos crescidos em taludes apresentaram limites de resistência, massa específica e módulo de elasticidade maiores do que colmos cultivados em vales.

HIDALGO LOPEZ (1974) trabalhando com espécies do gênero *Phyllostachys* e *Arundinaria*, observou que os nós apresentam menores valores de resistência à tração

que os internódios. Acrescenta que algumas espécies obtiveram valores nos nós tão altos quanto nos internódios, para resistência à tração, enquanto outras espécies apresentaram valores nos nós muito menores que nos internódios.

A porção apical dos colmos apresenta maior resistência a compressão e à flexão, enquanto a parte central dos colmos, onde observam-se os internódios mais longos, apresenta maior resistência à tração. A base dos colmos apresenta sempre os menores valores para todas as propriedades mecânicas, e as amostras com nós possuem valores menores de resistência à compressão e tração, de 6,4% e 19,2 %, respectivamente, que das amostras sem nós (ZHOU, 1981).

Cada um dos internódios do colmo apresenta diferentes valores de propriedades mecânicas, os quais em algumas espécies não aumentam progressivamente da base para o ápice dos colmos. O *Dendrocalamus asper*, por exemplo, apresentou valores de resistência à compressão de 639 e 566 kgf/cm², respectivamente, para o primeiro e o sétimo internódios respectivamente (HIDALGO-LOPEZ, 2003).

Os valores médios do limite de resistência à tração (para todas as espécies e variedades) foram da ordem de 2.636,62 kgf/cm² para os internódios, e de 2.285,00 kgf/cm² para os nós, e tais diferenças estão relacionadas, como observado anteriormente, ao diferente arranjo anatômico observado nos nós em relação aos internódios, ou seja, menor comprimento de fibra e distorção dos feixes fibro-vasculares HIDALGO LOPEZ (1974).

Ainda segundo o mesmo autor, a resistência à compressão do bambu é aproximadamente 4 vezes menor que a resistência à tração, sendo o módulo de elasticidade à compressão ligeiramente inferior ao módulo de resistência à tração. Os valores médios para as espécies estudadas foram da ordem de 562, 48 kgf/cm² para o limite de resistência à compressão, e de 151.869, 60 kgf/cm² para o módulo de elasticidade à compressão.

Os limites de resistência à tração, compressão, flexão e cisalhamento de 07 espécies diferentes de bambu foram determinados por CULZONI (1986). Os gêneros *Bambusa*, *Dendrocalamus* e *Guadua* apresentaram uma grande variação nos valores das suas propriedades mecânicas, em função da diversidade existente entre os gêneros e da correlação dessas diferenças observadas e das diferentes massas específicas.

SALGADO et al. (1994) afirmam que os colmos maduros apresentam melhor resistência à flexão e à compressão, em relação à colmos novos, por tratarem-se de peças já totalmente lignificadas. O bambu, assim como a madeira, é um material heterogêneo e anisotrópico, ou seja, apresenta módulos de elasticidade que variam conforme o sentido de aplicação das cargas.

2.3. Propriedades Químicas e Anatômicas

As propriedade físicas e mecânicas estão correlacionadas às propriedades químicas e anatômicas (HIDALGO-LOPEZ, 2003), e seu conhecimento contribui na identificação de espécies de bambu mais adequadas à aplicação na indústria da construção, no que tange à resistência mecânica e durabilidade.

KOLLMAN & CÔTÉ (1968) afirmam que as oscilações na densidade dos tecidos lenhosos são originadas pela diferença estrutural, pela presença de extrativos e pela composição química destes. A diferença estrutural é explicada pela organização das estruturas anatômicas e pelas variações das dimensões (comprimento, espessura e diâmetro) dos elementos estruturais, como fibras, vasos, parênquima, assim como a proporção entre tais elementos.

O tecido do colmo consiste de células parenquimáticas, onde estão embebidos os

feixes fibro-vasculares compostos de vasos (metaxilema), tubos de seiva e células acompanhantes (floema) e fibras. Em média, apresentam-se na proporção de 52 % de parênquima, 40 % de fibras e 8 % de tecidos de condução (GROSSER & LIESE, 1971).

O bambu não apresenta meristema cambial e elementos radiais, o que dificulta o movimento de distribuição transversal da seiva. Os nós promovem a conexão transversal com a parede do colmo via diafragma, por se tratarem de peças ocas. Existem alguns bambus sólidos, conhecidos como bambus “ machos” , os quais pertencem aos gêneros *Chusquea* e *Dinochloa* (LIESE, 1998).

Ainda segundo o mesmo autor, os feixes fibro-vasculares do bambu são claramente contrastados pelas escuras células esclerenquimáticas em oposição ao claro tecido parenquimatoso (Figura 2).

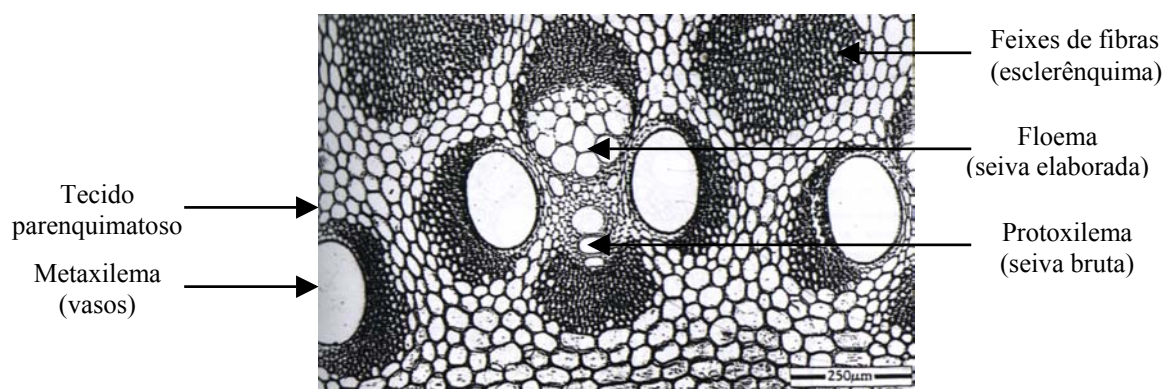


Figura 2 – Feixes fibro-vasculares Tipo I , gênero *Phyllostachys* (LIESE, 1998).

Na periferia, os feixes são menores e mais numerosos, enquanto na zona interna são maiores e pouco numerosos. A parede do colmo torna-se mais delgada com o incremento da altura, associada a um decréscimo no número de feixes e aumento da massa específica (GROSSER, 1971).

A parte externa dos colmo (cortex) funciona como bloqueadora de água e como elemento protetor dos tecidos lenhosos, apresentando maior massa específica que a parte interna. A epiderme contém células alongadas, axialmente distribuídas, com alta concentração de sílica, que lhe fornece alta resistência. As células da epiderme são recobertas por uma camada cutinizada de celulose e pectina, formando uma cobertura cerosa (SEKAR, 1992).

A hipoderme, logo abaixo da epiderme, apresenta uma série de camadas de células esclerenquimatosas de paredes espessas, sendo que seu tamanho aumenta das camadas externas para as internas (GROSSER, 1971).

Segundo BERALDO & ZOULALIAN (1995), o bambu possui estrutura anatômica que lhe garante resistência (concentração de fibras na região externa) e flexibilidade (concentração de vasos e células de parênquima na região interna). A concentração de fibras na parte externa do colmo é vista, em termos de engenharia civil, como uma maximização do raio de giração (CUSACK, 1997).

As células de parênquima dos nós e diafragmas têm alto teor de amido (Figura 3), e as fibras e o protoxilema podem apresentar também inclusões deste (LIESE, 1998). O amido fornece energia para o espessamento das paredes celulares, e é altamente atrativo a organismos xilófagos. A base contém menos amido, e observam-se maiores teores nos meses mais frios, como forma de suprir a demanda do período vegetativo, sendo que colmos mais maduros apresentam maiores teores (SULTHONI, 1987).

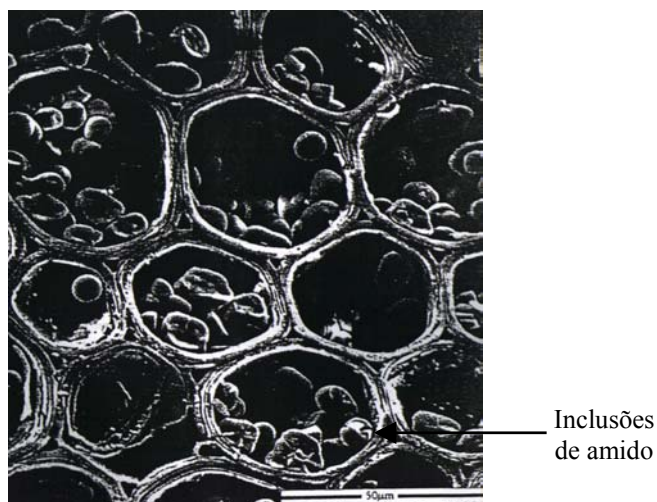


Figura 3 – Células parenquimáticas do gênero *Phyllostachys*, com inclusões de amido (LIESE, 1998).

O conteúdo de amido e açúcar da espécie *Sasa senanensis* varia durante as estações do ano, sendo maior no inverno e menor no verão, confirmando a informação contida no parágrafo anterior, conforme observado por SEKI & AOYAMA (1995). A amplitude de variação foi maior para o amido que para o açúcar, e o conteúdo de polissacarídeos e lignina variou consideravelmente acompanhando seu crescimento, sendo que a deposição de polissacarídeos, especialmente hemicelulose, é completada nos primeiros estágios de desenvolvimento dos colmos.

Segundo GUHA et al. (1975), em estudo sobre a produção de polpa celulósica a partir de espécies do gênero *Dendrocalamus*, o teor de holocelulose e lignina para o *D. strictus* foi de , respectivamente, 66,4 % e 27,87 %, enquanto para o *D. giganteus* observaram-se valores para holocelulose e lignina de 71,93 % e 27, 04 %, sendo que o *D. strictus* apresentou fibras mais curtas que o *D. giganteus*.

TAMOLANG et al. (1980), trabalhando com *Bambusa vulgaris*, *Gigantochloa aspera* e *Schizostachyum lumanpao*, verificaram as seguintes proporções entre os componentes químicos:

Tabela 1 – Componentes químicos (em %) de 03 espécies de bambu (TAMOLANG et al. (1980).

Espécie	Holocelulose	Pentosanas	Lignina	Cinzas	Sílica
<i>B. vulgaris</i>	66,5	21,1	26,9	2,4	1,5
<i>G. aspera</i>	61,3	19,6	25,5	4,1	2,4
<i>S. lumanpao</i>	60,6	20,6	20,4	9,7	6,4

Segundo alguns autores (LIESE, 1998; HIDALGO LOPEZ, 2003), o teor de lignina e a espessura das paredes celulares afetam as propriedades físicas e mecânicas do bambu. A lignina é um polímero de alto peso molecular, formado por unidades fenilpropanóides, e suas estruturas mostram-se menos complexas e resistentes, após polimerização na parede celular, segundo a seguinte ordem: cumarílica, guaiacílica e siringílica (ABREU et al., 1999).

As paredes celulares das fibras do *Phyllostachys pubescens* são ricas em lignina guaiacílica nos primeiros estágios de lignificação, enquanto que a lignina siringílica é

característica dos estágios posteriores. Os vasos contém lignina guaiacólica na sua maior parte, enquanto as fibras e células de parênquima apresentam tanto ligninas guaiacólica quanto siringílica, segundo LIN et al. (2002).

SHIMADA et al. (1970), em estudo acerca do metabolismo do ácido *p*-cumárico do *Phyllostachys pubescens*, observaram que seu teor aumenta drasticamente do ápice para a base dos colmos, comparando-se com o ácido ferúlico, que não apresentou a mesma tendência de forma tão marcante, durante o processo de lignificação.

O processo de lignificação do *Phyllostachys heterocyclus* foi estudado por ITOH (1990), acompanhando o desenvolvimento de colmos até a idade de 02 anos. Segundo o autor, a lignificação ocorre do ápice para a base, e de fora para dentro do colmo. As células da epiderme e as fibras antecedem o parênquima neste contexto, o qual só é intensamente lignificado após o surgimento das hastes laterais. Acrescenta ainda que a lignificação atinge seu grau máximo após uma estação de crescimento (cerca de 1 ano).

Os vasos do protoxilema lignificados nos primeiros estágios de diferenciação dos feixes fibro-vasculares, os vasos do metaxilema e as paredes das fibras iniciam o processo de lignificação pela lamela média e pelas bordas das células. A maior parte do parênquima apresenta-se lignificado após o colmo atingir seu comprimento máximo, enquanto algumas células parenquimáticas permanecem não lignificadas mesmo em colmos maduros (LIN et al., 2002).

2.4. Produção de Compósitos utilizando o Bambu como Matéria-Prima

É pouco encontrada na literatura informação acerca da utilização do bambu *in natura*, na construção civil, estando normalmente associado a outros materiais, tais como resinas, aglomerantes e adesivos, sendo objeto de estudo de diversos autores.

BERALDO & ZOULALIAN (1995) afirmam que a mistura de partículas de bambu com cimento portland apresenta propriedades interessantes de massa específica reduzida, resistência mecânica adequada e bom isolamento termo-acústico, qualificando-no para o emprego na forma de blocos, placas e pisos.

Concluem que, sob tratamento adequado, eliminando-se certos tipos de açúcares, taninos e fenóis nocivos à pega do cimento, e recobrando as peças com soluções à base de betume, o bambu permite a obtenção de compósitos com resistência superior a 4,0 MPa e variações dimensionais em torno de 1,00 mm/m.

Segundo GHAVAMI (1992), o bambu é um material de eficácia comprovada do ponto de vista técnico, e viável economicamente devido ao seu baixo custo. Empregado como reforço no concreto, apresenta baixa energia por unidade de tensão e alta resistência à tração, da ordem de 200 N/mm².

Ainda segundo GHAVAMI (1992), vigas reforçadas com bambu, podem aumentar a carga aplicada em 100 % em relação às vigas de concreto não-armadas e que o tratamento com Negrolim, arame e areia apresentou aumento da aderência de 90% com o concreto. Afirma ainda que trata-se de material ecológico, imune à corrosão e aos cupins quando tratado adequadamente e que sua produção não apresenta qualquer implicação poluente (como o aço), além de ser 10 vezes mais leve que este e ter resistência 05 vezes maior, em média, em relação ao seu peso específico.

A metodologia de corte e colagem de lâminas de bambu foi estudada por MANTILLA et al. (1995), utilizando na colagem adesivo inorgânico e sintético, à base de resorcinol. Segundo os autores, a ligação adesiva bambu/bambu é estrutural, apresentando um aumento da rigidez (módulo de elasticidade de 18.665 MPa) 4,5 vezes maior que o da literatura (GHAVAMI, 1992), e que a ruptura sempre ocorreu no bambu, e não no adesivo.

LEE et al. (1998) verificaram as propriedades de um laminado em bambu (com placas coladas com adesivo à base de resorcinol), e encontraram valores de módulo de ruptura mais altos que os da madeira, além de melhoria na estabilidade dimensional. LEE & LIU (2003) comparando pisos laminados de *Phyllostachys pubescens* com os de carvalho (*Quercus falcata*), observaram menores valores de densidade e retratibilidade.

SUI et al. (2000) testaram o comportamento mecânico de placas sanduíche alumínio/bambu com dois tipos de resina na interface, obtendo aumentos nas propriedades de flexão e compressão, quando da melhoria na linha adesiva. RAJULU et al. (2000) analisaram a resistência química e as propriedades mecânicas de vigas laminadas de bambu, cujas fibras foram coladas com epoxy e polimetil metacrilato (PNMA), e concluíram que as fibras tratadas dessa forma resistiram à ácidos e álcalis, e tornaram-se mais resistentes à absorção de água e à ruptura.

2.5. Preservação

O bambu tem se mostrado um excelente material para fins de construção civil. Um dos seus grandes inconvenientes é a rápida degradação quando em contato com o solo. Dificilmente espera-se do bambu uma longa durabilidade sem tratamento químico ou físico, ou da utilização de alguma técnica adequada no processo de colheita. Em razão dessa suscetibilidade do material, alguns métodos e práticas foram sendo adotados, com vistas à melhoria de sua durabilidade.

Durante a colheita se inicia o processo de preservação, ou degradação, do bambu. ANDRADE (1918), citando o astrônomo F. Arago, afirma categoricamente ser a fase lunar mais apropriada para a colheita florestal o último quarto (ou minguante), na qual a umidade atmosférica é mais baixa. Tal afirmação vem ao encontro do conhecimento popular, tanto ocidental quanto oriental.

Na Ásia, LIESE (1998), observou que os produtores de bambu disseminam a informação de que os colmos devem ser coletados antes do nascer do sol, devido provavelmente ao fato do conteúdo de amido e açúcares ser menor durante a noite, em função do processo de respiração da planta.

No que tange à época do ano mais apropriada, SALGADO et al. (1994) recomendam que a colheita do material seja feita durante os meses mais frios, de maio a agosto, os quais apresentam menor atividade de insetos e fungos, sendo que estes últimos atacam colmos com teor de umidade acima de 20 a 22 % aproximadamente.

Outros fatores podem afetar a durabilidade do bambu. Como por exemplo o teor de lignina, a idade dos colmos e a posição dos feixes fibro vasculares. Isto foi mostrado por MURPHY et al. (1991) ao estudar a espécie *Sinobambusa Tootsik* quando atacado por fungos de podridão mole. Segundo o autor, a degradação é maior nas paredes das células das fibras que amadurecem mais tarde, no curso de desenvolvimento do colmo, onde verificam-se zonas com menor teor de lignina.

No que se refere à insetos xilófagos, GALLO et al. (1988) identificaram como pragas do bambu o *Rhinastus latisternus* (Curculionidae) e o *Dinoderus minutus* (Bostrychidae), coleópteros que atacam a gramínea em povoamentos e durante o processo de secagem, respectivamente. Há que se frisar que assim como a madeira, o bambu é atacado por térmitas (cupins), em função do alto teor de amido apresentado por algumas espécies (HIDALGO LOPEZ, 2003).

Os processos utilizados para preservação do bambu são similares aos da madeira. Podendo se usar métodos com pressão (célula cheia ou célula vazia) ou sem pressão. Encontra-se algumas experiências de preservação em bambu tanto com métodos pressurizados ou não. LAHIRY (1997), usando o método pressurizado,

observou que o bambu seco, com 10 a 15% de umidade, apresenta maior capacidade de absorção que o verde, e que as maiores absorções foram observadas nos nós dos colmos.

Os métodos de tratamento mais utilizados, em escala artesanal e semi-industrial, são os da Capilaridade, Boucherie (bambu saturado), Banho frio e Banho quente-frio (bambu seco), segundo SALGADO et al. (1994). De forma rústica, pode ser preservado na mata (mantendo-o verticalmente de 4 a 8 semanas), submergindo-o em água corrente por 04 semanas, ou ainda, aquecendo-o sob fogo, sem queimá-lo.

NASCIMENTO et al. (2002) testaram métodos de preservação, dentre eles o Boucherie modificado (substituição da seiva, associada a pressão), o Pressão tipo Lowry (célula vazia), o de Capilaridade (substituição de seiva) e Imersão (difusão), e os produtos Osmose CCB (sal hidrossolúvel), o Clorpirifós (inseticida organofosforado) e o Pentoxin WR-556 (organoclorado oleossolúvel). Concluem que bambus tratados com o produto CCB apresentaram melhor nível de sanidade que os tratados com os demais produtos, sendo que, em todos os métodos de preservação, o produto Clorpirifós apresentou resultados inferiores, e que o método Boucherie modificado foi o menos eficaz, fato devido ao menor tempo de contato com o agente preservante, sendo que os demais métodos apresentaram eficiência similar.

O método de pressurização, com aplicação de vácuo, utilizado em escala industrial, tem se mostrado o mais efetivo, contanto que se proceda à perfuração dos diafragmas dos nós e prévia secagem das varas. De outra forma o material torna-se inutilizável, devido às altas pressões que ocorrem no interior dos colmos, provocando rachaduras durante o processo de carregamento (observações feitas no CANTOAR – Canteiro Oficina de Arquitetura – Projeto FAU/UnB)

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 (LEPAGE, 1986).

As formulações químicas para tratamento de bambu são semelhantes às obtidas para madeira. FINDLAY (1985) recomenda o creosoto e óleo combustível (50:50 em peso), o Clorito de Zinco cromatado (clorito de zinco e dicromato de sódio ou potássio, na razão de 81,5:18,5), e a composição com cobre, cromo e boro (ácido bórico, sulfato de cobre e dicromato de sódio ou potássio, na proporção de 1:1:1,5), entre outras.

Para um tratamento preservativo satisfatório, LIESE (1967) afirma, com relação aos aspectos microscópicos do colmo, que, sob pressão ou não, a quantidade de vasos da estrutura anatômica da planta é importante. A penetração da solução preservativa ocorre preferencialmente na direção do comprimento do mesmo, iniciando-se pelos vasos e difundindo-se para dentro das células de fibras e parênquimas circundantes, pelas pontuações.

Já PENNA (1983), após análise estatística de dados, concluiu que a preservação de colmos de bambu pode ser realizada da parte oca em direção à camada fotossintética. O preservativo, segundo o autor, penetra nas células de parênquima que, por suas pontuações, conduzem o preparado químico até a parte de mais densa concentração das fibras.

Com respeito a conservação do aspecto natural do bambu e das propriedades da casca, sob efeito de preparados químicos, CHANG (1997) observou que colmos do gênero *Dendrocalamus* pré-tratados com álcalis, antes dos sais inorgânicos, mantiveram a coloração esverdeada da casca por mais tempo do que colmos tratados apenas com cromatos, sais de níquel ou cobre, individualmente.

2.6. Preservantes de Baixa Toxidez

As pesquisas contemporâneas têm se voltado para a questão da substituição dos produtos organoclorados e organofosforados, além dos sais constituídos de arsênio, por outros menos agressivos à biosfera, na preservação de materiais ligno-celulósicos.

Dentro dessa nova perspectiva, soluções à base de ácido bórico e tanino condensável apresentaram bons resultados na preservação de madeiras (PIZZI et al, 1996; THEVENON et al., 1998), e podem constituir uma alternativa interessante para prolongar a durabilidade do bambu.

Os taninos são compostos fenólicos que apresentam propriedades especiais tais como precipitar alcalóides, gelatinas e outras proteínas. Trata-se de um preservante natural e agente anti-fúngico, que quando combinado, em duplo tratamento, com íons de cobre, ou em tratamentos efetuados em uma única etapa utilizando-se uma solução amoniacal aquosa, apresenta resultados satisfatórios, mas não tão efetivos quanto o duplo tratamento (LAKS et al., 1988).

Os taninos são agrupados em 02 grandes grupos: hidrolisáveis e condensáveis. Os hidrolisáveis são compostos por glicose ou ácido polihídrico, esterificados com ácido gálico ou hexahidroxifênico (WALKER, 1975), sendo facilmente lixiviáveis quando combinados com ácido bórico (PIZZI et al., 1996).

Os taninos condensáveis são polifenóis vegetais de alto peso molecular, formado por unidades constituintes flavonóides (Figura 4) apresentando uma estrutura mais resistente que a dos hidrolisáveis (WALKER, 1975).

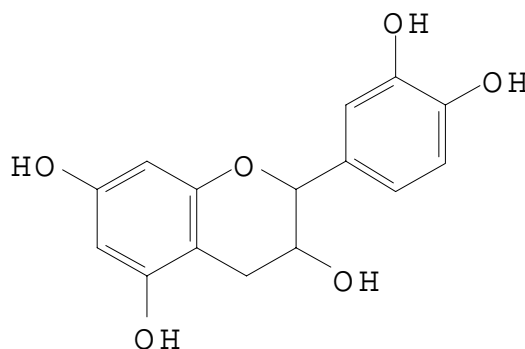


Figura 4 – Tanino condensável baseado em unidade flavan-3-ol (LAKS et al., 1988).

A maioria dos agentes patogênicos excretam enzimas extracelulares (celulases e lignases) para romper os tecidos das plantas, e os taninos condensáveis atuam como inibidores dessas enzimas, complexando-se com essas proteínas e bloqueando sua ação (ZUCKER, 1983).

Quanto ao boro, trata-se de um sal metálico de baixa toxidez à mamíferos, utilizado na preservação de madeira, o qual apresenta-se tóxico a um grande número de organismos xilófagos. Costuma ser utilizado juntamente com o borato de sódio, apresentando contudo problemas de lixiviação em contato com o solo ou a água (SANTINI, 1988).

PIZZI et al. (1996) propuseram um método de fixação de boro, baseado numa reação em etapas distintas sob pressão, e com secagem à alta temperatura entre estas, em que o ácido bórico induz a autocondensação do tanino, conservando suficiente

mobilidade para manter sua ação preservativa. Os resultados indicam que a solução aumenta a permanência do boro, com conseqüente aumento da durabilidade, de 03 a 06 vezes mais, para materiais não expostos ao solo.

Segundo o mesmo autor, o princípio envolvido é de construir nos tecidos lenhosos uma sólida cadeia polimérica de baixa solubilidade, que pode estar ligada por ligações covalentes à matriz ligno-celulósica.

O ácido bórico liga-se a essa cadeia polimérica, baseado na Lei de aceitação de elétrons por ácidos de Lewis, ao oxigênio etéreo da unidade flavonóide, com conseqüente facilitação da abertura do anel heterocíclico (Figura 5).

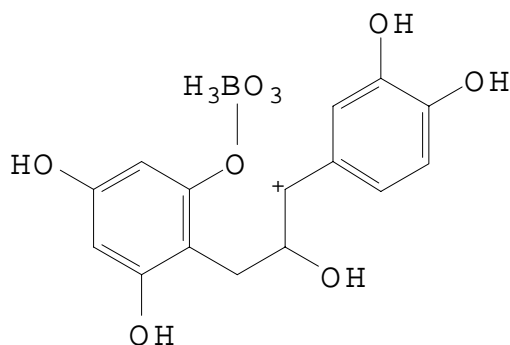


Figura 5 – Ligação do ácido bórico com a unidade flavonóide do tanino (PIZZI et al., 1996).

Testes biológicos acelerados indicaram que o ácido bórico, parcialmente fixado à madeira, pela formação de sal com albumina e outras proteínas, insolubilizadas pela coagulação induzida à calor, apresenta durabilidade comparada àquelas obtidas com C.C.A., segundo estudos de THEVENON et al. (1997).

Ainda segundo THEVENON et al. (1998), o tratamento efetuado em etapa única utilizando tanino condensável, ácido bórico e gelatina AT 400, apresentou maior porcentagem de boro residual, vindo a seguir a formulação com tanino e ácido bórico somente. As retenções foram da ordem de 23, 1 Kg/m³ para o ácido bórico somente, quando utilizada concentração de 5 % em solução aquosa.

3. MATERIAIS & MÉTODOS

3.1. Coleta e Manufatura do Material

Colmos maduros da espécie *Phyllostachys aurea* Carrière ex. A. & C. Rivière (1878) foram coletados em antigo talhão de *Eucalyptus citriodora*, na Floresta Nacional Mário Xavier (IBAMA), no município de Seropédica – RJ (Figura 6). A área apresenta planosolo áplico (identificado *in loco*), precipitação média de 1.000 mm, temperatura média de 23, 5 °C e U.R de 68,37 % , segundo dados obtidos na Estação Agrícola Km 47 – Pesagro - RJ referentes aos anos de 2002 e 2003.



Figura 6 – Povoamento de *Phyllostachys aurea*

O material coletado (52 colmos) foi encaminhado ao Laboratório de Produtos Florestais da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, para acondicionamento e análise. Além da maturação, outro critério para a seleção dos colmos foi o Dap (diâmetro à altura do peito), o qual ficou dentro do intervalo da média Dap \pm desvio padrão, ou seja, $3,06 \pm 0,23$ cm (Anexos 1 e 2).

A execução dos corpos de prova foi feita com a base, o meio e o ápice dos colmos, tanto para a caracterização físico-mecânica, quanto para os tratamentos preservantes, devido à variação de densidade e do teor de umidade ao longo das varas, de forma que se pudesse homogeneizar os resultados, para efeito de comparação. O teor de umidade foi tomado retirando-se um cilindro de cerca de 06 cm da base do bambu, dos 52 colmos pré-selecionados para determinação das propriedades físicas e mecânicas.

Foram efetuadas 12 repetições (ensaios físicos e mecânicos), tendo como referência a norma NBR 7190/97, da ABNT (1997) – Projetos de estruturas de madeira,

e 5 repetições (para os tratamentos preservantes), conforme a ASTM D-3345 (1994) – Resistência de materiais ligno-celulósicos a térmitas.

3.2. Ensaio Físicos

Os ensaios físicos efetuados foram a massa específica básica e a 12 %, as contrações volumétricas parcial e total. Os corpos de prova para os ensaios físicos à 12 % de umidade foram acondicionados em câmara climatizada à $20 \pm 2^\circ$ Celsius e umidade de 65 ± 5 %. A norma de referência foi a NBR 7190/97 da ABNT (1997). Os corpos de prova apresentam comprimento de 6 cm, conforme as recomendações feitas por CULZONI (1986), de que o comprimento dos corpos de prova não exceda em duas vezes o diâmetro.

3.2.1. Massa Específica Básica e a 12 % de Umidade

A metodologia seguida para o cálculo da Massa específica Básica foi a proposta por VITAL (1984), ou método hidrostático, dada pela razão entre o peso da amostra seca em estufa pelo seu volume verde (saturado). A massa específica a 12 % de umidade foi calculada pela razão entre a massa e o volume, ambos à 12 % de umidade, utilizando-se o mercúrio no lugar da água para determinação do volume.

O cálculo da massa específica foi feito também para os bambus utilizados no ensaio de biodegradação laboratorial.

3.2.2. Contração Volumétrica Parcial e Total

As amostras saturadas foram pesadas e tiveram seu volume determinado hidrostáticamente, sendo colocadas então para secar em ambiente climatizado. Após atingirem peso constante, o novo volume foi calculado e determinada a contração volumétrica parcial. As amostras foram colocadas para secar em estufa a $103 \pm 2^\circ$ celsius, e após atingirem peso constante, foi determinada a contração volumétrica total.

$$C_{vp} = \frac{(V - V_{12}) \times 100}{V} \quad \text{e} \quad C_{vt} = \frac{(V - V_0) \times 100}{V}$$

onde: C_{vp} é a contração volumétrica parcial, C_{vt} é a contração volumétrica total, V é o volume acima do ponto de saturação das fibras (PSF), V_{12} é o volume à umidade de equilíbrio higroscópico (UEH) e V_0 é o volume seco a 0 % de umidade.

3.3. Ensaio Mecânicos

Os ensaios mecânicos efetuados foram a determinação do limite de resistência à compressão (f_c), do módulo de elasticidade à compressão (MOE) e da tensão de flambagem (σ). Os testes foram realizados em uma Máquina Universal de Ensaio (Figura 7), com célula de carga com capacidade de 10.000 Kgf, e velocidade de carregamento conforme a norma ASTM D-143 (1994). Os corpos de prova para os ensaios mecânicos foram acondicionados em câmara climatizada à $20 \pm 2^\circ$ Celsius e umidade de 65 ± 5 %, até atingirem a UEH de 12 %. A norma de referência foi a NBR 7190/97 da ABNT (1997).



Figura 7 – Máquina universal de ensaios – capacidade 10.000 kgf

3.3.1. Compressão Paralela às Fibras

Os corpos de prova para os ensaios de resistência à compressão paralela as fibras, foram executados de acordo com a metodologia recomendada por CULZONI (1986), que estabelece que o comprimento não deve exceder em mais de duas vezes o diâmetro do colmo (Figura 8) .



Figura 8 – Ensaio de resistência à compressão paralela às fibras

Para o cálculo do Módulo de Elasticidade à Compressão o comprimento dos corpos foi de 30 cm, para que se pudesse fazer uso do elastômetro, que efetuou a leitura da deformação relativa às cargas que foram sendo aplicadas.

3.3.2. Flambagem

Para execução do teste de flambagem (Figura 9), foi necessário calcular o índice de esbeltez para cada amostra. Foram estabelecidos 5 comprimentos de flambagem (17, 34, 60, 80 e 100 cm) e confeccionado o gráfico limite de resistência à tensão de flambagem e índice de esbeltez, calculado conforme as fórmulas que seguem:

$$\lambda = \frac{lfl}{i} \quad i = \frac{\sqrt{I}}{A} \quad I = \frac{\pi}{64}(D^4 - d^4) \quad A = \frac{\pi}{4}(D^2 - d^2)$$

onde: λ é o índice de esbeltez, lfl é o comprimento de flambagem (cm), i é o raio de giração (cm), I é a inércia (cm^4), A é a área do anel circular (cm^2), D é o diâmetro maior (cm) e d o diâmetro menor (cm).

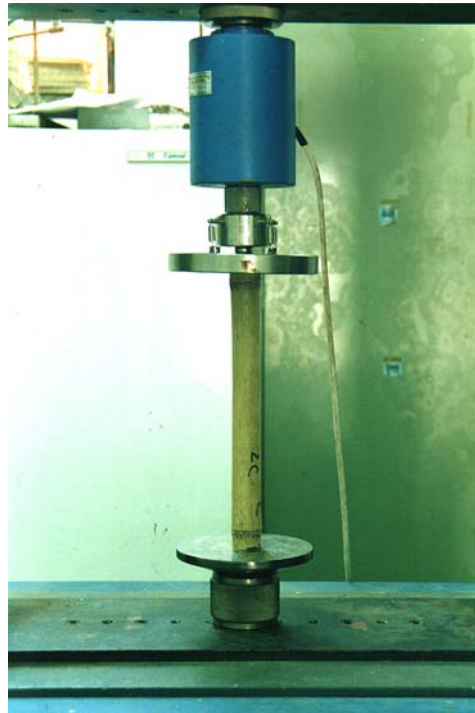


Figura 9 – Ensaio de determinação da tensão de flambagem (σ)

Como o sistema é bi-articulado, o comprimento de flambagem é igual ao comprimento das amostras.

3.4. Caracterização Química

Este experimento foi efetuado no Laboratório de Química da Madeira/IF/UFRRJ, sendo realizadas as seguintes análises quantitativas: teor de extrativos, lignina, celulose e hemicelulose. O material foi seco em temperatura ambiente e em seguida moído em um moinho de martelo. As partículas utilizadas foram

as homogeneizadas em peneirador vibrador, à malha de 2 mm.

A preparação do material livre de extrativos foi feita em extrator de Soxhlet utilizando a seguinte série elutropica: hexano, acetato de etila, metanol e água. A extração aquosa foi realizada a 60° C em um Becker de 250 ml sob agitação, utilizando uma chapa de aquecimento. Os extratos obtidos foram secos e quantificados.

Do material livre de extrativos após seco em estufa a 60° C, foram feitas 3 repetições para obtenção da lignina, com cada uma tendo em torno de 300mg, colocando em tubo de ensaio contendo 3 ml de ácido sulfúrico a 72%, deixando durante 1 hora em banho-maria a 25-30° C sob maceração. Em seguida o material foi transferido quantitativamente para um balão de 250 ml contendo 84 ml de água, ficando em refluxo durante 4 horas. Logo após lavou-se a lignina com 500 ml de água destilada quente sob vácuo em um filtro de Redner, sendo o resíduo em seguida seco em estufa a 105° C até peso constante. Este procedimento baseou-se no método de Klason modificado (EFFLAND, 1977).

Para a celulose e hemicelulose foi realizado primeiro a obtenção da holocelulose por cloração com a amostra livre de extrativos e totalmente seca. Com os seguintes reagentes: ácido acético e clorito de sódio a 80%, usando 2,5g de amostra com 3 repetições. Adicionou-se 8 ml de água destilada quente, 0,5 ml de ácido acético e 1g de clorito de sódio em um erlenmeyer de 250 ml. A mistura foi aquecida em um banho-maria a 70°C, depois de 60 minutos acrescentou-se 0,5 ml de ácido acético e 1g de clorito de sódio, repetindo este procedimento por sucessivas 6 horas sob agitação, até que as fibras mostraram-se completamente separadas da lignina. A amostra reacional ficou mantida em repouso durante 24 horas, em seguida esfriou o material e filtrou sob vácuo até a cor amarela e odor do dióxido de cloro desaparecerem completamente. O material foi seco em uma estufa a 105 °C durante 24 horas.

A obtenção da celulose com exclusão da hemicelulose foi preparada a partir da holocelulose. Os reagentes utilizados foram o hidróxido de sódio a 17,5% e o ácido acético 10%, misturados com 2g de holocelulose seca dentro de um Becker de 250 ml. Mediu-se 25 ml da solução de NaOH a 17,5%, adicionou-se 10 ml desta à holocelulose em um Becker de 250 ml a temperatura de 20 °C em banho-maria, mexendo a holocelulose. Após 2 minutos macerou-se até que as partículas fossem separadas, e decorridos 5 min adicionou-se mais 5 ml de NaOH, agitando-se a mistura até dissolução de todo o material.

Manteve-se a mistura reacional a 20 °C por 30 min., adicionando-se 33 ml de água destilada a 20 °C, e agitando-se o material durante 1 hora, o qual foi filtrado sob vácuo e lavado com 100 ml de NaOH, e duas vezes com água destilada. No filtro colocou-se 15 ml de ácido acético a 10%, por 3 min, para retirar todo ácido acético. Lavou-se o material com água destilada 20 °C por várias vezes até o resíduo celulósico ficar completamente livre do ácido acético, lavando-se novamente com 250 ml de água destilada, e em seguida secando-se o material em uma estufa a 105 °C durante 24 horas.

3.5. Preservação

Os corpos de prova laboratoriais, com 6 cm de comprimento, foram tratados com Ácido Bórico e Tanino autocondensável extraído de Acácia Negra (em diferentes formulações), com Borato de Cobre Cromatado (Osmose-CCB), e mantidas ainda testemunhas sem tratamento químico, para efeito de comparação dos resultados (Tabela 2).

Tabela 2 – Tratamentos aplicados ao *Phyllostachys aurea* Carrière ex. A. & C. Rivière

Tratamentos	Produtos
1	nenhum (testemunha)
2	ác. bórico e tanino (1,2 : 5 %)
3	ác. bórico e tanino (1,2 : 5 %)*
4	ác. bórico e tanino (5 : 1,2 %)
5	osmose CCB 8 % (testemunha)

Obs: concentrações referentes à diluição em meio aquoso

Cabe ressaltar que os tratamentos foram feitos em uma única etapa, com exceção do tratamento assinalado com asterisco (*), o qual foi efetuado em duas etapas, sendo entremeadado por secagem em estufa à 50 – 60 ° celsius, ou seja tratado primeiramente com boro, seco em estufa e novamente tratado, desta vez com tanino.

Os corpos de prova climatizados foram tratados pelo método de pressão de célula cheia (ou seja, vácuo associado à pressão) em autoclave (Figura 10), efetuando-se inicialmente um período de vácuo de 45 minutos, a 0,1 MPa (1 BAR), e posteriormente pressão durante 2 horas e 15 minutos, a 0,3 MPa (3 BAR).



Figura 10 – Tratamento em autoclave por vácuo-pressão (célula-cheia).

Foi calculada a retenção de cada corpo de prova tratado, em kg/m^3 , de todos os tratamentos efetuados em autoclave, por meio de pesagem dos corpos de prova climatizados a 12 % de umidade, antes e depois da preservação efetuada, procedendo-se a determinação das proporções de cada ingrediente ativo contido na solução (SANTINI, 1988).

3.6. Ensaio de Biodegradação Laboratorial

Os corpos de prova, tratados conforme estabelecido na tabela 2, foram submetidos ao ataque de térmitas da família Nasutitermitinae, em ensaio laboratorial, tendo como referência a norma ASTM D-3345 (1994) e a técnica proposta por Paes (1997), no que tange a proceder a vedação dos frascos com poliéster preso por elástico, de forma a permitir a respiração dos insetos e evitar a presença de corpos estranhos.

Foram colocados em frascos de vidro de 500 cm³ cerca de $1 \pm 0,05$ g de *Nasutitermes macrocephalus* (122 insetos, sendo 100 operárias e 22 soldados), 200 g de areia esterilizada (tendo a umidade corrigida com 38 ml de água destilada) e um alimentador de 1,0 x 1,0 x 0,5 cm de *Pinus taeda*.

A avaliação foi feita por meio de verificação da longevidade (tempo de sobrevivência nos frascos) dos cupins, em ambiente com monitoramento de temperatura e umidade (Figura 11), no Laboratório de Preservação da Madeira, Departamento de Produtos Florestais – IF – UFRRJ.



Figura 11 – Ensaio laboratorial com térmitas (*Nasutitermes macrocephalus*)

3.7. Análise Estatística dos Dados

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com arranjo fatorial, com 12 repetições para a caracterização física e mecânica, e 5 repetições para a preservação, sendo a análise de variância o método de avaliação. O teste de comparação entre as médias, quando necessário, foi o de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados obtidos apresentaram distribuição normal, quando submetidos ao teste de Kolmogorov-Smirnov, ao nível de 1% de significância para as propriedades físicas e mecânicas, de 5 % de significância para a preservação e biodegradação, e quando verificadas as homogeneidades das variâncias, pelo teste de Bartlett.

4.1. Propriedades Físicas e Mecânicas

O desenvolvimento de material fisicamente e biologicamente resistente deve ser a princípio baseado nas propriedades originais, assim como nas modificadas. O conhecimento das características do bambu é de grande importância nesse estudo.

O teor de umidade médio na base obteve o valor de 91,5 %, e desvio padrão de $\pm 19,25$ %. LIESE (1998) afirma que o teor de umidade tende a diminuir ao longo do colmo, podendo-se estabelecer que os valores encontrados na base correspondem aos teores máximos de umidade do colmo. Conclui-se desta forma que cerca de 50 % do peso da espécie é relativo a água presente nos tecidos lenhosos, e os outros 50 % devidos à matéria seca propriamente dita, no momento do abate.

A Tabela 3 apresenta os valores médios obtidos para algumas propriedades físicas (massa específica básica, massa específica a 12 %, contração volumétrica parcial e contração volumétrica total) e mecânica (limite de resistência à compressão) do *Phyllostachys aurea*.

Tabela 3 – Valores médios das propriedades físicas e mecânicas do *Phyllostachys aurea*

Posição	Local	Meb kg/m ³	Me ₁₂ kg/m ³	fc MPa	CVP %	CVT %
base	nó	470	718	52,1	27,5	32,0
meio	nó	411	731	54,1	37,8	41,3
ápice	nó	468	756	57,6	31,9	35,7
média		450	735	54,6	32,4	36,3
base	internó	627	733	39,5	3,6	10,7
meio	internó	618	741	56,5	8,1	13,6
ápice	internó	663	778	58,6	6,0	11,7
média		636	751	51,5	5,9	12,0

Onde: Me_b: Massa específica básica, Me₁₂: Massa específica a 12 %, fc: Limite de resistência à compressão, CVP: Contração volumétrica parcial e CVT: Contração volumétrica total (ver Anexo 4).

A Tabela 4, a seguir, apresenta a análise de variância para o limite de resistência à compressão, levando em consideração as fontes de variação posição (base, meio e ápice), local (nó e internó) e a interação entre ambas. Devido a resistência ser afetada pela massa específica de cada amostra, esta variável foi adotada com covariável. Posteriormente, a comparação pelo teste de Tukey foi feito pelas médias corrigidas. A expressão que corrigiu as médias foi a seguinte:

$$Y_{ci} = Y_i - B(X_i - \bar{X})$$

onde: Y_{ci} é a variável dependente corrigida (limite de resistência na compressão; Y_i é a variável dependente , dados originais; B é o coeficiente linear da análise de covariância X_i é a covariável (massa específica a 12%); \bar{X} é a média da covariável

Tabela 4 – Análise de Variância para o Limite de Resistência à Compressão tendo a massa específica 12% como covariável.

FV	GL	SQ	QM	F	Nível
Posição (1)	2	43.053,88	662,37	13,06 *	0,0000
Local (2)	1	19.456,40	299,33	5,90 *	0,0179
Interação (1x2)	2	26.635,27	409,77	8,08 *	0,0007
Resíduo	65	3.297,73	50,73		
TOTAL	71	92.443,28			

CV = 13.42 % ; Posição = base, meio e ápice ; Local = nó e internódio

* Significativo para níveis menores que 0,05

A fonte de variação posição apresentou diferença significativa, ao nível de 5 % de probabilidade, para o limite de resistência à compressão. O local (nó ou internódio) também apresentou diferença significativa para o limite de resistência à compressão, tanto quanto a interação entre as duas fontes de variação.

A Tabela 5 apresenta o teste de comparação entre as médias, para as fontes de variação posição, ou seja, base, meio e ápice, e local, ou seja, nó e internódio. A base apresentou valores diferentes estatisticamente, ao nível de 5 % de probabilidade, em relação ao meio e ápice dos colmos, os quais não diferiram estatisticamente. O nó e o internódio também apresentaram diferença estatística, em função dos baixos valores obtidos para o internódio, na posição base, os quais contribuíram para a diminuição da média geral neste local específico.

Tabela 5 - Comparações entre as médias corrigidas de limite de resistência à compressão, para a fonte de variação posição (base, meio e ápice), pelo teste de Tukey.

Local	Posição			Média
	Base	Meio	Ápice	
Nó	52,1 (53,7) A a	54,1 (54,9) A a	57,6 (56,7) A a	54,6 (55,1) a
Internódio	39,5 (40,1) B b	56,5 (56,6) A a	58,6 (56,3) A a	51,5 (51,0) b
Média	45,8 (46,9) A	55,3 (55,6) B	58,1 (56,7) B	

Onde: letras maiúsculas distintas apresentam diferenças significativas entre colunas, e letras minúsculas, entre linhas, a 5 % de probabilidade.

Obs. os valores entre parêntesis são as médias corrigidas e o outros são as médias originais.

A Figura 12 compara os valores dos limites de resistência à compressão dos nós com os internódios, na qual observa-se a maior resistência mecânica na posição internódio, para meio e ápice, em valores absolutos, embora tal diferença não seja estatística. A menor resistência mecânica no nó se deve à distorção dos feixes fibrovasculares na região do diafragma do colmo, informação esta que encontra respaldo nos trabalhos de HIDALGO LOPEZ (1974) e LIESE (1998).

Percebe-se dessa forma, que a espécie *Phyllostachys aurea* deve possuir um arranjo anatômico mais homogêneo, em função dos valores obtidos para nó e internódio

serem sempre muito próximos, exceção feita aos valores obtidos para o internódio, na posição base, o que pode estar associado ao fato das amostras poderem ter sido retiradas dos locais mais próximos do nó, onde a resistência mecânica decresce cerca de 30 % em relação ao meio dos internódios (HIDALGO-LOPEZ, 2003).

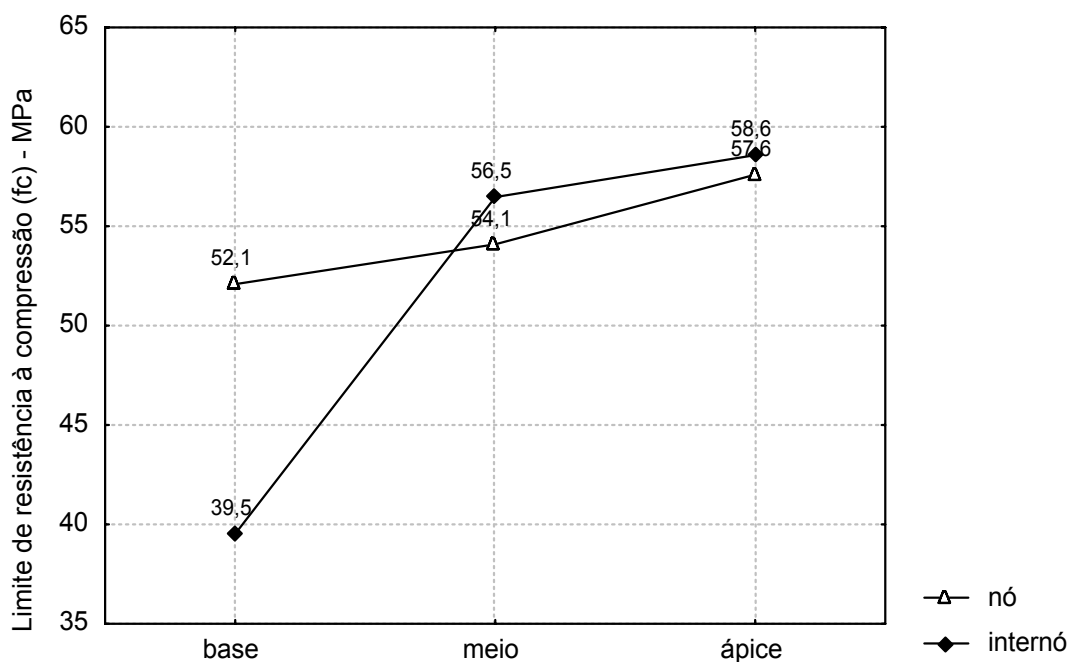


Figura 12 – Valores médios do limite de resistência à compressão, de base, meio e ápice dos colmos, provenientes dos nós e internódios do *Phyllostachys aurea*.

Os valores encontrados demonstram que o bambu apresenta valores de limite de resistência à compressão tão elevados quanto os de algumas madeiras nativas na mesma faixa de densidade, para as posições meio e ápice, tal como a Peroba-rosa (*Aspidosperma peroba*), que apresenta valor de resistência à compressão de 53,7 MPa, segundo BROTERO (1956).

A Tabela 6 apresenta a análise de variância para Massa Específica Básica e Massa Específica a 12 % de umidade, levando em consideração as fontes de variação posição (base, meio e ápice), local (nó e internódio) e a interação entre ambas.

Tabela 6 – Análise de variância para Massa Específica Básica e Massa Específica a 12% de umidade.

		Me básica		Me 12%	
FV	GL	QM	Nível*	QM	Nível*
Posição (1)	2	16572,0	0,0479*	10872,22	0,2096
Local (2)	1	623472,3	0,0000*	4356,56	0,4262
Interação (1x2)	2	4106,6	0,4589	206,56	0,9702
Resíduo	66	5209,34		6795,96	
TOTAL	71				

CV = 13,29 % (Me básica) ; CV = 11,09 % (Me 12%)

Posição = base, meio e ápice; Local = nó e internó

* Significativo para níveis menores que 0,05

Observa-se que a massa específica básica apresentou diferenças significativas, ao nível de 5 % de probabilidade, tanto para a fonte de variação posição (base, meio e ápice), quanto para a fonte de variação local (nó e internó), sendo que a interação entre ambas as fontes de variação não apresentou diferença significativa. A massa específica a 12 % de umidade não apresentou diferença estatística para nenhuma das fontes de variação, concluindo-se que, no que tange a esta variável, trata-se de um material com comportamento bastante homogêneo.

A Figura 13 demonstra que na posição nó houve menores valores de massa específica básica em relação ao internó, e que o meio dos colmos apresenta sempre os menores valores. No que tange a massa específica a 12 % de umidade, os valores de nó e internó foram similares, sendo que o ápice apresentou sempre os maiores valores.

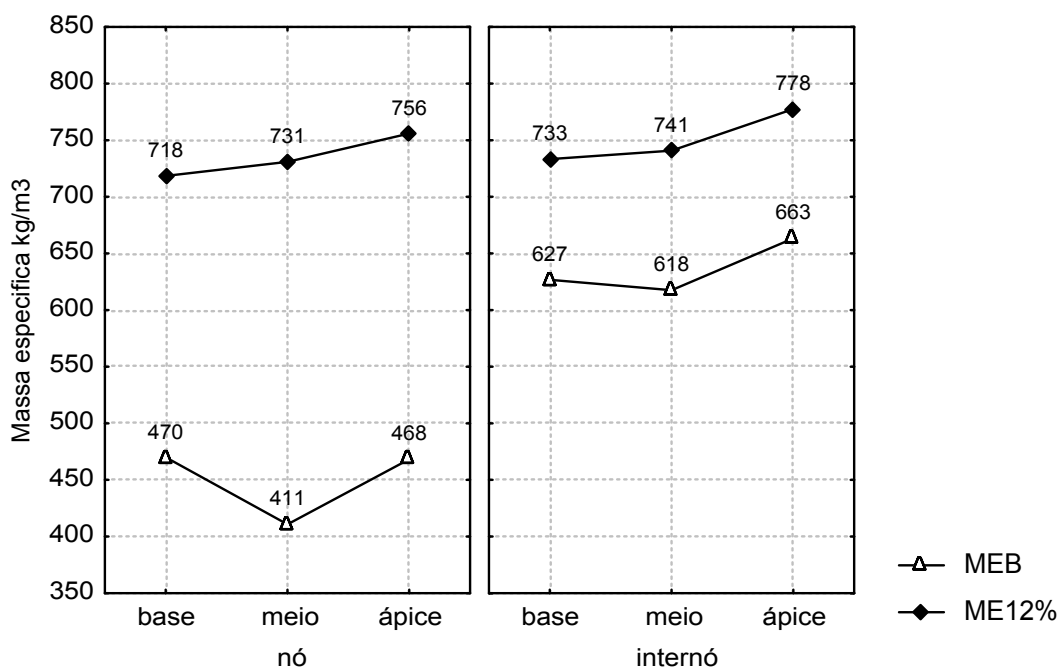


Figura 13 – Massa específica básica e a 12 %, proveniente de nós e internódios, relativos ao *Phyllostachys aurea*.

A Tabela 8, a seguir, apresenta o teste de comparação entre as médias da Massa Específica Básica, para as fontes de variação posição, ou seja, base, meio e ápice dos colmos, e local, ou seja, nó e internó.

Tabela 8 - Comparações entre as médias de massa específica básica, para a fonte de variação posição (base, meio e ápice) e local (nó e internó), pelo teste de Tukey.

Local	Posição			Média	
	Base	Meio	Ápice		
Nó	470	411	468	450	b
Internó	627	618	663	636	a
Média	548 AB	514 A	566 B	543	

em que letras distintas apresentam diferenças significativas, a 5 % de probabilidade

O meio dos colmos apresentou sempre os menores valores, os quais diferiram estatisticamente do ápice dos colmos. A base dos colmos apresentou comportamento similar estatisticamente, tanto em relação ao meio quanto ao ápice dos colmos, podendo-se concluir que sua caracterização fornece subsídios confiáveis para determinação dessa propriedade física. Quanto ao local, os internódios apresentaram maiores valores de massa específica básica, em relação aos nós.

A Tabela 9, a seguir, apresenta as análises de variância para as contrações volumétricas parcial e total.

Tabela 9 – Análise de variância para as Contrações Volumétricas Parcial e Total

FV	GL	CVP		CVT	
		QM	Nível*	QM	Nível*
Posição (1)	2	330,04	0,0000 *	227,45	0,0003 *
Local (2)	1	12667,28	0,0000 *	10613,52	0,0000 *
Interação (1x2)	2	51,30	0,1666	61,54	0,0905
Resíduo	66	27,86		24,70	
TOTAL	71				

CV= 27,56 % (CVP) ; CV= 20,58 % (CVT);

Posição = base, meio e ápice ; Local = nó e internó

* Significativo para níveis menores que 0,05

As análises de variância das contrações volumétricas parcial e total apresentaram diferenças estatísticas, ao nível de 5 % de probabilidade, para ambas as fontes de variação, ou seja, posição (base, meio e ápice) e local (nó e internó), enquanto que para a interação entre tais fontes de variação não foi observada diferença significativa.

A Tabela 10 apresenta os resultados dos testes de comparação entre as médias, para as fontes de variação posição e local, das contração volumétrica parcial e total.

Tabela 10 - Comparações entre as médias de contração volumétrica parcial e total , em função dos fatores posição e local, pelo teste de Tukey

Contração Volumétrica Total				
Local	Posição			Média
	Base	Meio	Ápice	
Nó	32,0	41,3	35,7	36,3 b
Internó	10,7	13,6	11,7	12,0 a
Média	21,3 A	27,4 B	23,7 B	24,5

Contração Volumétrica Parcial				
Local	Posição			Média
	Base	Meio	Ápice	
Nó	27,5	37,8	31,9	32,4 b
Internó	3,6	8,1	6,0	5,9 a
Média	15,6 A	23,0 B	18,9 A	19,15

em que letras distintas apresentam diferenças significativas, a 5 % de probabilidade

Observa-se que, para a variável contração volumétrica parcial, a posição meio diferiu estatisticamente da base e do ápice, ao nível de 5 % de probabilidade,

apresentando sempre os maiores valores de retratibilidade, fato relacionado aos menores valores de massa específica observados em tal posição.

Já para contração volumétrica total, o meio e o ápice dos colmos não diferiram estatisticamente, embora o ápice apresente uma maior concentração de feixes fibro-vasculares, o que implicaria em menores contrações (LIESE, 1998; HIDALGO-LOPEZ, 2003), o que vem a referendar, como já observado em relação ao limite de resistência à compressão e massa específica a 12 %, a homogeneidade do material.

Com relação ao local, o internódio apresentou baixos valores de retratibilidade, enquanto os nós apresentaram altos valores, tanto para contração volumétrica parcial, quanto total, fato este devido às diferenças existentes no arranjo anatômico dos nós, ou seja, à distorção dos feixes fibro-vasculares, como pode ser observado na Figura 14, onde os internódios apresentam retratibilidade menor que os nós, em qualquer uma das posições estudadas, sejam elas base, meio ou ápice.

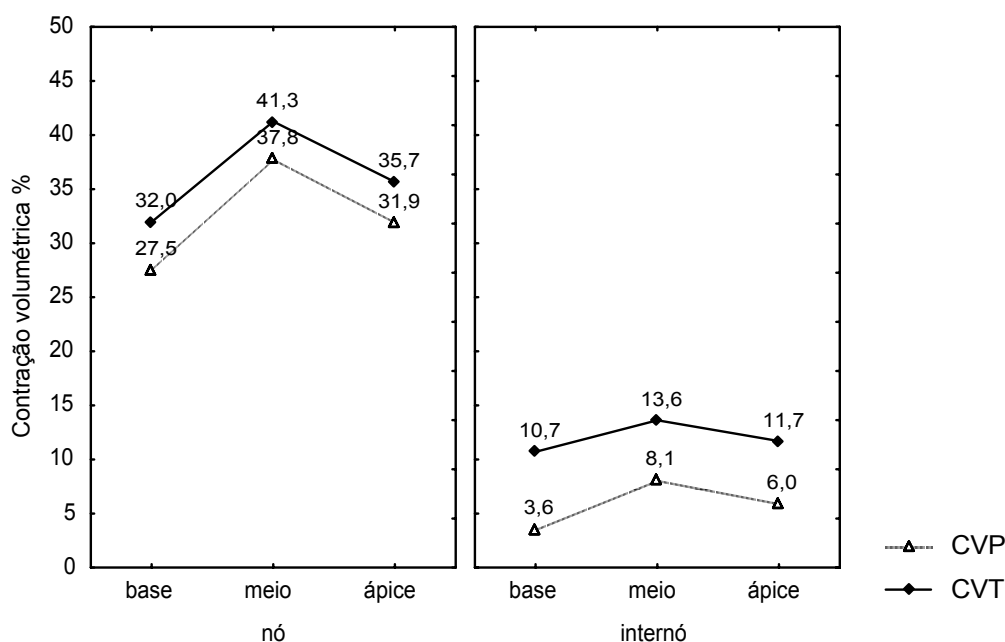


Figura 14 – Coeficientes de retratibilidade parcial (CVP) e total (CVT), provenientes de nós e internódios, relativos ao *Phyllostachys aurea*.

Os altos valores de retratibilidade nos nós também podem ser explicados pela sua baixa massa específica básica, ou seja, a relação peso seco sobre o volume saturado, indicando uma menor porcentagem de matéria seca, a qual está vinculada à presença de grandes quantidades de células parenquimáticas. As células de parênquima estão sujeitas à ocorrência de colapso (NASCIMENTO & DELLA LUCIA, 1990), devido ao fato de possuírem paredes celulares delgadas, acarretando estes índices tão altos de CVP e CVT para a região do nó.

Segundo KABIR et al (1996), os nós do *Dendrocalamus hamiltonii* apresentam maior massa específica e contração volumétrica menor, ou seja, o oposto do observado para o *Phyllostachys aurea*, de forma que o comportamento físico varia muito em função da espécie, ocorrência esta devida, como já observado, às diferenças estruturais no seu arranjo anatômico

A Figura 15 apresenta os valores encontrados de tensão de flambagem, para diferentes índices de esbeltez. Pode-se observar pela regressão que, à medida que aumenta-se o índice de esbeltez, diminui-se o valor da resistência mecânica à flambagem. Apesar do bambu não ser um cilindro perfeito, ou seja, apresentar ocos em

seu conteúdo e diafragmas internos nos nós, o fenômeno de flambagem é bem semelhante à madeira.

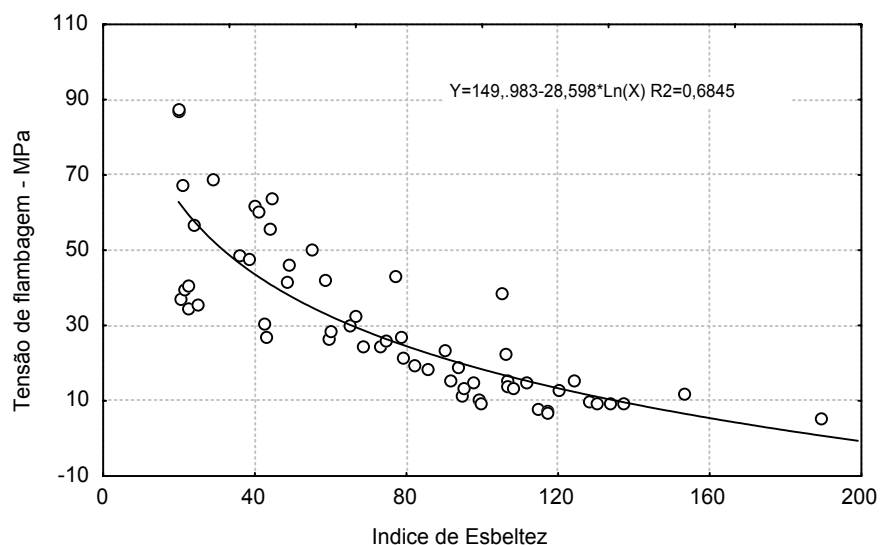


Figura 15 – Regressão dos valores de tensão de flambagem, para diversos índices de esbeltez, do *Phyllostachys aurea*.

Na tabela 11, estão apresentados valores de Módulo de elasticidade e Limite de resistência à compressão, efetuados com corpos de prova com 30 cm de comprimento, sendo que o MOE apresentou valor médio de 18.723 MPa, e o limite de resistência à compressão apresentou o valor médio de 50,51 MPa. Os valores mínimos para MOE e f_c foram, respectivamente, 13.586 MPa e 35,19 MPa, enquanto os valores máximos foram de 22.861 MPa e 67,88 MPa.

Tabela 11 – Módulo de Elasticidade (MOE), Limite de resistência à compressão (f_c), carga de ruptura (Nr) e massa específica aparente 12%, do *Phyllostachys aurea*.

Colmo	Nr (N)	f_c (MPa)	MOE (MPa)	Me-12% kg/m ³	MOE/Me- 12%
1	14.581	44,45	17.424	670	26,01
2	13.663	51,44	20.359	780	26,10
3	14.479	46,45	15.066	680	22,16
4	8.361	35,52	13.586	600	22,64
5	13.358	58,44	21.966	900	24,41
6	15.601	53,31	20.855	790	26,40
7	21.005	67,88	22.018	790	27,87
8	10.401	35,19	14.217	710	20,02
9	10.808	50,92	13.830	650	21,28
10	16.315	55,57	22.469	800	28,09
11	19.577	63,71	20.210	790	25,58
12	12.032	43,19	22.681	730	31,07
CV	25,83 %	20,15 %	19,47 %	11,18 %	12,67 %
Média	14182	50,51	18723	740	25,14

Onde: Nr é a carga de ruptura f_c é o limite de resistência à compressão, MOE é o módulo de elasticidade na compressão e Me-12% é a massa específica a 12% de umidade.

Os valores para massa específica a 12 % de umidade variaram de 600 a 900 kg/m³, sendo que o valor médio foi de 740 kg/m³. Observa-se na relação entre o MOE e a massa específica a 12% de umidade um valor médio de 25,14 MPa/kg/m³, sendo que para as madeiras nacionais mais usadas na construção civil esta relação esta entre 14 – 18 MPa/kg/m³ (MOLITERNO, 1986), demonstrando desta forma que o bambu é um material leve e extremamente rígido.

As Figura 16 e 17 apresentam, respectivamente, a correlação entre os valores de limite de resistência à compressão e massa específica a 12 %, e entre os valores de módulo de elasticidade à compressão e massa específica a 12 %.

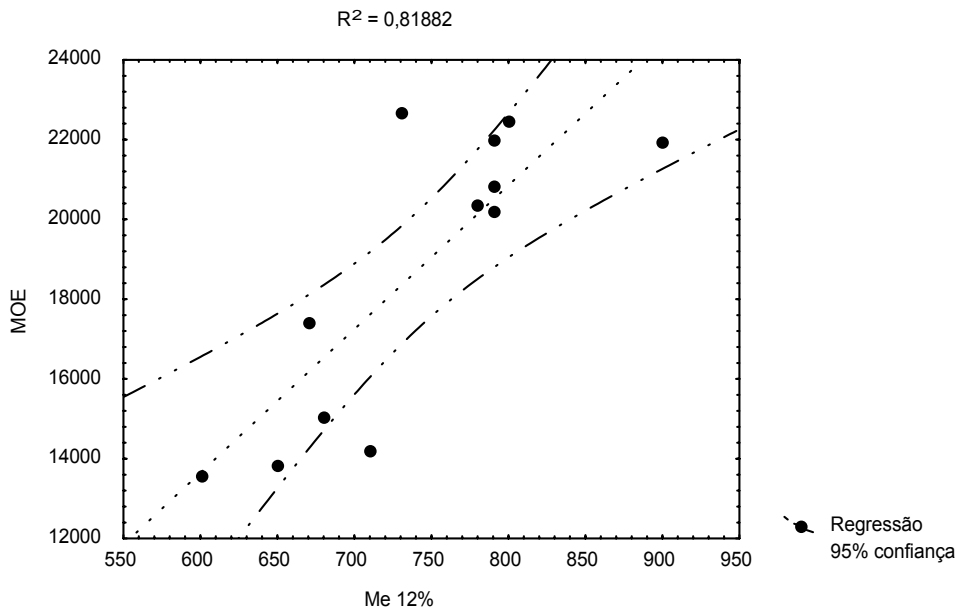


Figura 16 – Correlação entre massa específica e o limite de resistência à compressão.

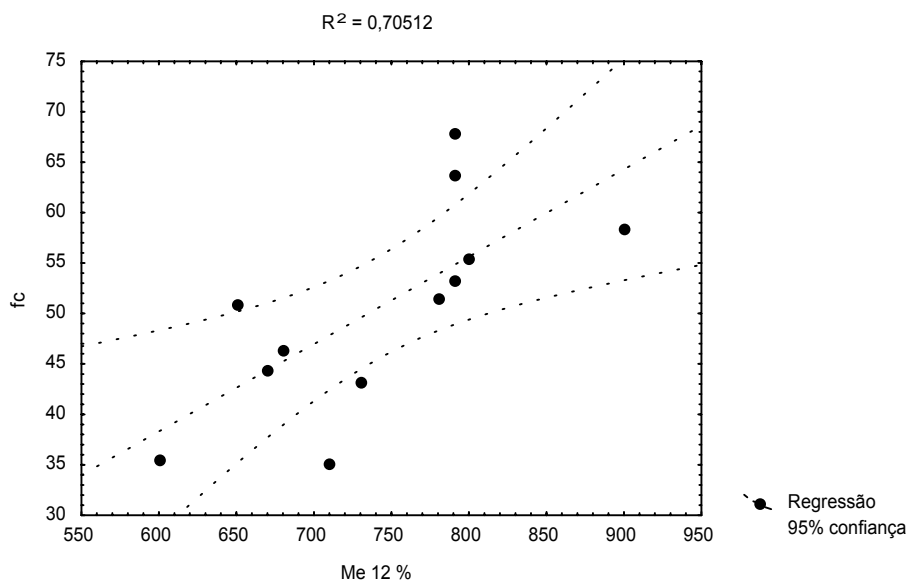


Figura 17 – Correlação entre massa específica e o módulo de elasticidade à compressão.

Observa-se a nítida correlação entre os valores das propriedades mecânicas e a

massa específica, de forma que a medida que esta aumenta ocorre uma elevação diretamente proporcional em termos de limite de resistência e módulo de elasticidade à compressão. Os resultados obtidos coadunam com os encontrados por ZHOU (1981), que afirma serem as propriedades mecânicas dos colmos de bambu determinadas pela sua massa específica.

4.2. Composição Química

A composição química do *Phyllostachys aurea* é apresentada na Figura 18.

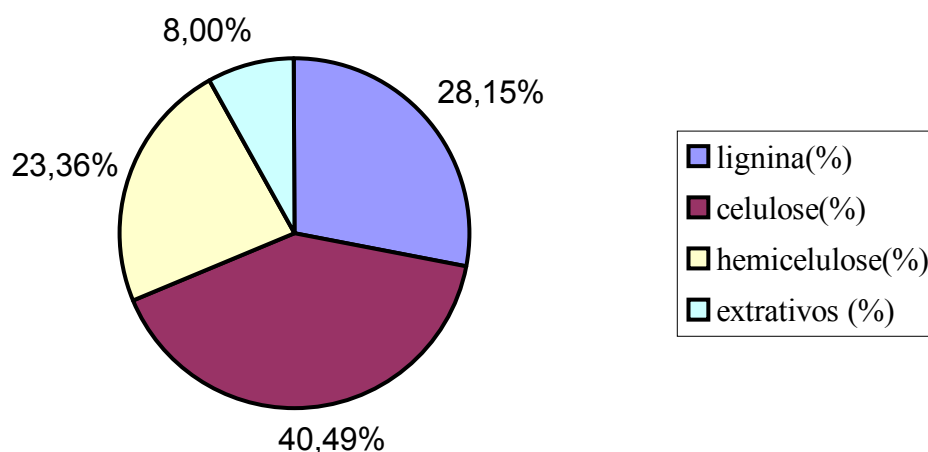


Figura 18 – Composição química do *Phyllostachys aurea*, em porcentagem (%)

Os teores de celulose, hemicelulose, lignina e extrativos, respectivamente, foram de 40,49 %, 23,36 %, 28, 15 % e 8 %. Cabe ressaltar que não foi determinado o teor de sílica contido na lignina. Observa-se que o teor de celulose está na mesma faixa observada para madeira de coníferas e folhosas tropicais, da ordem de 50 %, conforme observado por D'ALMEIDA (1981), em seu trabalho sobre tecnologia de fabricação de pasta celulósica.

No que tange a correlação entre resistência à compressão e teor de lignina, a resistência mecânica foi de 50,51 Mpa para o *Phyllostachys aurea*, enquanto o teor de lignina foi de 28,15 %, em média. A espécie *Bambusa tuldoides*, que teve suas propriedades químicas quantificadas para efeito de comparação, apresentou teor de lignina de 32,67 %. COLLI et al. (2003) encontraram valores bem próximos (50,41 Mpa) aos do *Phyllostachys aurea* para limite de resistência à compressão, apesar do maior teor de lignina.

Tal constatação pode estar relacionada a diferenças estruturais da lignina ou de natureza anatômica, haja vista que ligninas estruturalmente diferentes podem apresentar influência nos valores de resistência mecânica (HIGUCHI, 1997), ou seja, apesar dos menor teor de lignina observado no *Phyllostachys aurea* em relação ao *Bambusa tuldoides*, seus constituintes podem ter exercido influência no que tange à resistência mecânica.

Os extrativos do *Phyllostachys aurea* foram obtidos com 04 tipos diferentes de solventes, tanto polares quanto apolares, a saber (por ordem eluitrópica): ciclo hexano,

acetato de etila, metanol e água, conforme a Figura 19, a seguir.

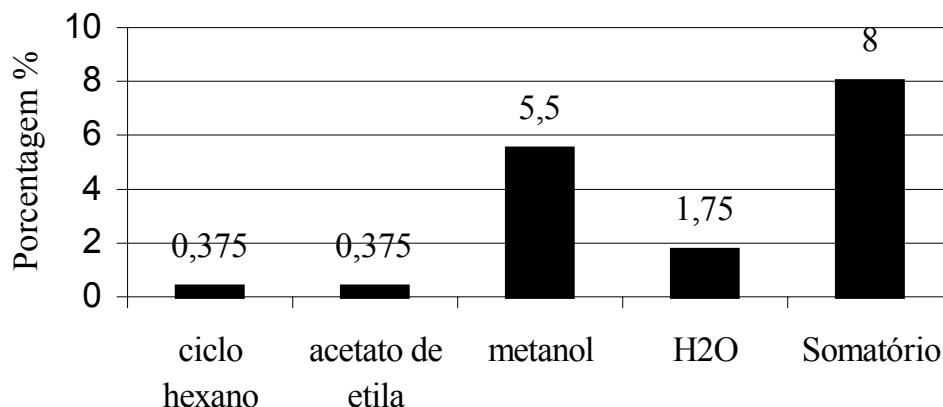


Figura 19 – Teores de extratos obtidos de partículas de *Phyllostachys aurea*

A maior proporção de extrativos foi obtida com o solvente metanol (5,5 %) enquanto tanto para o solvente ciclo hexano, quanto para o acetato de etila foram observadas as menores proporções de extrativos (0,375 %). A proporção da extração com água foi de 1,75 %, de um total de 8 % de extrativos obtidos com os 04 solventes utilizados.

Os dados obtidos para *Phyllostachys aurea*, *Bambusa tuldooides* (COLLI et al., 2003), além de dados obtidos na literatura do *Bambusa vulgaris* (HIDALGO LOPEZ, 2003) foram utilizados na montagem da Figura 20, que compara os valores das variáveis teor de lignina, celulose e hemicelulose das diferentes espécies, além do limite de resistência à compressão, em média.

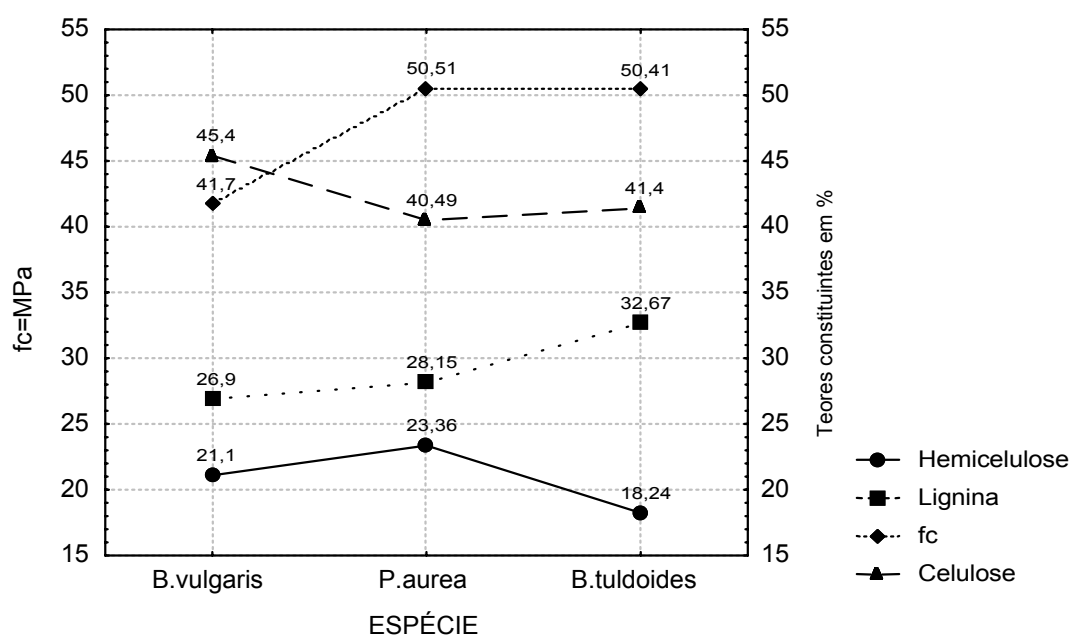


Figura 20 - Composição química e limite de resistência a compressão de 03 diferentes espécies de bambu

Observa-se que há uma tendência do aumento do limite de resistência à compressão, à medida que o teor de carboidratos diminui, de forma inversamente proporcional. A porcentagem de lignina comporta-se de maneira diretamente proporcional em relação as propriedades mecânicas, informação compartilhada por SALGADO et al. (1994), que constatou correlação entre maiores teores de lignina e valores de resistência mecânica

O conhecimento da composição química da espécie é de grande valia para extrapolação dos resultados obtidos na preservação. Povoamentos de bambu sujeitos a diferentes condições edafoclimáticas, porém com composições químicas semelhantes, poderiam ser submetidos aos produtos utilizados na preservação, com eficiência similar.

4.3. Preservação

A Tabela 12 apresenta as médias dos resultados de retenção de ingrediente ativo e massa específica dos corpos de prova submetidos à preservação em autoclave, pelo método de célula cheia (ou seja, vácuo associado à pressão), com período de vácuo de 45 minutos, a 1 BAR (0,1 MPa), e posteriormente pressão durante 2 horas e 15 minutos, a 3 BAR (0,3 MPa).

Cabe ressaltar que os tratamentos foram feitos em uma única etapa, com exceção do tratamento assinalado com asterisco (*), o qual foi efetuado em duas etapas, sendo entremeadado por secagem em estufa à 50 – 60 ° Celsius, ou seja tratado primeiramente com boro, seco em estufa e novamente tratado, desta vez com tanino.

Tabela 12 – Retenção de ingrediente ativo (i.a) dos tratamentos aplicados ao *Phyllostachys aurea*, para o ensaio de biodegradação laboratorial, com corpos de prova de 5 cm de comprimento.

Tratamentos	M. específica kg/m ³	Ret. Boro kg/m ³	Ret. Tanino kg/m ³	Ret. Total kg/m ³
Testemunha (T1)	780	-	-	-
Boro 1,2 % + Tanino 5 % (T2)	770	3,72	15,48	19,20 a
Boro 1,2 % + Tanino 5 % *	780	4,88	16,96	21,84 a
Boro 5 % + Tanino 1,2 % (T3)	790	18,30	4,39	22,69 a
CCB 8% (50 % i.a) (T4)	810	3,26	-	14,56 a

Obs: CCB: ácido bórico, sulfato de cobre e dicromato de potássio

O Tratamento efetuado em duas etapas com 1,2 % de ácido bórico e 5 % de Tanino foi excluído, devido ao fato dos corpos de prova terem rachado no processo de secagem em estufa que antecede a segunda etapa de tratamento. A rachadura expõe os tecidos lenhosos internos, facilitando a infestação por organismos xilófagos, comprometendo assim a durabilidade dos colmos. Não houve diferença estatística entre as médias de retenção dos tratamentos, pelo teste de Tukey, a 5 % de probabilidade.

Os valores obtidos por PIZZI et al. (1996) para preservação de pinus com boro e tanino, ficaram na faixa de 13,24 a 16,58 % de retenção do ingrediente ativo, com solução aquosa de 0,6 % de ácido bórico e 2,5 % tanino de *Carya illinoensis*.

Observa-se na Tabela 12 que os valores encontrados para retenção do CCB estão de acordo com os propostos por LEPAGE (1986), que preconiza uma retenção mínima de 9,6 kg/m³ de ingrediente ativo.

4.4. Ensaio de Biodegradação Laboratorial

A Tabela 13 apresenta os dados de longevidade obtidos com térmitas (*Nasutitermes macrocephalus*). A avaliação por longevidade foi efetuada em função da insignificante perda de massa dos corpos de prova, tendo como referência a norma ASTM D-3345 (1994). A temperatura e umidade médias no período (11 dias) foram de 29,5 ° C e 82,5 % de umidade, oscilando entre 23° - 36° C, e 65 – 100 % de umidade, respectivamente.

Tabela 13 – Longevidade de operários e soldados (em número de dias), por tratamento.

Repetição	Testemunha (T1)		Boro 1,2 % + Tanino 5 % (T2)		Boro 5% + Tanino 1.2 % (T3)		CCB 8 % 50 % i.a. (T4)	
	Operário	Soldado	Operário	Soldado	Operário	Soldado	Operário	Soldado
1	8	9	8	10	5	7	8	10
2	9	10	6	8	4	5	9	10
3	11	11	9	10	6	7	5	7
4	7	9	6	8	6	6	9	11
5	9	10	7	9	5	6	8	10
CV %	16,9	8,5	18,1	11,1	16,1	13,5	21,1	15,8
média	8,8	9,8	7,2	9,0	5,2	6,2	7,8	9,6

Os resultados da análise de variância efetuada para a longevidade estão apresentados na Tabela 14. Observa-se efeito significativo das fontes de variação tratamento e casta, ao nível de 5 % de probabilidade, ao passo que a interação entre as duas fontes de variação não apresentou significância. O coeficiente de variação do experimento foi de 15,4 %.

Tabela 14 – Análise de variância para a longevidade dos térmitas (operários e soldados).

FV	GL	SQ	QM	F	Nível
Tratamento(1)	3	74,70	24,900	16,60 *	0,000001
Casta (2)	1	19,60	19,600	13,06 *	0,001019
Interação (1x2)	3	1,60	0,533	0,35	0,785429
Resíduo	32	48,00	1,500		
TOTAL	39	143,90			

CV= 15,4 %

* significativo ao nível de 5 % de probabilidade.

A Figura 21 apresenta as médias gerais de longevidade obtidas para os diferentes tratamentos, em número de dias. Observa-se que, em termos de população total, considerados operários e soldados, o tratamento com maior porcentagem de boro mostrou-se mais eficiente, em números absolutos. Foi efetuada o teste de Tukey a 5 % de probabilidade, verificando-se efetivamente diferença estatística entre a solução preservante com boro a 5 % + tanino a 1,2 % e os demais tratamentos (Tabela 15).

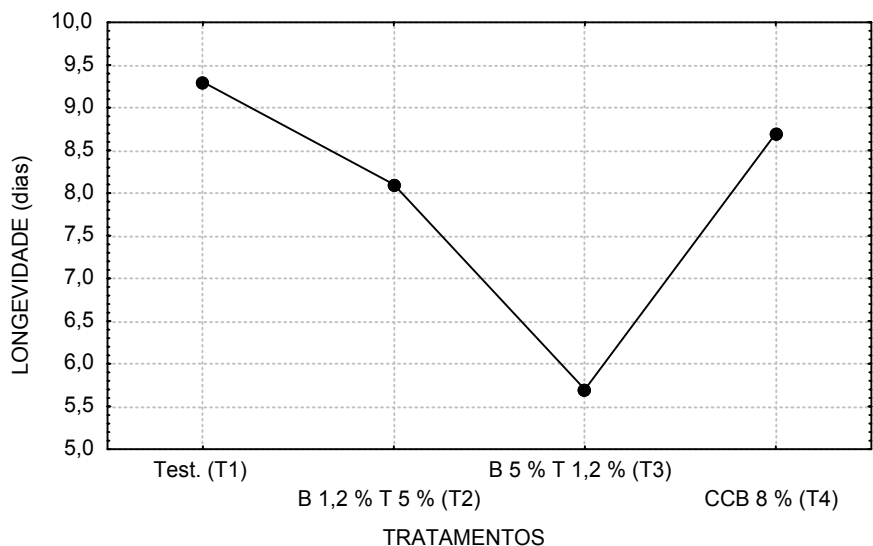


Figura 21 – Média de longevidade por tratamento, de *Nasutitermes macrocephalus*.

Tabela 15 – Comparações entre as médias de longevidade (em dias) por tratamento, pelo teste de Tukey.

Tratamento	Média	
Boro 5%	5,70	a
Boro 1,2 %	8,10	b
CCB	8,70	b
Testemunha	9,35	b

em que letras distintas apresentam diferenças significativas, a 5 % de probabilidade.

Os dados obtidos para a retenção do ingrediente ativo boro, dos três tratamentos efetuados, e da longevidade média total dos cupins, considerando-se ambas as castas, estão apresentados na Figura 22.

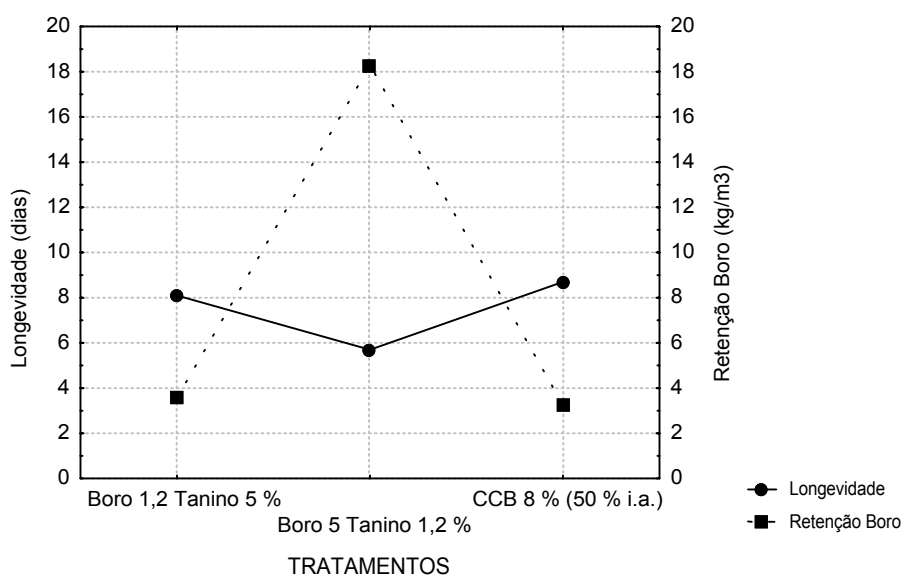


Figura 22 – Valores de longevidade e retenção do boro, para os três tratamentos efetuados em corpos de prova de *Phyllostachys aurea*.

É claramente observável a relação existente entre um maior teor do elemento boro e uma menor longevidade dos cupins. Tal constatação indica que a presença do ingrediente ativo boro foi a razão da diferença observada entre os três tratamentos que utilizam este componente químico, em maior ou menor porcentagens.

A semelhança entre as médias dos tratamentos efetuados com boro a 1,2 % + tanino 5 % , com o CCB e com a testemunha indica que a espécie *Phyllostachys aurea* é bastante resistente à ação de organismos xilófagos, haja vista que nenhum dano foi observado em nenhum dos tratamentos.

SARLO (2000), estudando a resistência à biodegradação de espécies de bambu dos gêneros *Bambusa*, *Dendrocalamus* e *Phyllostachys* verificou que este último apresentou elevada resistência natural à insetos xilófagos, especificamente ao *Dinoderus minutus*, coleóptero da família Bostrychidae, fato este que coaduna com os resultados obtidos na presente pesquisa.

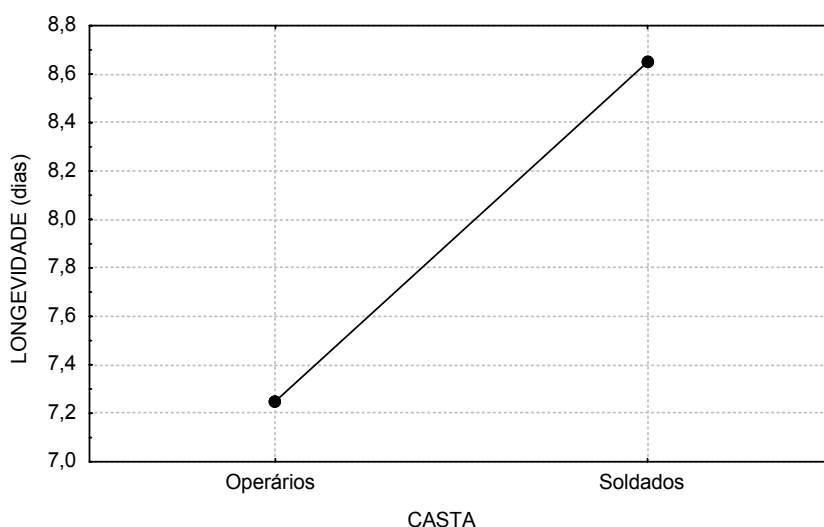


Figura 23 – Média de longevidade por casta, de *Nasutitermes macrocephalus*

A casta soldados, para todos os tratamentos, apresentou sempre maior longevidade que os operários, notando-se dessa forma uma sensibilidade maior por parte dos operários as soluções testadas na preservação do bambu (Figura 23). A Tabela 16 apresenta o teste de comparação entre as médias de longevidade por casta, em número de dias.

Tabela 16 - Comparações entre as médias de longevidade por casta, em número de dias, pelo teste de Tukey.

Casta	Média	
Operários	7,25	a
Soldados	8,65	b

em que letras distintas apresentam diferenças significativas, a 5 % de probabilidade.

Cabe ressaltar que os degradadores efetivos dos tecidos lenhosos são os operários, que possivelmente tentaram se alimentar dos corpos de prova e desta forma intoxicaram-se a níveis mais pronunciados, explicando a diferença observada entre as castas nesse contexto.

5. CONCLUSÕES

1) Observou-se uma nítida correlação entre massa específica, retratibilidade e resistência à compressão, de forma que maiores valores de massa específica (e consequentemente limite de resistência) corresponderam a menores valores de retratibilidade, ao contrário do que acontece na madeira.

2) A relação entre o Módulo de elasticidade à compressão e a massa específica a 12% de umidade, demonstra que o bambu é um material leve e extremamente rígido.

3) O limite de resistência e o módulo de elasticidade à compressão, tanto para o nó quanto para o internódio, apresentaram resultados bastante homogêneos, obtendo-se valores comparáveis aos das nativas nacionais na mesma faixa de densidade, utilizadas na indústria da construção.

4) A tensão de flambagem do bambu apresenta comportamento semelhante ao da madeira.

5) O tratamento efetuado com solução de Ácido bórico a 5 % + Tanino de Acácia negra a 1,2 % de concentração mostrou-se o mais eficaz contra insetos da ordem Isoptera (térmitas), de forma que maiores retenções de boro apresentaram efeito inseticida mais pronunciado que maiores retenções de tanino, no que tange a tratamentos conjuntos, fora de contato com o solo.

6) Em resumo, no que tange a resistência mecânica, a espécie *Phyllostachys aurea* apresentou comportamento bastante promissor, em função dos seus elevados valores de resistência à compressão. Foi verificada também uma elevada resistência natural da espécie à insetos xilófagos da ordem Isoptera, sendo indicado seu uso no contexto da indústria da construção civil.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, H., NASCIMENTO, A.M., MARIA, M. A. Lignin and structure. **Wood and Fiber**, v.31, p. 426-433, 1999.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM. **Standard method for laboratory evaluation of wood and other cellulosic materials for resistance to termites**. In: Annual Book of ASTM Standards, ASTM D 3345 – 78 B. Philadelphia, 1994.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM. **Standard methods of testing small clear specimens of timber**. ASTM D-143. Annual book of A.S.T.M. Standards, v. 4, v. 10, p. 24-65, 1994

ANDRADE, E.N. **Os Eucaliptus: sua cultura e exploração**. São Paulo, Typographia Brazil de Rothschild, p. 71-76, 1918

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **Projeto de Estruturas de Madeira**. NBR 7190:1997, 107 p.

AZZINI, A., SANTOS, R.L. PETTINELLI JÚNIOR, A. BAMBU: Material alternativo para construções rurais. Campinas, SP, Instituto Agronômico de Campinas, **Boletim Técnico**, n. 171, p. 1-18, 1997.

BERALDO, A.L., ZOULALIAN, A. Bambu – Material alternativo para construções rurais. In: Encontro Brasileiro em Madeira e Estruturas de Madeira, 5, 1995, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: EEUFMG; CEFET; EBRAMEM, p. 425-440, 1995.

CHANG, S.T. Comparison Of The Green Color Fastness Of Dendrocalamus Spp Bamboo Culms Treated With Inorganic Salts. Mokuzaï Gakkaishi, **Japan Wood Resources** , Tokyo, N.43, V. 6, P. 487-492, 1997.

COLLI, A., XAVIER, L. M., NASCIMENTO, A.M., DIAS, L.A. Construção civil de baixo custo e ambientalmente viável com *Bambusa tuldooides*, In: **VIII Congresso Brasileiro de Defesa do Meio Ambiente**, 2003, Clube de Engenharia, Rio de Janeiro, 2003.

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

CUSACK, V. **Bamboo Rediscovered**. Trentham, Earth Garden Books, 1997, 95 p.

D'ALMEIDA, M. L.O. **Tecnologia de fabricação da pasta celulósica**, SP, IPT-SENAI, 1981, 492 p.

EFFLAND, M. J. **Modified procedure to determine acid-insoluble lignin in wood and pulp**. Tappi., v.60, n. 10, p.143-144, 1977.

FINDLAY, W.P.K. **Preservation of Timber in the Tropics**. Netherlands, Martinus Nijhoff / Dr. W Junk Publishers, 1985, 273 p.

GALLO, D. et al. **Manual de Entomologia Agrícola**. São Paulo, Editora Agronômica Ceres, 1998, 649 p.

GHAVAMI, K. O bambu, forte como o aço. **DC Tecnologia** , p. 24-26, Março,1992.

GNANAHARAN, R. Physical and strenght properties of *Dendrocalamus strictus* grown in Kerala, India. Proceedings of the **4th international bamboo Workshop**, 1991

GROSSER, D. **Beitrag zur histologie und Klassifikation asiatischer Bambusarten**. Mitt. BFH, Reinbek, 85, p.1-321, 1971

GROSSER, D., LIESE, W. On the anatomy of asian bamboos with special reference to their vascular bundles. **Wood Science and Technology**, Berlim, V. 5, p. 290-312, 1971.

GUHA, S.R.D., DHOUNDIYAL, S.N., MATHUR, G.M. Sulphate pulping of giant bamboo (*Dendrocalamus giganteus*). **Indian Forester**, May, p.296-299, 1975.

HECK, G.E. **Properties of some bamboos cultivated in the Western hemisphere**. Madison, Forest Products Laboratory, Forest service U.S. Department of Agriculture, 1956. 32 p.

HIDALGO LOPEZ, O. **Bambu, su cultivo y aplicaciones en: fabricación de papel, construcción, arquitectura, ingeniería, artesanía**. Cali, estudios Técnico Colombianos Ltda, 1974, 176 p.

HIDALGO LOPEZ, O. **Bamboo, The gift of the gods**. Oscar Hidalgo Lopez editor, 2003, 553 p.

HIGUCHI, T. **Biochemistry and molecular biology of wood**. Springer Verlag, 1997, 506 p.

ISLAM, M.N., HANNAN, M.O., LAHIRY, A.K. Effect of age and height positions of borak, jawa and mitinga bamboo on their physical properties. India, **Journal of Timber Development**, n. 48, p. 16-22, 2002

ITOH, T. Lignification of bamboo (*Phyllostachys heterocycla* Mitf) during its growth. **Holzforchung**, v. 44, p. 191-200, 1990.

KABIR, M.F. **Physycal properties of node and internode of culm and branch of *Dendrocalamus hamiltonii***, Sattar, M.A., 1996.

KASIM, J., AHMAD, A.J., MOHMOD, A.L. Physical attributes, physiacal and chemical properties of bamboo (*Gigantochloa scortechinii*). **Journal of Tropical Forest Products**, n. 6, v. 1, p. 85-94, 2000.

KOLLMAN, F.F.P., CÔTÉ, W.A. **Principles of Wood Science and Technology**. New York, Springer-Verlag, V.1, 1968, 592 p.

LAHIRY, A. K. Preservation of Talla Bamboo (*Bambusa tulda roxb*) by Crhomated Copper Arsenate (CCB). Bangladesh, **Journal of Scientific & Industrial Research**, V. 56, p. 39-44, 1997.

LAKS, P.E., McKAIG, P.A., HEMINGWAY, R.W. Flavonoid Biocides: Wood preservatives based on condensed tannins. Berlim, **Holzforchung**, v. 42, n. 5, p. 299-306, 1988.

LEE, A.W.C., BAI, X.S., BANGI, A.P. Selected properties of laboratory-mach laminated bamboo lumber. Berlim, **Holzforchung**, v. 52, n. 2, p. 207-210, 1998.

LEE, A.W.C., LIU, Y.H. Selected physical properties of comercial bamboo flooring. **Forest Products Journal**, n. 53, v. 6, p. 23-26, 2003

LEPAGE, E.S., GERALDO, F.C., ZANOTTO, A., MILANO, S. **Métodos de Tratamento**. São Paulo, Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, Manual de Preservação de Madeiras, V. 2, p. 343 - 367, 1986.

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

LIESE, W. Treatment of Bamboo. In: FAO/IUFRO/DSE **International Seminar on Wood Preservation in Tropical Countries**. Munich, S.1, FAO, 1967, 3 p.

LIN, J.X., HE, X.Q., HU, Y.X., KUANG, T.Y., CEULEMANS, R. Lignification and lignin heterogeneity for various classes of bamboo (*Phyllostachys pubescens*) stems. **Physiologia plantarum**, n. 114, v. 2, p. 296-302, 2002.

MANTILLA CARRASCO, E.V., MOREIRA, L.V., XAVIER, P.V. Bambu Laminado Colado. In: Encontro Brasileiro em Madeira e Estruturas de Madeira, 5, 1995, **Anais...** Belo Horizonte: EEUFMG; CEFET; EBRAMEM, p. 411-424, 1995.

MOLITERNO, A. **Projetos de Telhados em Estruturas de Madeira**. São Paulo, Editora Edgard Blücher Ltda, 1986, 423p.

MURPHY, R.J, ALVIN KL, TAN Y.F. **Development Of Soft Rot Decay In The Bamboo *Sinobambusa Tootsik***. Leiden, Iawa bulletin, International Association Of Wood Anatomists, N. 12, V.1, P. 85-94, 1991.

NASCIMENTO, A.M. **Estrutura do colmo e propriedades físicas do bambu gigante (*Dendrocalamus giganteus* (Wall) Munro)** (Dissertação de Mestrado) . Viçosa, UFV, 1990, 85 p.

NASCIMENTO, A . M., DELLA LUCIA, R.M. **Propriedades físicas da madeira do bambu gigante (*Dendrocalamus giganteus* (Wall) Munro)**. Viçosa, MG: SIF, 1994. 7p. (Boletim SIF. 6).

NASCIMENTO, A . M., STACHERA, S.F., XAVIER, L.M. Determinação de algumas propriedades físicas e mecânicas do *Bambusa tuldoides* (Munro). In: II Congresso Ibero-Americano de Pesquisa e Desenvolvimento de Produtos Florestais, 2002, Paraná. **Anais...Paraná: UFPR / FUPEF, 2002.**

NASCIMENTO, A . M., STACHERA, S.F., XAVIER, L.M. Tratamentos preservantes aplicados ao *Bambusa tuldoides* Munro. Curitiba, PR: **Floresta**, Volume Especial , n. 1, p. 50-54, 2002.

PAES, J.B. **Efeitos da purificação e do enriquecimento do creosoto vegetal em suas propriedades preservativas** (Tese de Doutorado). Viçosa, UFV, 1997, 143 p.

PENNA, J.E. **Caracteres Anatômicos de maior interesse para a preservação de *Bambusa tuldoides* Munro na indústria de móveis**. São Paulo, Boletim ABPM n. 5, 1983, 12 p.

PIZZI,A., BAECKER,A. A new boron fixation mechanism for environment friendly wood preservatives. Berlin, Walter de Gruyter & co, **Holzforschung**, v.50, n.6, p. 507-510, 1996.

RAJULU, A.V., RAO, G.B., REDDY, R.L. Chemical resistance and tensile properties of epoxy/polymethyl methacrylate blend coated bamboo fibres. India, **Indian Journal of Fibre and Textile Research**, v. 25, p. 295-297, 2000.

SALGADO, A.L.B., AZZINI, A. Conservação do Bambu. Campinas, Instituto Agrônômico de Campinas, **O Agrônômico**, n. 46 (1-3), p. 21-26, 1994.

SANTINI, E.J. **Biodeterioração e preservação da madeira**. Santa Maria - RS, CEPEF / FATEC, 1988, 125 p.

SARLO, H.B. **Influência das fases da lua, da época de corte e das espécies de bambus sobre o ataque de *Dinoderus minutus***, (Dissertação de Mestrado). Viçosa UFV, 2000, 50 p.

SEKAR, T. **Histo-morphological and cyto-spectral studies on culms of some Indian bambusaceae**. PHD Thesis, University of Madras, 1992, 131 p.

SEKI, K., AOYAMA, M. Seasonal variation in storage carbohydrate and cell wall components of the culm. **Cellulose Chemistry and Technolgy**, n. 29, v. 5, p. 561-566, 1995.

SHIMADA, M., YAMAZAKI, T., HIGUCHI, T. Metabolism of p-coumaric acid during lignification of bamboo. England, **Phytochemistry**, v.9, p.1-4, 1970.

SUI, G.X., YU, T.X., KIM, J.K. Mechanical behavior and failure modes of Aluminum/bamboo sandwich plates under quasi-static loading. Hong Kong, **Journal of Materials Science**, v. 35, n. 6, p. 1445-1452, 2000.

SULTHONI, A. Traditional preservation of bamboo in Java, indonesia. In Proceedings of the **International Bamboo Workshop**, Hangzhou, China, 6 – 14 October 1987, Chinese Academy of forestry, Beijing, China, p. 349-357, 1987

TAMOLANG, F.N., LOPEZ, F.R., SEMANA, J.A., CASIN, R.F., ESPILOY, Z.B. Properties and utilization of Philippine Erect bamboos. Philippines, **Forpride Digest**, v. IX, N. 3 and 4, p. 14-26, 1980.

THEVENON, M.F., PIZZI, A., HALUK, J.P. Non-toxic albumin and soja protein borates as ground-contact wood preservatives. New York, Springer Verlag, **Holz Als Roh-Und Werkstoff**, v. 55, n. 5, p. 293-296,1997.

THEVENON, M.F., PIZZI, A., HALUK, J.P. Condensed tannins and boric acid for environment friendly wood preservatives. **2nd International Electronic Conference on Synthetic Organic Chemistry**, September 1 – 30, 1998.

VITAL, B.R. Métodos de determinação da densidade da madeira. Viçosa, MG, SIF-Sociedade de Investigações Florestais, **Boletim técnico**, n.1, 1984. 21p.

WALKER, J.R.L. **The biology of plant phenolics**. Ed. Edward Arnold Lt., 1975.

XAVIER, L. M., COLLI, A., NASCIMENTO, A.M., DIAS, L.A. Caracterização Física & Mecânica do *Phyllostachys aurea* Carrière (Bambusoideae), com vistas a um enfoque sustentável na indústria da construção civil. In: VIII Congresso Florestal Brasileiro, 2003, São Paulo. **Anais eletrônicos** (CD-rom), 2003.

ZHOU, F.C. Studies on physical and mechanical properties of bamboo woods. **Journal of Nanjing Technology College of Forest Products**, v. 2, p. 1-32, 1981.

ZHANG, H.J., DU, F., ZHANG, F.X. Relationships between the textures and main physical and mechanical properties of four typical thick-growing structural bamboos in Yunnan. **Scientia-Silvae-Sinicae**, n. 35, v. 4, p. 66-70. 1999.

ZUCKER, W.V. Tannins: Does structure determine function ? An ecological perspective. **Am. Nat.** N. 121, p. 335-365, 1983

ANEXO 1 – Diâmetros à altura do peito e altura das varas de bambu coletadas.

colmo	altura sem ramos	altura total	DAP
	m	m	cm
1	3,11	5,60	2,94
2	4,20	7,70	3,46
3	3,64	6,80	3,14
4	1,16	6,20	2,94
5	2,90	6,90	3,02
6	3,47	7,35	3,47
7	2,62	6,60	3,16
8	3,10	7,40	2,68
9	3,60	7,40	3,22
10	2,70	7,40	3,27
11	2,97	5,27	3,35
12	3,37	7,60	2,68
13	2,65	6,60	3,08
14	4,00	7,90	3,38
15	2,98	7,00	2,86
16	3,95	8,40	3,44
17	3,70	6,60	3,09
18	3,50	6,40	2,85
19	3,10	7,50	2,86
20	3,40	7,50	2,89
21	3,25	6,90	2,86
22	3,50	6,30	2,90
23	2,60	5,90	3,16
24	3,15	6,50	2,66
25	3,00	6,90	3,10
26	3,10	7,30	2,75
27	4,00	7,40	3,33
28	3,40	6,00	3,30
29	3,10	6,80	3,33
30	3,00	7,90	3,25
31	4,00	8,40	3,02
32	4,60	8,70	3,40
33	4,00	8,10	2,90
34	4,70	8,90	3,35
35	4,00	7,30	2,94
36	4,00	7,80	3,00
37	4,00	7,80	3,32
38	3,20	6,80	2,96
39	3,50	8,20	2,97
40	3,80	8,00	2,96
41	4,00	7,20	3,26
42	2,60	6,70	3,05
43	2,85	7,20	2,71
44	4,40	6,35	3,05
45	3,50	8,20	3,20
46	3,20	8,00	3,33
47	3,80	8,50	3,33
48	3,20	7,20	2,80
49	3,20	6,30	2,90
50	3,70	6,75	2,83
51	3,45	5,90	2,79
52	3,30	6,70	3,00
média	3,41	7,17	3,07

ANEXO 2 – *Phyllostachys aurea* (Flona Mário Xavier – IBAMA - Seropédica-RJ)



ANEXO 3 – Valores de retenção para os três tratamentos efetuados sob vácuo-pressão, em autoclave

Tratamento Boro 1,2 % + Tanino 5 %							
vol./cm3	vol./m3	m. especific.	H2O	ia/acido	ia/tanino	ia/total	amostra
		kg/m ³	ml	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³	
17,16	1,72E-05	770	4,19	2,93	12,21	15,13	41
13,22	1,32E-05	770	3,67	3,33	13,88	17,21	28
14,44	1,44E-05	750	4,75	3,95	16,45	20,40	7
13,23	1,32E-05	840	4,67	4,23	17,65	21,88	40
14,46	1,45E-05	760	4,09	3,39	14,14	17,53	31
14,50	0,00	778	4,27	3,57	14,87	18,43	médias

Tratamento Boro 5 % + Tanino 1,2 %							
vol./cm3	vol./m3	m. especific.	H2O	ia/tanino	ia/boro	ia/total	amostra
		kg/m ³	ml	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³	
13,29	1,33E-05	780	4,77	4,31	17,94	22,25	41
8,71	8,71E-06	770	3,79	5,22	21,75	26,97	28
12,83	1,28E-05	820	4,8	4,49	18,70	23,19	7
13,01	1,30E-05	800	4,88	4,50	18,76	23,26	40
17,02	1,70E-05	840	4,88	3,44	14,33	17,77	31
12,97	0,00	800	4,62	4,39	18,30	22,69	médias

Tratamento com Borato de Cobre Cromatado (CCB) 8 %							
vol./cm3	vol./m3	m. especific.	H2O	ret.CCB	ret. i.a.	ret. Boro	amostra
		kg/m ³	ml	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³	
11,66	1,17E-05	900	4,38	30,05	15,02	3,37	41
18,08	1,81E-05	760	7,17	31,73	15,87	3,55	28
13,44	1,34E-05	750	4,85	28,88	14,44	3,23	7
17,09	1,71E-05	830	6,01	14,07	14,07	3,15	40
16,06	1,61E-05	840	5,33	26,55	13,27	2,97	31
15,27	0,00	820	5,55	26,25	14,53	3,26	médias

ANEXO 4 – Propriedades Físicas e Mecânicas do *Phyllostachys aurea* Carrière

colmo	posição	local	m.e.básica kg/m ³	m.específ. kg/m ³	fc MPa	Cvp %	Cvt %
1	base	nó	370	540	41,47	24,19	28,78
1	meio	nó	320	590	43,87	40,22	43,52
1	ápice	nó	370	610	27,32	33,45	36,75
1	base	internó	500	570	42,12	1,54	10,59
1	meio	internó	500	600	48,72	8,10	13,20
1	ápice	internó	490	580	42,14	7,16	12,49
2	base	nó	450	640	51,96	22,83	27,57
2	meio	nó	390	720	56,18	39,18	42,54
2	ápice	nó	490	810	54,99	32,92	36,14
2	base	internó	600	690	52,81	2,48	9,70
2	meio	internó	570	670	54,20	6,27	11,58
2	ápice	internó	590	680	52,60	4,23	10,00
7	base	nó	420	680	48,27	32,55	36,46
7	meio	nó	360	650	44,67	40,13	43,53
7	ápice	nó	650	780	58,54	8,50	14,09
7	base	internó	640	750	36,87	5,08	11,91
7	meio	internó	540	650	52,12	8,49	13,71
7	ápice	internó	710	820	53,06	4,73	10,07
13	base	nó	580	790	62,32	19,34	24,84
13	meio	nó	520	890	65,11	35,27	38,72
13	ápice	nó	480	800	71,00	34,59	38,15
13	base	internó	670	800	46,94	5,16	11,92
13	meio	internó	750	900	54,89	7,69	13,44
13	ápice	internó	760	860	64,86	2,84	8,88
28	base	nó	370	570	41,57	27,62	31,61
28	meio	nó	330	660	48,57	44,21	47,50
28	ápice	nó	410	720	42,70	36,72	40,83
28	base	internó	530	640	30,24	7,05	13,42
28	meio	internó	560	680	58,27	9,60	15,40
28	ápice	internó	580	710	46,43	9,60	15,63
31	base	nó	530	810	58,65	26,77	31,17
31	meio	nó	410	760	66,72	40,96	44,42
31	ápice	nó	490	790	69,22	32,18	35,06
31	base	internó	720	840	43,06	3,89	10,65
31	meio	internó	680	790	59,64	4,52	10,54
31	ápice	internó	740	850	75,59	4,04	9,57
32	base	nó	500	790	45,66	30,35	34,63
32	meio	nó	390	770	69,93	43,94	47,22
32	ápice	nó	470	800	68,84	34,53	37,93
32	base	internó	690	800	41,10	3,38	10,61
32	meio	internó	670	790	70,60	6,01	11,53
32	ápice	internó	700	820	61,51	5,48	11,23
35	base	nó	510	820	64,42	30,51	34,86
35	meio	nó	470	780	58,23	33,43	37,02
35	ápice	nó	490	790	66,99	32,29	36,39
35	base	internó	680	810	35,04	2,83	10,06
35	meio	internó	660	780	58,43	7,71	12,87
35	ápice	internó	710	830	65,67	6,64	12,51
37	base	nó	380	660	47,85	35,72	39,54
37	meio	nó	540	680	53,43	13,05	17,55
37	ápice	nó	410	720	59,46	37,98	41,21
37	base	internó	520	600	30,02	2,77	9,03
37	meio	internó	560	710	55,47	13,79	18,82
37	ápice	internó	660	790	64,08	7,32	12,62
40	base	nó	500	730	55,23	24,03	28,49
40	meio	nó	380	730	57,31	41,98	45,26
40	ápice	nó	430	730	75,34	35,43	39,23
40	base	internó	620	710	39,29	1,47	8,52
40	meio	internó	610	730	64,43	7,20	13,06
40	ápice	internó	650	770	57,77	5,89	11,92
41	base	nó	550	800	55,96	24,14	29,33
41	meio	nó	400	780	52,10	42,85	46,14
41	ápice	nó	450	780	54,26	36,31	39,78
41	base	internó	660	780	42,17	4,45	11,59
41	meio	internó	650	800	55,43	10,82	16,76
41	ápice	internó	700	830	70,46	6,67	12,47
47	base	nó	480	790	63,99	32,16	36,29
47	meio	nó	420	760	45,72	38,50	41,67
47	ápice	nó	480	740	56,02	28,34	32,41
47	base	internó	690	810	43,94	3,07	10,56
47	meio	internó	660	790	58,72	7,25	12,59
47	ápice	internó	670	790	62,55	6,94	13,01