

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL



ESCOLA DE ENGENHARIA
ENGENHARIA DE MATERIAIS



ENG 02298 TRABALHO DE DIPLOMAÇÃO

UTILIZAÇÃO DE BAMBU NA CONSTRUÇÃO DE QUADROS DE BICICLETAS

Felipe Hörlle de Oliveira
118657

Professor Orientador:
Prof. Dr. Sandro Campos Amico

Dezembro / 2009

Agradecimentos

Meus sinceros agradecimentos ao meu orientador, professor Sandro Amico.

À professora Andréa Moura Bernardes, pelo interesse e auxílio prestado.

Ao LAMEF (Laboratório de Metalurgia Física - UFRGS) e ao mestrando Maurício Ferrapontoff Lemos pela disposição e auxílio nos ensaios realizados.

Ao Sr. Ene, (moderador do grupo Agabambu RS), ao Sr. Klaus (construtor de bicicletas reclinadas de bambu) e ao Sr. Kléber pela colaboração indispensável nesse trabalho.

À minha família, cujo empenho, paciência e apoio foram fundamentais para a realização desse trabalho.

À Deus por jamais me deixar desistir.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	II
SUMÁRIO	III
ÍNDICE DE FIGURAS	V
ÍNDICE DE TABELAS	VIII
LISTA DE ABREVIACÕES E SÍMBOLOS	IV
RESUMO	X
1 INTRODUÇÃO	11
2 OBJETIVOS	13
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
3.1 PRINCIPAIS ESPÉCIES DE BAMBU	14
3.1.1 <i>Phyllostachys Áurea</i>	16
3.2 MORFOLOGIA DO BAMBU	17
3.2.1 <i>Partes do Bambu</i>	17
3.3 TRATAMENTOS PARA O BAMBU	18
3.3.1 <i>Secagem</i>	18
3.3.2 <i>Fervura/Cocção</i>	19
3.3.3 <i>Tratamento Químico</i>	20
3.3.4 <i>Boucherie</i>	20
3.3.5 <i>Água</i>	21
3.4 PROPRIEDADES QUÍMICAS, FÍSICAS E MECÂNICAS DO BAMBU .	21
3.4.1 <i>Propriedades Químicas</i>	22
3.4.2 <i>Propriedades Físicas e Mecânicas</i>	22
3.4.2.1 <i>Umidade</i>	25
3.4.2.2 <i>Massa Específica Aparente/Densidade de Massa</i>	26
3.4.2.3 <i>Compressão Simples</i>	27
3.4.2.4 <i>Tração Paralela</i>	28
3.4.2.5 <i>Resistência e Flexão</i>	29
3.5 APLICAÇÕES DO BAMBU	30
3.6 BICICLETAS DE BAMBU	35
4 MATERIAIS E MÉTODOS	38

4.1	PROCEDIMENTOS	38
4.2	CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA DOS COLMOS DE BAMBU	39
4.2.1	<i>Ensaio de Torção</i>	41
4.2.2	<i>Ensaio de Flexão</i>	42
4.3	CONFECÇÃO DO QUADRO DE BAMBU	43
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	45
5.1	Resistência Mecânica dos Colmos de Bambu	45
5.1.1	<i>Ensaio de Torção</i>	45
5.1.2	<i>Ensaio de Flexão</i>	46
5.2	MONTAGEM DA BICICLETA	48
6	CONCLUSÕES	56
7	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	57
8	REFERÊNCIAS	58

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Avião Demoiselle em vôo / Alberto Santos Dumont. Fonte: < http://www.forestbrazil.com.br/images/admin/boletim_1196998415.pdf >	12
Figura 2 - Partes do Bambu e disposição das fibras no colmo - Adaptado de NMBA, 2004 (E) e Janssen, 1981 (D).....	17
Figura 3 -Secagem com fogo (Lengen, 2008)	18
Figura 4 - Secagem com aquecedor solar (Lengen, 2008)	19
Figura 5 - Banheira de barril de ferro (Lengen, 2008)	20
Figura 6 - Bomba de ar comprimido e sistema de mangueiras para boucherie. Fonte: < http://www.bambubrasileiro.com/info/trata/4.html >	21
Figura 7 - Relação entre a resistência e a dureza, em relação à massa específica aparente, para o bambu e outros materiais. - Adaptado de Pereira e Beraldo, 2008	25
Figura 8 - Broto de bambu. - Adaptado de < http://www.hikawa.com.br/2004/02/takenoko-broto-debambu.html >	30
Figura 9 - Utensílios de cozinha feitos em bambu. – Adaptados de < http://pat.feldman.com.br/?p=4960 > e < http://revistadecorandocasamentos.blogspot.com/2009/06/01archive.html >	30
Figura 10 - Roupas feitas a partir de fibras de bambu. – Adaptado de < http://greencotton.wordpress.com/2008/05/09/is-tencel-an-environmentally-friendly-alternative-to-bamboo-fabric/ > (E) e < http://www.bambooclothes.com/clothes/MTT.html > (D)	31
Figura 11 Tubulação de água feita de colmos de bambu. Adaptado de < http://tilz.tearfund.org/Publications/Footsteps+4150/Footsteps+45/Bamboo+w ater+pipes.html >	31
Figura 12 -Pavilhão da Colômbia na Exposição de Hannover 2000 – Adaptado de < http://bambus.rwth-aachen.de/eng/reports/zeri/englisch/referat-eng.html >.	32
Figura 13 - Moveis de bambu. – Adaptado de < http://www.ifurn.com/padmaplantation_S_DB01.html > (E) e < http://www.argington.com/blog/page/2 > (D)	32

Figura 14 - Laminados de bambu para piso. – Adaptado de < http://www.made-in-china.com/showroom/bamboowoodflooring-1/product-detailNAPmHhrdvxzU/China-Solid-Wood-Flooring.html >	33
Figura 15 - Prancha de surf da BSA – Adaptado de < http://www.bamboosurfboardshawaii.com/surfboards..html >	33
Figura 16 - Xilofone, guitarra e flauta feitos de bambu Adaptado de < http://www.green-living.com/browseproducts/8-Note-Bamboo-Xylophone.HTML > (E) < http://rockinggreen.wordpress.com/2009/06/10/first-act-makes-first-rate-bamboo-guitars > (M) e < http://www.ehow.com/way_5422138_homemade-flutes.html > (D)	34
Figura 17 - Bicicleta antiga de bambu. Adaptado de < http://site.bamboostylesonline.com/blog >	35
Figura 18 - Bicicleta de bambu nas ruas de Paris / França 2008 – Adaptado de < http://www.prefectlife.net/blog/category/paris >	35
Figura 19 - Bicicleta de bambu para competição de Ironman – Adaptado de < http://www.calfeedesign.com/bamboo.html >	36
Figura 20 - Bicicleta de bambu do projeto Bamboo Bike (Gana – África) – Adaptado de < http://www.africatodayonline.com/p/noticia /38 54 /bambu-sobre-rodas >	37
Figura 21 - Fluxograma das etapas de construção da bicicleta	38
Figura 22 - Limpeza das varas de Bambu (E), vara de bambu parcialmente limpa (D).....	39
Figura 23 - Modelos A, B, C de corpos de prova baseados na disposição dos nós	40
Figura 24 - Modelos D, E, F e G de corpos de prova baseados na disposição dos nós	40
Figura 25 - Modelo de corpo de prova de bambu revestido com resina em suas extremidades	41
Figura 26 - Corpo de prova resinado para ensaio de torção	41
Figura 27 - Ensaio de Torção no Bambu (E), detalhe do corpo de prova (D)	42
Figura 28 - Ensaio de Flexão no corpos de prova de bambu	43

Figura 29 - Geometria escolhida para a bicicleta baseada no tamanho do ciclista. – Adaptado de < http://www.duratec.cz/en/modely/silnicni-kola/cool-r14 >	44
Figura 30 - Descolamento da resina no CP de bambu	45
Figura 31 - Detalhe do descolamento da resina	45
Figura 32 - Modelo em tamanho real do quadro da bicicleta	49
Figura 33 - Gabarito de montagem da bicicleta, em detalhe os parafusos de fixação da gancheira traseira (frente) e do garfo dianteiro (fundo)	49
Figura 34 - Endurecedor Aradur 53-S (E), rolo de sisal (M) e resina Araldite CY 248	50
Figura 35 - Luva do movimento central e movimento de direção	50
Figura 36 - Gancheira traseira (E) e tubo para o canote do selim (D)	51
Figura 37 - Término do encaixe das peças de bambu do quadro da bicicleta ...	51
Figura 38 - Início da montagem da bicicleta	52
Figura 39 - Bandeja contendo a resina epóxi para imersão da fibra de sisal	52
Figura 40 - Detalhe da pré-amarração realizada no quadro da bicicleta	53
Figura 41 - Revestimento de partes do quadro afim de evitar o contato com a resina	53
Figura 42 – Amarrações concluídas.....	54
Figura 43 - Cura da amarração.....	54
Figura 44 – Bicicleta de bambu pronta para o uso.....	55

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Espécies prioritárias de bambu de acordo com o INBAR (Pereira e Beraldo, 2008)	15
Tabela 2 - Formulação de tratamento químico sugerido por Johan Van Langen. (Lengen, 2008).....	20
Tabela 3 - Análise química de <i>Bambusa vulgaris</i> , <i>Eucalyptos saligna</i> e <i>Pinus elliottii</i> . (Pereira e Beraldo, 2008)	22
Tabela 4 - Valores médios de massa específica aparente em ripas laminadas de bambu (Regiões: A = Basal; B = Mediana e C = Apical). (Pereira e Beraldo, 2008)	27
Tabela 5 - Razão entre a tensão de tração e o peso específico de alguns materiais. (Pereira e Beraldo, 2008).....	28
Tabela 6 - Dados gerais encontrados para a região intermediária e região basal	46
Tabela 7 - Dados gerais encontrados para os diferentes tratamentos	48

LISTA DE ABREVIações E Símbolos

ABS	American Bamboo Society
BBF	Bamboo Brazil of Foundation
INBAR	<u>International Network for Bamboo and Rattan</u>
MOE	Módulo de elasticidade
MOR	Módulo de ruptura

RESUMO

Com os constantes alertas quanto ao efeito estufa, degelo dos pólos, poluição e deterioração dos recursos naturais e da camada de ozônio, é crescente a busca atual da sociedade por políticas ecológicas que visem a economia de energia, água e recursos. Materiais sustentáveis e ecologicamente corretos têm sido a resposta procurada pelos países para manter o crescimento econômico sem agredir ao meio ambiente.

O bambu, material de uso milenar, vem ganhando espaço de destaque entre essa classe de materiais, mesmo sendo um recurso natural, o seu fácil manejo e rápido crescimento garantem sua sustentabilidade. Na indústria do ciclismo são tradicionalmente usados materiais como o ferro, aço, alumínio e materiais de alto desempenho como fibras de carbono. Contudo, esses materiais utilizam uma grande parcela energética para a sua produção, além de muitas vezes gerar preocupações quanto a sua ação negativa no meio ambiente, seja no momento do seu descarte ou mesmo no processo de fabricação.

Este trabalho objetiva auxiliar na busca de sustentabilidade através da utilização do bambu, matéria prima abundante e de rápido crescimento, como material construtivo. São mostrados métodos de tratamento desta matéria-prima e sua aplicação na construção de quadros de bicicleta, além de se discutir as razões pelas quais o bambu pode ser utilizado na construção de estruturas com demanda de resistência mecânica.

O bambu foi caracterizado através do ensaio mecânico de flexão, onde se testou diferentes regiões do bambu bem como o tratamento mais eficaz para a sua resistência. Os resultados mostraram que o bambu basal possui resistência suficiente para ser utilizado na construção de quadros de bicicleta além de se mostrar bastante leve. Os quadros de bambu são bastante viáveis e de fácil fabricação, não requerendo grandes investimentos e recursos energéticos.

Palavras-chave: Materiais Sustentáveis - meio ambiente - bambu - ciclismo - quadros de bicicleta – sustentabilidade.

1 INTRODUÇÃO

Segundo Pereira e Beraldo (2008), o bambu faz parte da vida do homem desde os tempos pré-históricos, fato notado na China, onde os primeiros radicais ou elementos da escrita chinesa eram desenhos de bambu datados de 1600 a 1100 a.C. O bambu possui grande importância no oriente, sendo conhecido também como “a madeira dos pobres” na Índia, “o amigo das pessoas”, na China, e “o irmão”, no Vietnã. No Ocidente, ele é bem menos conhecido, sendo ligado, geralmente, a aplicações de menor expressão. Nas Américas, a Colômbia é o país mais avançado no domínio de tecnologias ligadas ao bambu, mas México, Costa Rica, Cuba, Equador e Estados Unidos também apresentam excelentes resultados (SENNA e GARRIDO, 1997).

Historicamente, sabe-se que o primeiro filamento da lâmpada elétrica foi o carvão de bambu, utilizado por Thomas Alva Edison em 1882, o filamento possuía 0,3 mm e era feito de bambu Madake, carbonizado. Em 1907, Alberto Santos Dumont usou uma estrutura de bambu para construir o seu avião *Demoiselle* (Figura 1) (Forestbrazil, 2009). Atualmente estima-se que o bambu contribua para a subsistência de mais de um bilhão de pessoas (SASTRY, 1999).

O bambu predomina em regiões tropicais e possui a habilidade de crescer mais rapidamente que qualquer outra planta do planeta, podendo o broto atingir sua altura máxima, de até 30 metros, em uma média de 3 a 6 meses para espécies ditas gigantes. Dotado de grande vitalidade, versatilidade, leveza, resistência e beleza natural, somada à facilidade em ser trabalhado com ferramentas simples, o bambu tem tido um papel bastante amplo na evolução da cultura humana em comparação a outras plantas. (FARRELY, 1984).

Não há qualquer outra espécie vegetal que se renove em menor intervalo de tempo que o bambu ou que possua um melhor aproveitamento de área. Por ser uma planta renovável e perene, produz colmos anualmente sem haver a necessidade de replantio, o bambu demonstra seu grande potencial agrícola bem como seqüestrador de carbono (JARAMILLO, 1992).



Figura 1: Demoiselle em vôo / Alberto Santos Dumont
Forestbrazil, 2009.

Segundo Janssen (2000) se considerarmos as relações das propriedades estruturais do bambu como resistência/massa específica e rigidez/massa específica, tais valores ultrapassam os das madeiras e concretos, podendo, até mesmo, serem comparadas ao aço.

O uso de bambu na construção de bicicletas não é recente, na verdade, existem bicicletas datadas de 1890, bicicletas essas que mantêm sua integridade até hoje. Atualmente, as bicicletas de bambu já podem ser encontradas em diferentes partes do mundo, sua fabricação vem crescendo, e seu uso abrange desde bicicletas de passeio até bicicletas de alta performance destinadas a competições internacionais.

2 OBJETIVOS

O presente trabalho teve como objetivo geral o estudo da aplicação de um novo material na construção de um meio de transporte sustentável, mais precisamente a utilização de colmos de bambu na construção de quadros de bicicletas. O trabalho visa encorajar novas aplicações do bambu, devido a suas características de resistência mecânica e sustentabilidade, bem como promover o uso da bicicleta, meio de transporte saudável e não agressivo ao meio ambiente. Especificamente, buscou-se a construção de uma estrutura mais leve, flexível e confortável, e que exigisse uma demanda de energia de fabricação bastante inferior aos modelos atuais.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 PRINCIPAIS ESPÉCIES DE BAMBU

Os bambus pertencem à família *Graminae* e subfamília *Bambusoideae*, com aproximadamente 50 gêneros e 1.300 espécies, distribuídas naturalmente dos trópicos às regiões temperadas, tendo maior ocorrência nas zonas quentes e com chuvas abundantes das regiões tropicais e subtropicais da Ásia, África e América do Sul. Excetuando-se a Europa, os bambus nativos crescem naturalmente em todos os continentes, sendo 62% das espécies nativas da Ásia, 34% das Américas e 4% da África e da Oceania. (HIDALGO LOPEZ, 2003)

O Brasil conta com a maior diversidade e o mais alto Índice de florestas endêmica de bambu em toda a América Latina (Forestbrazil, 2007).

Segundo Filgueiras & Gonçalves (2004), o Brasil possui 34 gêneros e 232 espécies de bambus nativos (174 espécies consideradas endêmicas), sendo 16 gêneros do tipo herbáceo (ornamental) e 18 gêneros do tipo lenhoso. O Brasil é dotado de 89% de todos os gêneros e 65% de todas as espécies de bambus conhecidas na América.

Entre as espécies introduzidas no Brasil destacam-se aquelas pertencentes aos gêneros *Bambusa* (espécies: *blumeana*, *dissimulator*, *multiplex*, *tulda*, *tuldoides*, *ventricosa*, *vulgaris*, *beeheyana*), *Dendrocalamus* (espécies: *giganteus*, *asper*, *latiflorus*, *strictus*), *Gigantochloa*, *Guadua*, *Phyllostachys* (espécie: *aurea*, *purpuratta*, *bambusoides*, *nigra*, *pubescens*), *Pseudosasa*, *Sasa* e *Sinoarundinaria*. Essas espécies nativas encontram-se em ambiente de mata, como Floresta Atlântica (65%), a Amazônia (26%) e os Cerrados (9%), servindo como um tipo de cicatrização da floresta quando se processa a retirada indiscriminada de árvores.

Organismos internacionais ligados à cultura do bambu como o INBAR (International Network for Bamboo and Rattan, 1994) recomendaram a introdução e experimentação de 19 espécies consideradas como prioritárias baseando-se em critérios como: utilização, cultivo, processamento e produtos, recursos genéticos e características edafoclimáticas (solo e clima) . Dentre elas, muitas já foram

introduzidas no Brasil e encontram-se adaptadas as condições locais (PEREIRA E BERHALDO, 2008).

A Tabela 1 mostra resumidamente algumas características dessas espécies prioritárias de bambu, destacando-se ainda o potencial apresentado por cada uma delas, de acordo com as recomendações do INBAR (www.inbar.org).

Tabela 1: Espécies prioritárias de bambu de acordo com o INBAR

Espécie	Valor			Manejo	Clima e Ecologia		Recursos Genéticos				
	C	RI	E		CI	SI	D	S	IV	T	F
<i>Bambusa bambos</i>	++	++	++	D	h,d,s	r,m,p	H	L	M	M	H
<i>B. blumeana*</i>	++	++	++	D	h,d,s	r,m,p	H	L	H	H	H
<i>B. polymorpha</i>	+	+	-	D	h,d	r,m	H	H	M	H	H
<i>B. textilis*</i>	+	++	+	D	st	r,m	M	L	H	H	L
<i>B. tulda*</i>	+	++	+	D	h,d	r,m	H	M	H	H	H
<i>B. vulgaris*</i>	-	-	++	D	h,d,s	r,m,p	L	L	L	L	L
<i>Cephalostachyum pergracile</i>	+	++	+	W	h,d	m	M	L	M	H	M
<i>Dendrocalamus asper*</i>	++	+	++	D	h,d	r	H	H	M	H	H
<i>D. giganteus*</i>	+	+	+	D	h	r	H	H	M	H	H
<i>D. latiflorus*</i>	++	+	+	D	h	r	M	L	M	H	L
<i>D. strictus*</i>	++	+	++	D	d,s	m,p	M	L	L	H	M
<i>Gigantochloa apus*</i>	+	++	+	D	h	r	H	H	M	H	H
<i>G. levis*</i>	+	++	++	D	h	r	H	L	H	H	H
<i>G. pseudoarundinaria</i>	++	+	+	D	h,d	r	M	L	H	H	L
<i>Guadua angustifolia</i>	++	++	++	W	h	r,m	H	H	H	H	H
<i>Melocanna baccifera*</i>	+	++	+	W	h	r	H	M	H	H	M
<i>Ochilandra</i>	+	+	+	W	h	r	H	H	M	H	H
<i>Phyllostachys pubescens*</i>	++	++	++	D	t	r,m	M	M	L	L	L
<i>Thyrostachys siamensis*</i>	++	++	++	D	d,(h)	w,r	M	M	L	H	L

Pereira e Beraldo, (2008).

Espécies existentes no Brasil (IAC, UNESP, e em coleções particulares).

Valor: C = Potencial para comercialização ++(alto); +(médio); -(baixo)

RI = Indústria rural

E = Regenerador ambiental

Manejo: D = Domesticado

W = Selvagem

Clima e Ecologia: Cl = Clima: h (trópicos úmidos); d (trópicos secos); st (subtropical);

s (semi-árido); t (temperado)

Sl = Solos: r (rico); m (médio); p (pobre)

Recursos genéticos: D = Desgaste genético

S = Necessidade de pesquisa sobre armazenamento de sementes

IV = Necessidade de pesquisa sobre reprodução in-vitro

T = Necessidade de maiores transferências

F = Necessidade de levantamentos futuros

H (alto) – M (médio) – L (baixo)

3.1.1 *Phyllostachys Aurea*

Conhecida como cana da Índia, bambu jardim ou vara de pescar, a espécie *Phyllostachys Aurea*, originária da China, pertence ao grupo dos leptomórficos (alastrantes). Com porte aproximado de 4 m, é a espécie mais utilizada no Brasil para a indústria moveleira e artesanato, devido, provavelmente, a sua grande resistência ao caruncho (besouro parasita) e a facilidade de ser curvada quando submetida ao calor. É um bambu altamente evasivo e por isso o seu cultivo requer cuidados especiais quanto ao seu isolamento (SILVA, 2005).

Pequenos plantios desta espécie são freqüentes no sul da Bahia, em Minas Gerais, Paraná, no Rio de Janeiro e interior de São Paulo. O gênero *Phyllostachys* é o mais variado, tendo grande número de espécies.

3.2 MORFOLOGIA DOS BAMBUS

3.2.1 Partes do Bambu

O bambu é considerado uma planta lenhosa, monocotiledônea, e pertencente às Angiospermas (sementes protegidas). Tal como as árvores, o bambu é constituído por uma parte aérea e outra subterrânea. A parte aérea (tronco ou caule das árvores) é denominada de colmo, sendo normalmente oco no caso do bambu (Figura 2). Os colmos são normalmente usados para distinguir uma espécie de outra, por terem tamanhos, diâmetros, cores e texturas diferenciadas.

Conhecido como um composto natural, segundo Mr. Stanford Lynx "a parede das células do bambu é um composto feito de um rígido polímero de celulose em uma matriz de lignina e hemiceluloses".

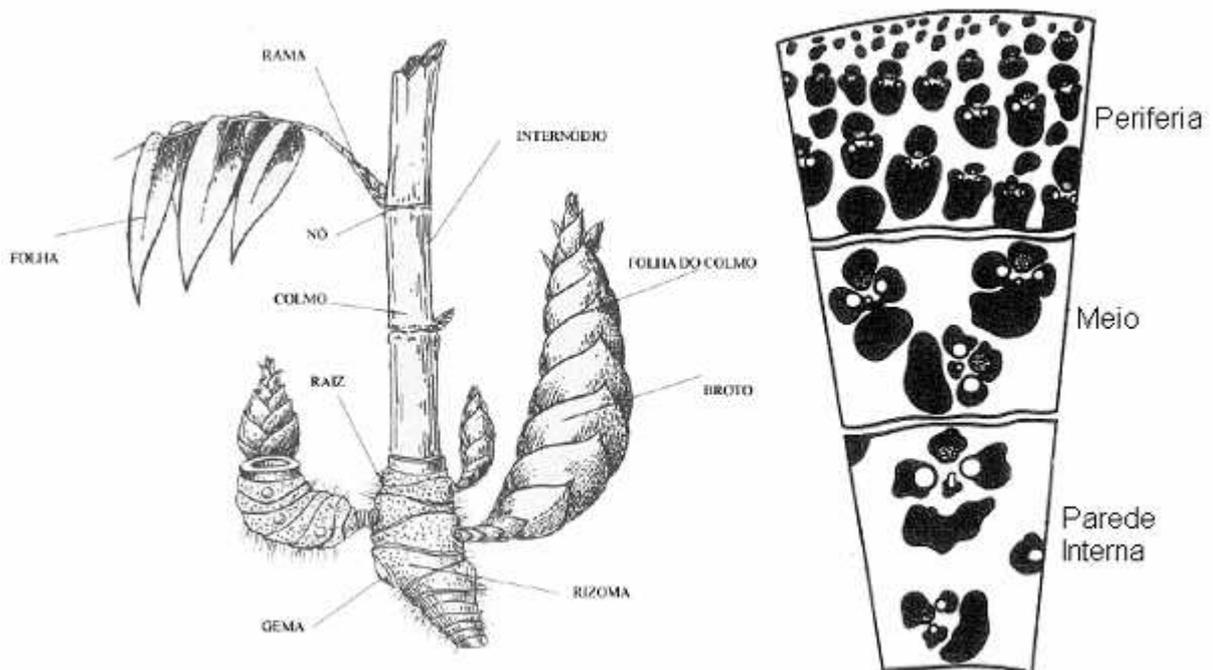


Figura 2: Partes do Bambu (E) e disposição de fibras no colmo (D).
NMBA, (2004) e Vaessen, (1997)

A parte subterrânea é constituída de rizomas e raízes. Segundo o americano Tydyn Rain St. Clair, citando McClure, os bambus podem ser divididos basicamente em seis tipos diferentes de rizomas, sendo os paquimorfos (entouceirante) e Leptomorfos (alastrantes) os principais.

3.3 TRATAMENTOS PARA O BAMBU

3.3.1 Secagem

O colmo cortado ainda estará úmido por dentro por isso deve-se secá-lo para obter resistência e durabilidade. Pode-se apoiar o bambu, em um aposento arejado com chão e parede livres de umidade sob proteção da chuva e do sol, e, dependendo da espécie e das condições climáticas, deixar a seiva escorrer e evaporar de duas a oito semanas.

Com fogo podem-se obter resultados mais rápidos, mesmo com climas mais frios e úmidos. Segundo Johan Van Lengen, no seu livro *Manual do Arquiteto Descalço*, "faz-se um buraco pouco profundo e cobre-se o solo e as esquinas com tijolos, para que não perca calor. O bambu deve ser colocado a uns 50 cm acima do fogo. Para que seque de maneira uniforme, deve-se virar os troncos de vez em quando (Figura 3).

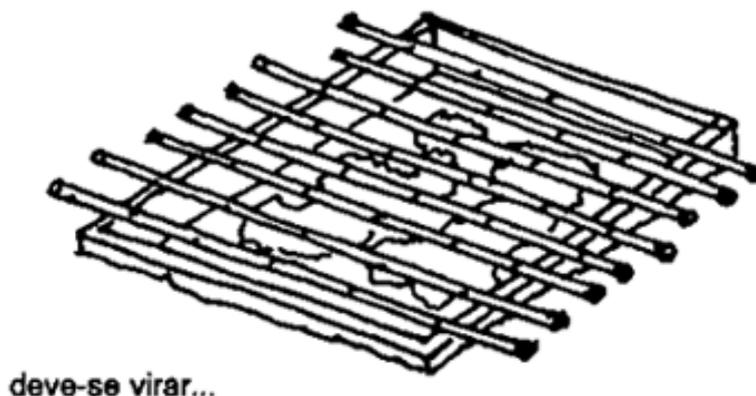


Figura 3: Secagem com fogo.

Lengen, (2008)

Outra forma de secagem com fogo é a utilização de uma fonte pontual de calor como o maçarico. Neste processo é importante utilizar fogo baixo, obtém-se alta resistência e brilho. Porém é um método mais demorado e trabalhoso, por ser feito um a um. Pode-se também defumar o bambu, introduzindo-o num compartimento com pouca saída de ar que tenha fogo e fumaça sob os colmos.

Geralmente as estufas (Figura 4) são horizontais. As estufas devem coletar o calor dos raios do sol durante o dia, sem incidir diretamente sobre os bambus e sem causar calor excessivo, e manter seu interior quente durante a noite. Este processo dura algumas semanas.

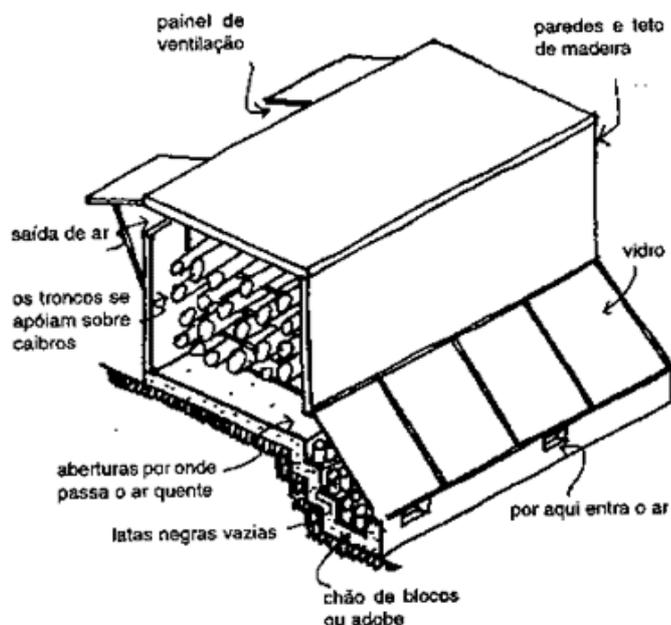


Figura 4: Secagem com aquecedor solar.
Lengen, (2008)

3.3.2 Fervura / Cocção

Um modo muito utilizado para tratamento de bambu é ferver o bambu em água. Aconselham-se períodos de 15 a 60 minutos. Os fornecedores de bambu da região serrana do Rio de Janeiro costumam passar um pano molhado de óleo diesel no bambu antes de ferver. A soda cáustica é outra forma recomendada de tratamento, e deve-se misturar à água na proporção de 10 (água) para 1 (soda cáustica), mantendo o tempo de cocção de aproximadamente 15 minutos.

3.3.3 Tratamento Químico

O ácido bórico é o elemento mais utilizado no tratamento químico de bambu. Pode-se utilizar um produto pronto (como o BORAX) ou preparar uma solução, como a sugerida por Johan Van Lengen na Tabela 2.

Tabela 2: Formulação de tratamento químico sugerido por Johan Van Lengen

Substância	kg
sulfato de cobre	1
ácido bórico	3
cloreto de zinco	5
dicromato de sódio	6

Para banhar os troncos na solução pode-se construir uma banheira com barris de ferro cortados ao meio e soldados (FIGURA 5).

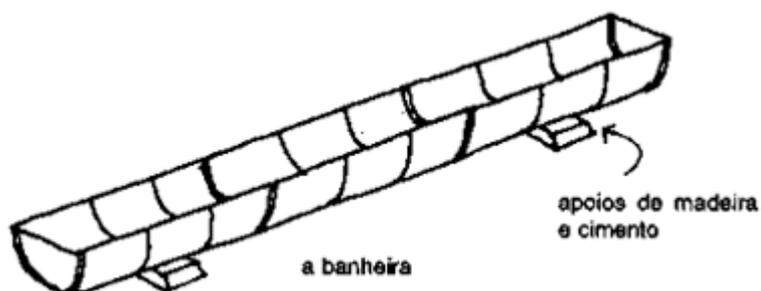


Figura 5: Banheira de barril de ferro.
Lengen, (2008)

3.3.4 Boucherie

Tratamento químico em que consiste passar, sob pressão, a solução química através dos colmos e fibras do bambu. Usa-se uma bomba de ar comprimido para dar pressão, e mangueiras adaptadas nas extremidades do bambu (Figura 6).



Figura 6: Bomba de ar comprimido e sistema de mangueiras para boucherie.

Adaptado de <http://www.bambubrasileiro.com.br>

É importante salientar que o uso indevido dessas substâncias químicas muito tóxicas pode ocasionar a intoxicação grave e até a morte do operador, além de contaminar o solo ou a água no local de despejo.

3.3.5 Água

O bambu pode ser tratado apenas pela permanência em água parada (piscina ou tanque) por algumas semanas, porém precisará passar por um processo de secagem demorado após o banho. Pode-se banhar também em água corrente (riachos).

3.4 PROPRIEDADES QUÍMICAS, FÍSICAS E MECÂNICAS DO BAMBU

3.4.1 Propriedades Químicas

É semelhante as das madeiras, apresentando principalmente carboidratos como celulose, hemicelulose, lignina, e em quantidades inferiores, resinas, taninos, ceras e sais inorgânicos. A celulose aparece em maior quantidade (55%), seguida pela lignina (25%) (LIESE, 1998).

O teor de cada constituinte pode variar de acordo com a espécie, condições de crescimento, idade e a localização do colmo (base, meio ou topo). Durante o desenvolvimento do colmo, a proporção de lignina e de carboidratos varia, tendendo a permanecer constante após um período de aproximadamente um ano. A região dos nós possui quantidades menores de substâncias solúveis, cinzas e de lignina, contudo apresentam maiores quantidades de celulose do que na região entre nós. A presença de amido no tecido parenquimatoso é uma das características químicas mais marcantes do bambu, seu teor também está relacionado à espécie, idade dos colmos e época do ano, o amido apresenta suas maiores concentrações na estação seca (PEREIRA E BERALDO, 2008).

Na Tabela 3 é possível comparar a composição química do bambu em relação ao eucalipto e ao pinus (BERALDO E AZZINI, 2004). Pode ser visto que os teores de celulose são muito similares e que o bambu é o que apresenta menor teor de lignina quando comparado as outras madeiras. O bambu também apresenta uma elevada solubilidade em soluções de soda a 1% ou em água quente. A quantidade acentuada de cinzas, compostas principalmente por sílica mostra-se inconveniente quando da queima do bambu em caldeiras.

Tabela 3: Análise química de Bambusa vulgaris, Eucalyptos saligna e Pinus elliottii

Determinações	B. vulgaris (%)	E. saligna (%)	P. elliottii (%)
Celulose	49,2	54,6	55,5
Lignina	14,5	25,5	26,0
Pentosanas	22,3	16,4	7,1
Solubilidade em soda a 1%	33,4	14,8	16,9
Solubilidade em água quente	15,0	1,6	3,8
Solubilidade em álcool-benzeno	5,2	1,4	6,7
Cinzas	1,8	0,3	0,3

Pereira e Beraldo, (2008)

3.4.2 Propriedades Físicas e Mecânicas

O bambu encontra ainda muitas restrições por parte da população quando é proposto seu uso como um material de construção. Aspectos culturais relegam o bambu a um papel secundário. Na Ásia e em certos países latino-americanos

(Colômbia, Equador e Costa Rica) o bambu possui um papel de maior destaque, sendo considerado um excelente material para construção, principalmente em locais sujeitos a abalos sísmicos, devido a sua grande flexibilidade. Não é uma tarefa simples avaliar as propriedades mecânicas do bambu. Seguindo os estudos de caracterização da madeira, nem sempre os procedimentos descritos na norma NBR 7190/97, específica da madeira, podem ser aplicados ao bambu. (Pereira e Beraldo, 2008)

Ao realizar os ensaios surgem certas perguntas: como escolher os colmos representativos, como atribuir-lhes a idade, de que local dos colmos seriam feitos os corpos de prova, seriam utilizados peças retangulares ou pequenos cilindros.

Mesmo o INBAR apresentando parâmetros para efetuar os ensaios, o caminho para o consenso entre os pesquisadores ainda é bastante longo. Para ensaios em bambu na forma natural (cilíndrica), são recomendados projetos de normas como ISO N 313 (*Bamboo Structural Design*), ISO 314 (*Physical and Mechanical Properties*) e ISO 315 (*Testing Material*). Na forma laminada não há recomendações de ensaios, sendo utilizadas adaptações das normas existentes para madeira, inclusive utilizando-se normas existentes para a caracterização de chapas de madeira. O bambu possui propriedades mecânicas excelentes e que possuem o teor de umidade como influência. As propriedades mecânicas também estão relacionadas com a idade, com a densidade do colmo e principalmente o teor de fibras, principal elemento de resistência. Um colmo mais seco apresenta uma resistência superior a de um colmo ainda verde, sendo que com aproximadamente 3 anos os colmos já estão maduros e apresentam seus maiores valores de resistência (PEREIRA E BERALDO, 2008).

O diferencial do bambu em relação a outros vegetais usados para fins estruturais é sua alta produtividade. Após aproximadamente dois anos e meio de sua brotação, o bambu já apresenta resistência mecânica estrutural, não sendo igualado no reino vegetal. Sua forma tubular oca de estrutura estável e de baixa densidade otimiza sua razão resistência mecânica/massa específica (GHAVAMI, 1989; MOREIRA & GHAVAMI, 1995).

Liese (1987) destacou a importância de se correlacionar resistência mecânica do bambu com sua anatomia. O módulo de elasticidade (MOE) e a tensão ou módulo de ruptura (MOR) são fortemente correlacionados com o comprimento das fibras. A distribuição dos feixes vasculares de uma forma mais homogênea, por sua

vez, influi negativamente na resistência ao fendilhamento do colmo, fato esse agravado pela ausência dos raios no bambu.

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

Hidalgo Lopez (2003), comentando resultados obtidos por vários pesquisadores, fez menção às partes do colmo que devem ser consideradas em qualquer estudo, devido ao fato de que estas partes apresentam diferentes resistências, como segue:

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

No interno: as fibras são mais curtas quando se situam próximas ao nó e são mais longas no centro do interno. Conseqüentemente a parte mais resistente corresponde a região central do colmo. Testes efetuados com a espécie *Phyllostachys pubescens* (bambu moso), utilizando corpos-de-prova cilíndricos (colmo natural) com a presença de nós, mostraram valores de resistência mecânica inferiores àqueles obtidos em corpos-de-prova sem a presença de nós. Os seguintes valores de redução foram observados: 19% em tração, 6,4% em compressão, 3,9% em flexão e 6,9% em cisalhamento. Apenas em tração perpendicular às fibras observou-se uma tendência contrária.

Na parede do colmo a massa específica, as resistências em tração e em compressão aumentam da parte interna da parede para a parte externa (devido à maior proporção de fibras nessas últimas). Em conseqüência, a região mais resistente é o terço externo da parede, e a mais fraca, o terço interno.

Janssen (2000) comentou que a propriedade física que mais influencia as propriedades mecânicas é a massa específica aparente, que varia com o local de

crescimento, com a espécie, com sua posição no colmo etc. O autor apresentou um quadro comparativo de resistência e de dureza de alguns materiais tomados em relação à sua massa específica aparente, mostrando que o bambu é inferior somente ao aço quando se relaciona sua resistência com a massa específica aparente (Figura 7)

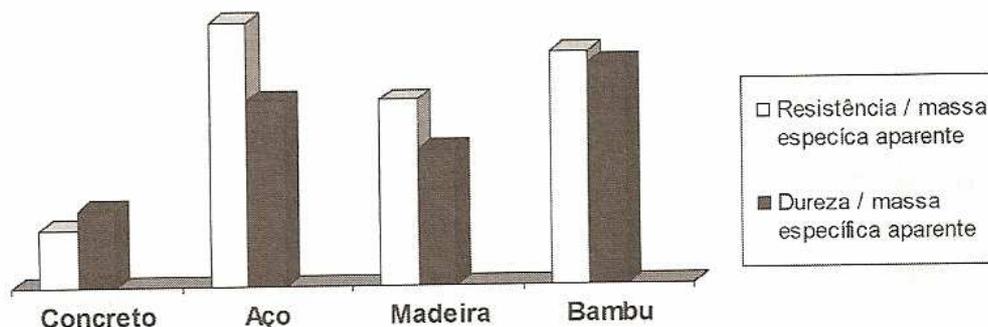


Figura 7: Relação entre a resistência e a dureza, em relação à massa específica aparente, para o bambu e outros materiais
Pereira e Beraldo, (2008).

3.4.2.1 Umidade

De acordo com Hidalgo Lopez (2003), a umidade em colmos vivos varia bastante entre as diferentes espécies, entre colmos individuais de uma mesma espécie e entre partes de um mesmo colmo, sendo influenciada pela idade do colmo e a época de seu corte. Colmos imaturos apresentam maior teor de umidade do que os colmos maduros; colmos verdes (recém cortados) podem apresentar um teor de umidade (40 a 50%). Colmos jovens apresentam teor de umidade relativamente constante ao longo da altura, enquanto que em colmos maduros o teor de umidade é mais elevado na base e decresce em direção ao topo. Os internós apresentam maior teor de umidade do que os nós, e ao longo da parede do colmo o teor de umidade é maior internamente diminuindo em direção a casca.

Beraldo et al. (2003a) comentaram que após o corte do colmo torna-se necessário um período de um a quatro meses de secagem ao ar, para que o colmo atinja uma umidade de 10 a 15%. A secagem é muito importante, pois permite reduzir consideravelmente a massa do colmo, o que, além de facilitar seu transporte,

proporciona uma melhoria em suas propriedades mecânicas. A secagem se torna uma operação indispensável para as etapas seguintes de processamento do bambu, tais como a colagem e a composição com outros materiais.

3.4.2.2 Massa Específica Aparente / Densidade de Massa

Dependente da região da parede do colmo onde foi retirada a amostra, quanto mais próximo das camadas externas do colmo (casca), maior será a massa específica aparente do material. O teor de umidade também é um fator determinante, até um certo limite (em torno de 20%), quanto maior for o teor de umidade do colmo maior será sua densidade de massa.

Segundo Liese (1998) a densidade de massa dos bambus varia entre 500 kg/m³ a 800 kg/m³, dependendo do tamanho, quantidade e distribuição dos feixes de fibras ao redor dos vasos.

Na parede do colmo, a massa específica aparente aumenta a medida que nos aproximamos das camadas mais externas, isso ocorre devido a presença de feixes vasculares menores, mais densos e também devido a menor quantidade de células parenquimatosas na camada externa. A região mais densa está localizada na terça parte mais externa da parede do colmo, com um teor de 50% do total de fibras. A diferença de densidade é sentida mais profundamente na base, ficando menos aparente no topo. A região nodal é mais densa do que as demais regiões do colmo devido à maior interligação entre vasos e fibras, e conseqüentemente maior empacotamento de elementos anatômicos.

A Tabela 4 mostra alguns resultados obtidos por Pereira (2006a) para a espécie *Dendrocalamus giganteus*, utilizando colmos maduros de 3,5 anos, secos ao ar. Os ensaios de massa específica aparente foram feitas através de ripas laminadas com e sem a presença de nó, vindos da região mais próxima da casca, com dimensões de 20 mm de largura, 6 mm de espessura e 50 mm de comprimento.

Tabela 4: Valores médios de massa específica aparente em ripas laminadas de bambu (Regiões: A = Basal; B = Mediana e C = apical).

MASSA ESPECÍFICA APARENTE				
Parte do colmo	Sem nó		Com nó	
	ρ (g/cm ³)	Umidade (%)	ρ (g/cm ³)	Umidade (%)
A	0.76	11.4	0.82	11.4
B	0.84	11.5	0.91	11.6
C	0.84	11.7	0.90	11.7
Média do Colmo	0.81	11.5	0.88	11.6

Pereira e Beraldo, (2008).

3.4.2.3 Compressão Simples

A camada externa se deforma menos do que a camada interna, devido à diferença na distribuição dos elementos anatômicos. O módulo de elasticidade obtido nas camadas externas pode, desse modo, apresentar valor de duas a três vezes superior a media da espécie. A curva tensão-deformação no ensaio de compressão apresenta um comportamento quase linear, a resistência à compressão situou-se na faixa de 20 a 120 MPa; o módulo de elasticidade variou entre 2,6 e 20,0 GPa.

Amostras de seção circular:

Nesse caso, segundo Pereira e Beraldo (2008), uma das possibilidades é procurar adequar a razão entre altura e o diâmetro do colmo do bambu às recomendações das normas utilizadas no estudo de argamassa e concreto, ou seja, confeccionar corpos-de-prova cuja altura seja o dobro do diâmetro. Contudo, mesmo essa recomendação nem sempre pode ser aplicada, para bambus de pequeno diâmetro, por exemplo (*Phyllostachys*), essa opção leva a utilização de amostras dotadas de mais do que dois nós (o ideal seria um nó em cada extremidade do corpo de prova).

A resistência média dos corpos-de-prova cilíndricos é sempre superior àquela obtida sobre corpos-de-prova que tenham sofrido modificações geométricas. (HIDALGO LOPEZ, 1974). Carvalho (2004) obteve valores médios de 65 MPa e de 79 MPa para as espécies *B. tuldoides* e *P. aurea*, respectivamente. Para as espécies

Phyllostachys sp e *Phyllostachys purpuratta*, Beraldo (1987) encontrou valores de 55 MPa e 65 MPa respectivamente.

Segundo Hidalgo Lopez (2003), em estudo sobre a *G.angustifolia*, a resistência em compressão do colmo aumenta até a idade de cinco anos. Um valor máximo de 70 MPa foi obtido com colmos de 5 anos e um mínimo de 26 MPa para colmos de 1 ano.

Segundo Pereira e Beraldo (2008), embora haja uma grande variabilidade nos valores encontrados por diferentes pesquisadores, tais dados ainda são muito superiores àqueles apresentados pelo concreto convencional, por exemplo, com valores de 15 a 20 MPa.

3.4.2.4 Tração Paralela

O Bambu apresenta resistência a tração elevada, podendo chegar a 370 MPa para algumas espécies, o que torna atrativo o seu uso como substituto ao aço, principalmente quando considerarmos sua razão resistência a tração e sua massa específica aparente. Pode ser notado, na Tabela 5, que a razão R entre a resistência à tração do bambu e seu peso específico (σ/γ) é mais do que 2,34 vezes aquela obtida para o aço CA 50. Em geral, a resistência à tração do bambu, com ou sem nó, situa-se entre 40 e 215 MPa, e o seu módulo de elasticidade varia entre 5,5 e 18 GPa.

Tabela 5: Razão entre a tensão de tração e o peso específico de alguns materiais.

Tipo de material	Resistência em tração σ_T (MPa)	Peso específico γ (N/mm ³ ×10 ⁻¹)	$R = \frac{\sigma_T}{\gamma} \times 10^1$	$\frac{R}{R_{aço}}$
Aço CA 50	500	7,83	0,64	1,00
Alumínio	300	2,79	1,07	1,67
Ferro fundido	280	7,70	0,39	0,61
Bambu	120	0,8	1,5	2,34

Fonte: Pereira e Beraldo, (2008) apud Ghavami (2002).

3.4.2.5 Resistência a Flexão

Amostra Circular:

A flexão causa tensões compressivas nas partes mais externas da parede do bambu, paralelas a fibra que é resistente o suficiente para suportá-las. Mas perpendicularmente as fibras, essa força compressiva causa uma tensão de tração lateral, e a lignina é fraca neste sentido. O valor crítico para essa tensão lateral foi determinada por Arce (1993) como 0,0011. Com um coeficiente de Poisson de 0,3 (Janssen 1981) é possível estimar a tensão paralela às fibras como $0,0011/0,3 = -0,0037$. Assumindo um módulo de elasticidade para o bambu de 17.000 N/mm^2 , achamos uma tensão máxima de flexão da ordem de 62 N/mm^2 , um resultado dito normal em um teste de flexão. A flexão causa também o cisalhamento nas camadas do meio, para um tubo oco pode ser determinada por $T = 2F/A$. A partir dos testes foi observado que o cisalhamento no bambu possui um valor de aproximadamente $2,2 \text{ N/mm}^2$, que é a tensão máxima de cisalhamento para o bambu. Isso significa que a falha ocorre simultaneamente nas camadas externas e do meio (Vaessen & Janssen, 1997).

Segundo Pereira e Beraldo (2008) os resultados observados na literatura mostram a resistência do bambu entre 30 e 170 MPa. A grande variação deve-se não apenas a própria resistência à flexão, mas também pode ser causada pelas diferentes metodologias adotadas para a realização dos ensaios. O módulo de elasticidade dos colmos de bambu em flexão, usando segmentos do colmo, variou entre 6 e 14 GPa, e o módulo de ruptura em flexão variou de 57 a 133 MPa.

3.5 APLICAÇÕES DO BAMBU

Aplicações diversas do bambu podem ser vistas nas Figuras 8-16.

Industria Alimentícia



Figura 8: Broto de bambu.

Adaptado de <<http://www.hikawa.com.br/2004/02/takenoko-broto-de-bambu.html>>

Utensílios de cozinha



Figura 9: Utensílios de cozinha feitos em bambu.

Adaptados de <<http://pat.feldman.com.br/?p=4960>> e <http://revistadecorandocasamentos.blogspot.com/2009_06_01_archive.html>

Indústria Têxtil



Figura 10: Tecidos feitos a partir de fibra de bambu.

Adaptado de <<http://greencotton.wordpress.com/2008/05/09/is-tencel-an-environmentally-friendly-alternative-to-bamboo-fabric/>> (E) e <<http://www.bambooclothes.com/clothes/MTT.html>> (D)

Tubulações

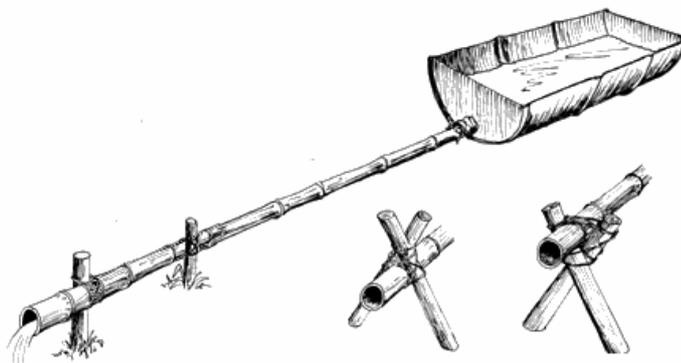


Figura 11: Tubulação em bambu.

Adaptado de
<<http://tilz.tearfund.org/Publications/Footsteps+4150/Footsteps+45/Bamboo+water+pipes.html>>

Construção Civil



Figura 12: Pavilhão da Colômbia na Exposição de Hannover 2000.
Adaptado de <<http://bambus.rwth-aachen.de/eng/reports/zeri/englisch/referat-eng.html>>

Industria Moveleira



Figura 13: Móveis de bambu.
Adaptados de <http://www.ifurn.com/padmaplantation_SDB01.html> (E) e
<<http://www.argington.com/blog/page/2>> (D)

Laminados



Figura 14: Laminado de bambu para pisos.

Adaptado de <<http://www.made-in-china.com/showroom/bamboowoodflooring-1/product-detailNAPmHhrdvxzU/China-Solid-Wood-Flooring.html>>

Pranchas de Surf



Figura 15: Pranchas de bambu feitas no Havaí.

<Adaptado de <http://www.bamboosurfboardshawaii.com/surfboards.html>>

Instrumentos Musicais



Figura 16: Xilofone (E), guitarra (M) e flauta feitos de bambu.

Adaptados de <<http://www.green-living.com/browseproducts/8-Note-Bamboo-Xylophone.HTML> ,
<http://rockingreen.wordpress.com/2009/06/10/first-act-makes-first-rate-bamboo-guitars> e
http://www.ehow.com/way_5422138_homemade-flutes.html>

Sequestrador de Carbono:

O bambu alia uma grande capacidade de crescimento com excelente capacidade de seqüestrar carbono (CO₂), além disso, é responsável por liberar até 35% mais oxigênio que outros vegetais conhecidos. Segundo índices da Bamboo Brazil of Foundation – BBF – e pela American Bamboo Society – ABS, um hectare dessa gramínea consegue capturar cerca de 12 a 17 toneladas de carbono por ano, respectivamente. Após a criação do protocolo de Kyoto, onde os países desenvolvidos se comprometeram a reduzir em, pelo menos, 5,2% as emissões de gases tóxicos no período de 2008 a 2012 em relação aos níveis registrados em 1990, o bambu torna-se um vegetal estratégico (SENNA E GARRIDO, 2008).

3.6 BICICLETAS DE BAMBU

A prática das bicicletas de bambu é bastante antiga, datando aproximadamente de 1890 (Figura 17). Desde lá, a construção de quadros de bicicleta de bambu vem crescendo em todo mundo, sendo possível encontrá-las, mesmo que ainda em um número bastante reduzido, em praticamente todos os países do mundo (Figuras 18 e 19). A motivação para a construção de tais bicicletas é bastante abrangente, indo desde a busca da utilização de novos materiais, até a busca por materiais sustentáveis, designs inovadores e até projetos assistenciais no continente africano.



Figura 17: Bicicleta de bambu datada de 1890.
Adaptado de <<http://site.bamboostylesonline.com/blog>>



Figura 18: Bicicleta de bambu nas ruas de Paris / França 2008.
Adaptado de <<http://www.prefectlife.net/blog/category/paris>>



Figura 19: Bicicleta de bambu para competição de Ironman.
Adaptado de <<http://www.calfeedesign.com/bamboo.html>>

Uma iniciativa recente desenvolvida por Graig Calfee, um dos mais conceituados construtores e designer de bicicletas dos EUA em parceria com o Earth Institute da Universidade de Columbia nos EUA, denominada de Bamboo Bike Project, vem oferecendo uma solução para a mobilidade sustentável e de baixo custo às populações pobres da África.

A história teve início em 1999 no quintal de Graig, quando sua cadela Luna acabou encontrando um pedaço de bambu que crescia nos fundos da oficina localizada em Santa Cruz, Califórnia. Acostumada a mastigar e comer tudo que encontrava pelo caminho, Luna conseguiu apenas deixar marcas de dente no bambu, dando mostras da excelente resistência desse material, o que levou Graig a utilizá-lo na construção de quadros de bicicleta. A ideia do uso do bambu baseava-se no uso de materiais resistentes, leves e amigos do meio ambiente. O que começou como um artigo de venda para amigos logo se expandiu para um projeto de assistência a comunidades carentes da África. Tendo em vista que a matéria prima é bastante abundante em regiões como Ásia e África, e que as bicicletas são massivamente utilizadas por comunidades mais carentes, seja como simples meio de transporte ou instrumento de trabalho, Calfee resolveu lançar a ideia em seu site em busca de um apoio, que acabou vindo através do ciclista David Ho, que já havia trabalhado no Earth Institute. Pouco tempo depois os dois já estavam viajando rumo a Gana para estudar a viabilidade da ideia. Um dos produtos desenvolvidos pode ser visto na Figura 20.



Figura 20: Bicicleta de bambu do projeto Bamboo Bike (Gana – África)
Adaptado de <<http://www.africatodayonline.com/pt/noticia/3854/bambu-sobre-rodas>>

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 PROCEDIMENTOS

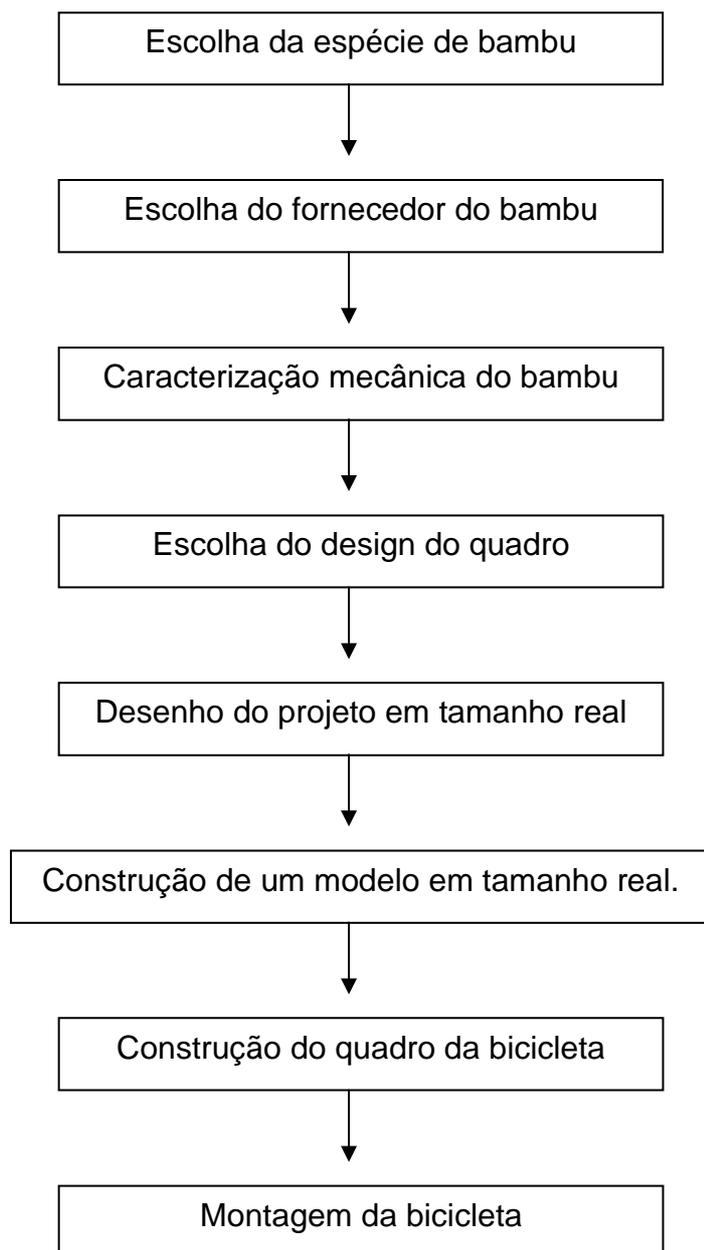


Figura 21: Fluxograma das etapas de construção da bicicleta.

Os bambus da espécie *Phyllostachys Aurea* foram adquiridos através do site www.bamboofount.com.br com o Sr. Ene (moderador do grupo de discussão dobre

bambu Agabambu-RS). A plantação de 2,5 hectares está localizada na cidade de Encruzilhada do Sul.

Após a colheita, as varas são armazenadas em uma sala ventilada pelo período de um ano ou mais, dependendo da demanda, para que haja perda gradual da umidade sem que apareçam trincas no bambu. Após este período, o bambu é lavado para a retirada de areia, limo e outros resíduos. Limpos, através de uma rápida escovação com água e sabão, os bambus recebem o tratamento a fogo, com uso de maçarico, a fim de eliminar qualquer risco da presença de parasitas (Broca - besouro) e umidade excessiva.

Alguns bambus foram adquiridos sem a limpeza e o tratamento a fogo, o que resultou na necessidade da realização desses procedimentos (Figura 22) antes da prática dos ensaios mecânicos e montagem da bicicleta.



Figura 22: Limpeza das varas de Bambu (E), vara de bambu parcialmente limpa (D).

4.2 CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA DOS COLMOS DE BAMBU

Para os experimentos foram escolhidas varas de bambu de diâmetros similares aos aplicados na bicicleta (intervalo de 25 a 40 mm). Após a escolha, as mesmas foram divididas em dois subgrupos de acordo com a região do colmo: Basal e Intermediário. As varas da ponta ou apicais do bambu foram descartadas por não atenderem ao requisito de diâmetro necessário. Para a dimensão dos corpos de prova, foi estipulado o comprimento de 30 cm e um diâmetro dentro do intervalo de 2,5 a 4 cm, também foram definidos padrões de nós segundo sua disposição no colmo.

Para a avaliação mecânica dos colmos visando a escolha da região do bambu (base, meio) e o tratamento mais adequado, foram estipulados os ensaios de flexão e torção. A avaliação foi feita através da comparação da resistência encontrada nas diferentes regiões e nos diferentes tratamentos. Foram utilizados dez corpos de prova para cada região e para o tipo de tratamento, sendo cinco corpos de prova avaliados por torção e cinco avaliados por flexão. Os padrões de nós foram definidos em 6 tipos conforme a Figura 23 e Figura 24.

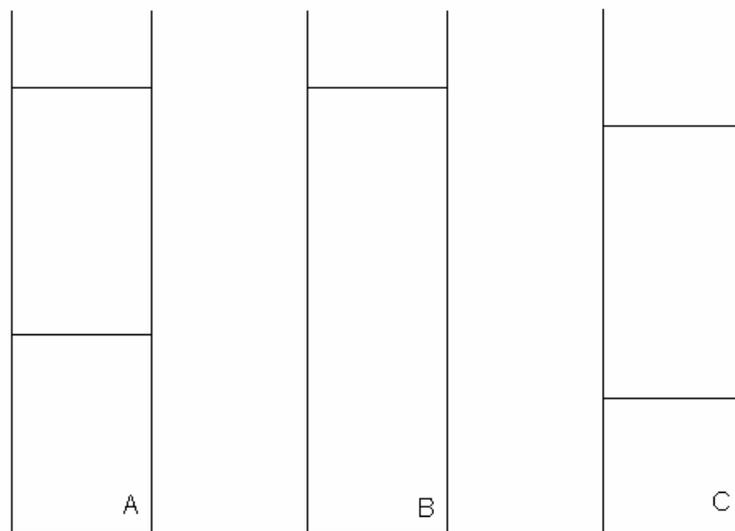


Figura 23: Modelos A, B, C de corpos de prova baseados na disposição dos nós.

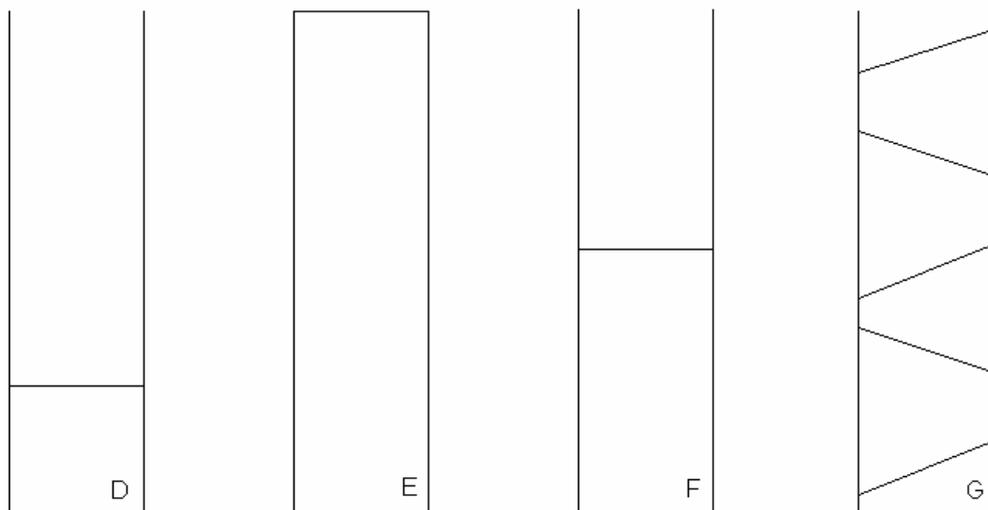


Figura 24: Modelos D, E, F e G de corpos de prova baseados na disposição dos nós.

Com a divisão dos dois subgrupos e modelos, foram separadas 12 peças com 30 cm de comprimento e aproximadamente 3 cm de diâmetro para os testes de

flexão visando a escolha da melhor região do bambu (Basal ou Intermediária).
Dentre estas, 6 eram da região basal e 6 da região Intermediária. Todos os corpos de prova foram flambados.

4.2.1 Ensaio de Torção

O ensaio de torção utilizou um atuador rotacional servo controlado, marca MTS, com placas de três castanhas de capacidade de 226 Nm com célula de torque marca MTS, capacidade de 226 Nm e software de aquisição de dados e controle: Flex Test, marca MTS.

Inicialmente, para evitar a quebra do bambu ao ser fixado na máquina de torção, suas extremidades foram preenchidas internamente com madeira, contudo a superfície externa dos corpos de prova de bambu não fornecia a aderência necessária. Foram então preenchidas as extremidades do bambu com resina, interna e externamente (Figura 25) a fim de facilitar o travamento do CP na máquina.

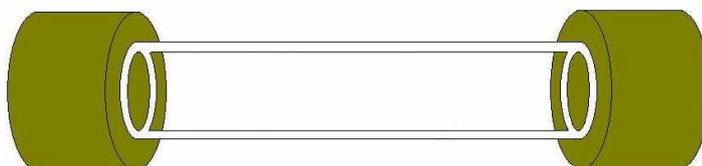


Figura 25: Modelo de corpo de prova de bambu revestido com resina em suas extremidades.

O corpo de prova para o ensaio de torção foi confeccionado mergulhando-se a peça de bambu em um copo plástico com resina, após a cura a peça foi virada para o preenchimento da outra extremidade (Figura 26-27).



Figura 26: Foto corpo de prova resinado para ensaio de torção.

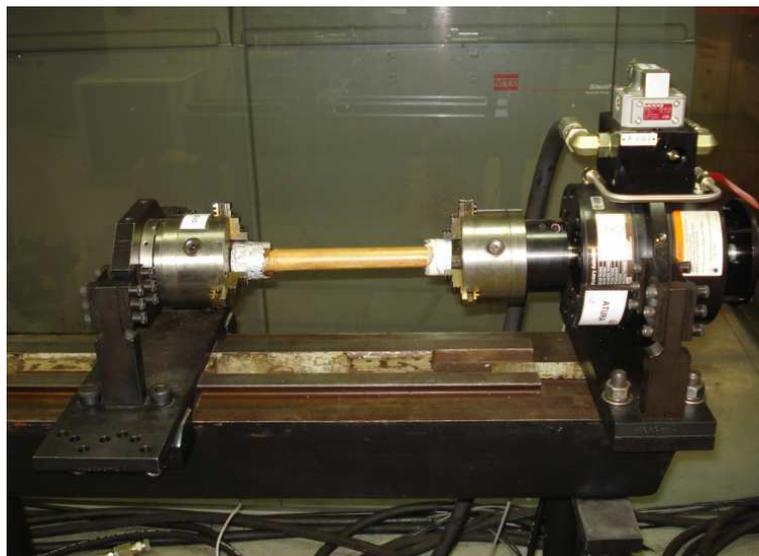


Figura 27: Ensaio de Torção no Bambu.

4.2.2 Ensaio de Flexão

Para a escolha do tratamento mais adequado do bambu, foram utilizados 24 corpos de prova de 30 cm de comprimento e aproximadamente 3 cm de diâmetro. Dentre os 24 corpos de prova, 12 eram da região basal e 12 da região Intermediária. A identificação dos corpos de prova para o ensaio foi feita da seguinte maneira:

6 CPs Verde (recém colhidos): sendo 3 basais e 3 intermediários identificados posteriormente como (F, B, F) e (C, C, B), respectivamente.

6 CPs desidratados (um ano em estufa): sendo 3 basais e 3 intermediários identificados posteriormente como (C, A, B) e (B, C, E), respectivamente.

6 CPs tratados a fogo (3 minutos de aplicação de chama com maçarico): sendo 3 basais e 3 intermediários identificados posteriormente como (B, A, C) e (B, C, E), respectivamente.

6 CPs resinados (aplicação de resina na camada externa e preenchimento interno com espuma de poliuretano): sendo 3 basais e 3 intermediários identificados posteriormente como (A, A, C) e (B, C, E), respectivamente.

A identificação dos corpos de prova foi feita a partir de uma sigla determinando a região, o tratamento, o número da peça e a configuração dos nós.

Exemplo:

Peça BF3-C (B = basal; F = fogo; 3 = número da peça; C = arranjo dos nós)

O ensaio foi feito seguindo-se alguns passos do projeto de norma ISO/DIS 22157 (*Determination of Physical and Mechanical Properties of Bamboo*), os corpos de prova foram apoiados em peças de madeira e ensaiados a uma velocidade de 0,5 mm/s, conforme indicado na norma. Contudo, o comprimento indicado para os corpos de prova de 30× o diâmetro não pode ser realizado devido ao tipo de equipamento e espaço disponível.

A máquina universal de ensaios utilizada foi a EMIC – DL2000 por fuso, com capacidade máxima de 20 KN (Figura 28).



Figura 28: Ensaio de Flexão no corpo de prova de bambu.

4.3 CONFECÇÃO DO QUADRO DE BAMBU

Para o desenvolvimento do quadro, foi necessário partir de um desenho em tamanho real cujas dimensões foram retiradas de projetos de bicicleta disponíveis na Internet (Figura 29). A escolha do projeto baseou-se nas informações disponíveis sobre o quadro e a estética da bicicleta. Depois de feito o desenho realizou-se a montagem de um modelo em bambu, também em tamanho real, e só então deu-se início a fabricação do quadro.

Cool R14

Standard geometries											
FRAME SIZE VR		Typical Rider Height	Effective Top Tube Length	Seat Tube Length to Top	Effective Chainstay length	Bottom Bracket Height	Head Tube Length	Maximum high	Fork rake	Head Tube Angle	Seat Tube Angle
cm	inch	V-cm	A1-mm	B2-mm	C1-mm	D-mm	F-mm	I-mm	K-mm	α -°	β -°
59	23.2	183-185	577	590	400	270	185	585	43	73.5	73.5

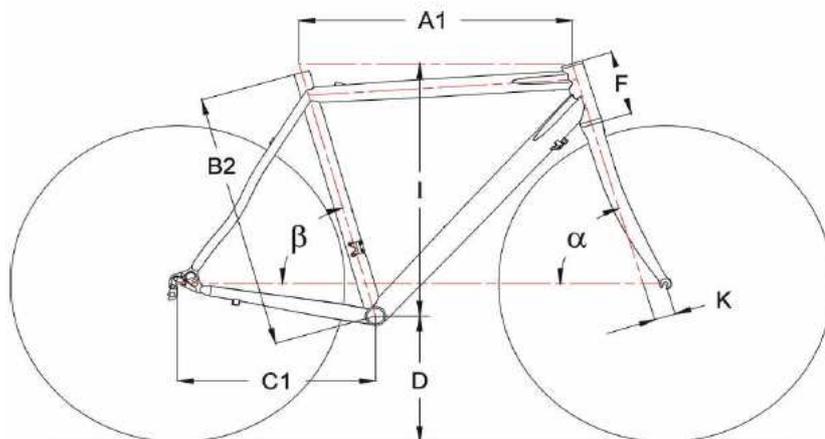


Figura 29: Geometria escolhida para a bicicleta baseada no tamanho do ciclista.
Adaptado de <<http://www.duratec.cz/en/modely/silnicni-kola/cool-r14>>

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 RESISTÊNCIA MECÂNICA DOS COLMOS DE BAMBU

5.1.1 Ensaio de Torção

Após algumas tentativas, constatou-se que a resina (Araldite CY 248.e endurecedor Aradur 53-S) não era capaz de fornecer aderência suficiente ao bambu para que o ensaio pudesse ser realizado, ocorrendo o descolamento da resina durante o ensaio (Figuras 30 e 31).



Figura 30: Descolamento da resina no CP de bambu.



Figura 31: Detalhe da região de descolamento da resina.

Com o problema da aderência no ensaio de flexão, o método acabou sendo descartado, com isso focou-se a caracterização dos colmos apenas através da comparação de resistência por ensaio de flexão.

5.1.2 Ensaio de Flexão

Avaliação da região do bambu:

A região basal apresentou os maiores valores de diâmetro como era de se esperar, uma vez que o colmo do bambu vai afinando à medida que aumenta altura. Os valores de espessura, peso e densidade, encontrados na região basal, foram superiores aos encontrados na região intermediária, o que resultou também, em uma resistência máxima maior para a região basal. Os valores de resistência (σ_{ult}) e módulo elástico (E) foram obtidos através das equações descritas na norma e os resultados estão apresentados na Tabela 6.

$$\sigma_{ult} = F \times L \times (D/2) / (6 \times I) \text{ Mpa ou N/mm}^2$$

Onde:

F = força máxima aplicada

L = vão entre apoios do corpo de prova

D = diâmetro externo

I = momento de inércia (calculado por $I = (\pi/64) \times \{D^4 - (D - 2.t)^4\}$), para t = espessura de parede

$$E = 23 \times F \times L^3 / (1296 \times \epsilon \times I) \text{ MPa}$$

Onde:

ϵ = deformação na região de aplicação da força.

Tabela 6: Dados gerais encontrados para a região intermediária e região basal.

	Corpos de Prova	Diâmetro (mm)	Espessura (mm)	Massa (g)	Densidade Calc. (g/cm ³)	Nº de nós	Força (N)	Deformação (mm)	Ultimate Strength (MPa)	Módulo Elástico (MPa)
Região Intermediária (Fogo)	IF1-F	30.38	3.82	65.53	1.29	1	4299.80	9.65	75.90	2204.68
	IF2-A	26.95	3.34	64.49	1.44	3	2163.20	4.71	55.24	3711.40
	IF3-A	28.13	3.82	71.91	1.57	3	3103.00	5.28	65.90	3783.06
	IF4-B	29.98	3.92	56.83	1.16	2	2276.00	11.46	40.83	1012.58
	IF5-B	32.30	3.76	81.35	1.51	2	3839.80	8.45	59.22	1849.04
	IF6-B	29.90	4.10	49.51	1.02	2	1595.20	10.18	28.04	784.73
	Média	29.61	3.79	64.93	1.33	2.17	2879.50	8.29	54.19	2224.25
Região Basal (Fogo)	BF1-C	32.03	5.92	129.46	2.61	2	6767.80	10.94	83.08	2020.08
	BF2-C	28.60	4.31	61.93	1.35	2	2476.90	4.93	47.17	2850.38
	BF3-G	33.56	4.90	118.69	2.19	5	4174.00	6.29	50.06	2020.56
	BF4-A	33.49	4.74	106.63	1.99	3	4802.10	10.16	59.02	1477.79
	BF5-A	36.71	7.14	147.59	2.13	3	8715.70	8.01	69.50	2014.46
	BF6-B	29.88	5.34	83.60	1.79	2	3836.40	5.19	58.90	3238.22
	Média	32.38	5.39	107.98	2.09	2.83	5128.82	7.58	61.29	2270.25

Avaliação do tratamento do bambu:

Os corpos de prova verdes apresentaram um peso proporcionalmente maior devido à maior quantidade de água em sua composição. Apesar de não apresentaram os maiores valores de deformação, o tipo de fratura apresentado pelos corpos de prova foi diferenciado, não ocorrendo rompimento das fibras e sim o cisalhamento da peça e o amassamento da parede. Os corpos de prova desidratados apresentaram os melhores resultados em relação à resistência máxima, principalmente, a sua alta densidade, espessura de parede e diâmetro médio. A fratura foi semelhante a encontrada nas peças verdes, somado a pouca ruptura das fibras na região oposta à aplicação da força.

Para o tratamento a fogo, com a eliminação da água residual, foram encontrados bons resultados em relação à resistência máxima, mas o mesmo não ultrapassou os encontrados pelos CPs desidratados.. O tipo de fratura se mostrou a mais frágil dentre os tratamentos avaliados, havendo não apenas o cisalhamento da peça como uma alta taxa de quebra das fibras na parte contrária à aplicação da força. O ruído emitido no momento da quebra também foi significativamente mais elevado do que o apresentado pelos outros corpos de prova.

Para os corpos de prova preenchidos internamente com espuma de poliuretano e revestidos externamente com resina epóxi, os resultados foram pouco satisfatórios por não apresentarem valores de resistência maiores que os CP's desidratados e tratados com fogo, uma vez que possuíam maior espessura de parede e diâmetro médio. A camada de resina não proporcionou ganho de resistência, descolando-se a medida que o corpo de prova deformava. Já a espuma de PU proporcionou uma fratura diferente do esperado, as fraturas foram de uma forma cisalhante na direção das fibras, não havendo ruptura da parede da peça na região oposta à aplicação da força.

Em geral, corpos de prova de menor densidade apresentaram os menores valores de resistência em cada tratamento, enquanto que os de maior densidade apresentaram valores elevados de resistência. Dentre os arranjos dos nós (A, B, C, D, E, F, G) encontrados nos corpos de prova, o de melhor resultado geral foi o "A", contudo o arranjo F, com apenas um nó localizado exatamente na região de aplicação da força, foi a que obteve maior resistência proporcionalmente a espessura de parede, peso e diâmetro do corpo de prova.

Tabela 7: Dados gerais encontrados para os diferentes tratamentos.

	Corpos de Prova	Diâmetro (mm)	Espessura (mm)	Peso (g)	Densidade Calc. (g/cm ³)	Nº de nós	Força (N)	Deformação (mm)	Ultimate Strength (MPa)	Módulo Elástico (MPa)
Tratamento Verde (recém colhidos)	BV1-F	29.79	3.54	97.53	1.95	1	4273.80	5.31	82.93	4468.83
	BV2-B	28.23	3.50	91.39	1.92	2	2590.40	6.57	57.50	2641.14
	BV3-F	28.64	3.39	87.34	1.84	1	2145.40	9.38	46.97	1489.03
	IV1-C	29.10	3.39	95.48	1.97	2	2144.80	6.47	45.16	2042.57
	IV2-C	27.53	4.08	92.18	2.09	2	3170.70	5.10	68.42	4154.02
	IV3-B	28.99	3.54	79.88	1.65	2	1714.80	5.18	35.49	2011.60
	Média	28.71	3.57	90.63	1.90	1.67	2673.32	6.34	56.08	2801.20
Tratamento Desidratado (1 ano em estufa)	BD1-C	30.50	6.76	116.35	2.60	3	6567,5	6,9178	86.93	3509.62
	BD2-A	30.64	5.17	143.43	2.99	2	5510.90	7.76	80.59	2889.01
	BD3-B	30.93	4.89	108.75	2.21	2	4308.60	6.68	63.31	2609.00
	ID1-B	32.28	3.45	87.05	1.60	2	3055.10	6.13	49.93	2151.10
	ID2-C	31.93	3.33	78.60	1.45	2	2667.60	5.99	45.85	2042.16
	ID3-E	30.70	3.64	72.28	1.42	2	2461.90	6.33	43.70	1916.79
	Média	31.16	4.54	101.08	2.04	2.17	3600.82	6.58	61.72	2519.61
Tratamento Fogo (desidratado + 3 min de maçarico)	BF1-B	32.33	5.68	123.54	2.42	2	5306.50	8.01	64.83	2132.83
	BF2-A	35.38	4.85	135.27	2.36	3	7197.00	9.69	76.40	1898.37
	BF3-C	27.06	4.56	71.41	1.68	2	3036.70	4.44	64.50	4568.13
	IF1-B	28.45	3.93	63.34	1.37	2	2540.50	6.81	51.66	2270.91
	IF2-C	30.39	3.73	73.28	1.46	2	2820.00	5.33	50.52	2659.72
	IF3-E	32.10	4.14	75.82	1.45	2	2997.70	6.30	44.18	1860.88
	Média	30.95	4.48	90.44	1.79	2.17	3983.07	6.76	58.68	2565.14
Tratamento Resina + PU	BR1-A	33.44	5.89	148.87	2.87	3	5450.10	7.49	60.08	2043.85
	BR2-C	35.13	4.63	128.84	2.24	2	4506.90	5.57	50.01	2176.99
	BR3-C	30.11	7.80	134.08	3.17	2	4380.40	7.20	57.57	2262.13
	IR1-B	30.93	3.93	82.12	1.60	2	1993.00	6.34	33.16	1439.59
	IR2-E	31.48	3.64	94.82	1.81	2	2179.60	5.01	36.48	1971.89
	IR3-C	30.11	4.18	58.71	1.19	2	1563.10	6.83	26.70	1106.22
	Média	31.86	5.01	107.91	2.15	2.17	3345.52	6.41	44.00	1833.45

5.1 MONTAGEM DA BICICLETA

A montagem da bicicleta iniciou-se com a retirada das medidas do desenho do quadro para a confecção do modelo em tamanho real (Figura 32). A construção do modelo proporcionou uma melhor visualização do quadro, bem como a identificação de algumas dificuldades encontradas na construção deste tipo de estrutura. Com o modelo pronto, foi possível identificar a necessidade da construção de um gabarito (Figura 33) onde as peças podiam ser fixadas e posteriormente coladas e amarradas.



Figura 32: Modelo em tamanho real do quadro da bicicleta.



Figura 33: Gabarito de montagem da bicicleta (Esquerda) e parafusos de fixação da gancheira traseira (Direita).

As juntas da bicicleta foram feitas utilizando-se cordas de sisal (fio triplo e simples), adquiridas na Casa do Barbante, e resina epóxi Araldite CY 248 e endurecedor Aradur 53-S (Figura 34) comprados na Aralsul em Porto Alegre.

Para o quadro da bicicleta, utilizaram-se as varas de bambu selecionadas segundo os resultados apresentados no ensaio de flexão para região e para o tratamento.



Figura 34: Endurecedor Aradur 53-S (E), rolo de sisal (M) e resina Araldite CY 248.

Foi necessária a utilização de algumas peças metálicas para viabilizar a construção do quadro. Dentre as peças metálicas novas, podemos citar a luva do movimento central e a luva para o movimento de direção (Figura 35), ambas em alumínio 6262 T6. Fez-se também, o uso de partes de quadros de bicicletas sucateadas, como as gancheiras traseiras e o tubo para o canote do selim (Figura 36).



Figura 35: Luva do movimento central e movimento de direção



Figura 36: Gancheira traseira (E) e tubo para o canote do selim (D) –

A montagem iniciou com a preparação de cada peça. As varas de bambu tiveram suas extremidades devidamente moldadas para facilitar o encaixe sendo também preenchidas com espuma de poliuretano (PU), que pode ser facilmente descolada e retirada do interior do bambu se necessário (Figura 37). Após o preparo das peças de bambu, o quadro foi montado para uma visualização prévia e verificação de modificações, caso necessário (Figura 37).



Figura 37: Término do encaixe das peças de bambu do quadro da bicicleta (E) e preenchimento das cavidades internas do bambu com PU (D).

Após a montagem o quadro foi novamente desmontado para dar início à construção de uma nova bicicleta feita de bambu (Figura 38).



Figura 38: Início da montagem da bicicleta.

A próxima etapa foi a da pré-amarração, responsável por dar estabilidade as peças de bambu antes da amarração. Para a aplicação da resina na corda de sisal utilizou-se uma bandeja de pintura onde a resina era colocada e a corda posteriormente mergulhada (Figura 39).



Figura 39: Bandeja contendo a resina epóxi para imersão da fibra de sisal.

Foram feitos furos nas peças de bambu para facilitar a pré-amarração e possibilitar uma melhor união das peças. A pré-amarração (Figura 40), visava o ancoramento de todas as partes para a amarração final, não havendo risco de desencaixe do quadro. A pré-amarração também garantiu uma capacidade de amarração final ainda mais apertada.



Figura 40: Detalhe da pré-amarração realizada no quadro da bicicleta.

Após a cura da resina da pré-amarração, partes do quadro, que não faziam parte das juntas, foram devidamente isolados com fita adesiva para que não houvesse contato com a resina excedente da amarração (Figura 41).



Figura 41: Isolamento de partes do quadro a fim de evitar o contato com a resina.

Para a confecção das amarrações de sisal, foram utilizados pedaços de corda contínua com um comprimento médio de 3 metros. A corda de sisal foi então

mergulhada na resina retirando-se o excesso. Concluídas as amarrações (Figura 42), foi aplicada mais resina sobre elas.

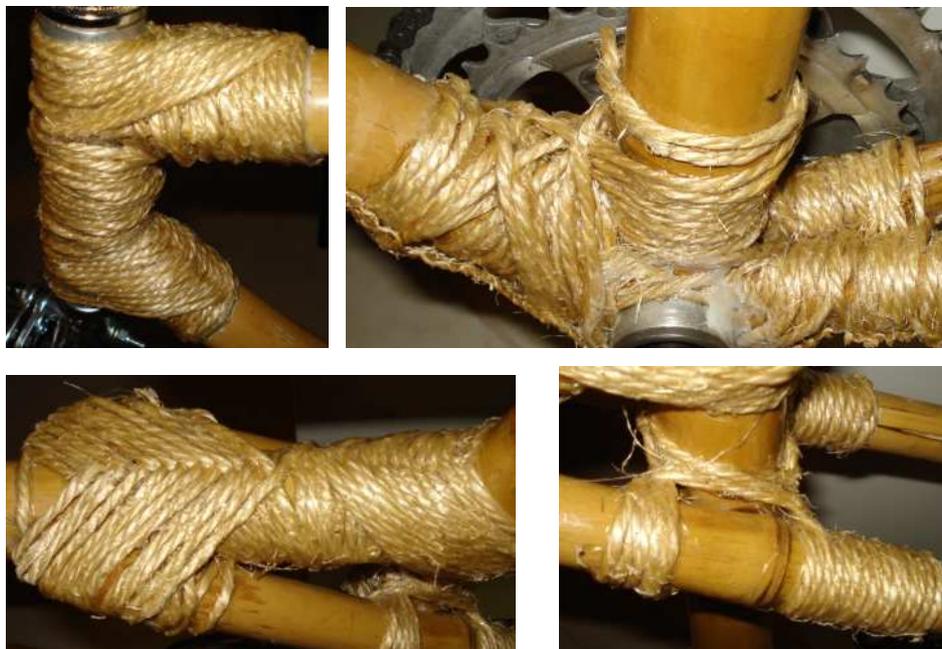


Figura 42: Amarrações concluídas.

O tempo de cura da resina foi de aproximadamente 10 horas, sendo necessário utilizar um aquecedor a óleo (Figura 43) para acelerar o processo.



Figura 43: Cura da amarração.

Com o quadro pronto, as peças da bicicleta puderam ser fixadas, dando origem assim, a uma nova bicicleta feita de bambu (Figura 44).



Figura 44: Bicicleta de bambu pronta para o uso.

O quadro da bicicleta atendeu ao testes preliminares, não apresentando qualquer sinal de trincas ou descolamento do bambu e das juntas. Nos testes de rua a bicicleta se mostrou pouco flexível e resistente, fornecendo a rigidez necessária para um pedalar eficiente. Serão necessários mais testes para uma melhor avaliação da resistência total do quadro.

6 CONCLUSÕES

Com relação ao bambu, a região basal se mostrou a mais resistente, possuindo maior espessura de parede e densidade. Quanto ao tratamento, as peças desidratadas foram as responsáveis pela maior resistência devido a sua quantidade de água residual, o que conferiu a flexibilidade necessária. Dentre o arranjo de nós no colmo, a disposição “A” foi a que obteve melhores resultados de resistência, contudo, a disposição “F” com apenas um nó localizado exatamente na região de aplicação da força, ofereceu a maior resistência proporcionalmente. As juntas se mostraram fortes o suficiente para manter a integridade do quadro da bicicleta quando o mesmo foi testado em uso.

A estrutura de bambu mostrou-se bastante resistente e leve, duas das principais características buscadas pela indústria do ciclismo. Sua fabricação, apesar de trabalhosa, pode ser dita simples, e a demanda de energia é bastante inferior ao de outros quadros disponíveis no mercado. Com o uso de peças de ferro fundido houve um grande aumento de massa, contudo, através da substituição dessas peças por peças de alumínio ou até mesmo outros materiais, o quadro pode apresentar um peso inferior ao das bicicletas de alumínio (2,250 Kg). O peso final do quadro de bambu ficou em 2,758 kg. O bambu proporcionou uma certa flexibilidade geral ao quadro, tornando-o, em um primeiro momento, confortável e com menos impactos.

A construção do quadro de bambu mostrou-se totalmente viável, não requerendo grande investimento. Sua fabricação acabou sendo lenta devido a algumas dificuldades iniciais encontradas pela falta de experiência, mas com a prática o quadro pode ser fabricado de forma bastante rápida.

7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Construção de novos quadros a partir da utilização de ripas de bambu e cola para formar estruturas como chapas e cilindros.
- Utilização de fibras de bambu para a construção de quadros em compósitos epóxi/fibra de bambu.
- Avaliação mecânica das peças produzidas utilizando modelos já existentes visando a comparação de resultados.
- Estudo de diferentes *designs* de bicicletas visando novos resultados e melhor performance.
- Estudo da demanda de resistência mecânica de cada junta da estrutura do quadro de bambu.

8 REFERÊNCIAS

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

BERALDO, A. L. Bambucreto – o uso do bambu como reforço do concreto. In: Anais do XIX CONBEA – Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, Piracicaba, SP, v. 1, p. 521-530, 1987.

CROOK, F.W. Vegetable production and trade in China. Situation and Outlook Series. Int. Agr. Trade Rep. USDA, ERS, WRS-94-4, China.1998.p.307-318.

FARRELY, D. The Book of Bamboo. Sierra Club Books, São Francisco, 1984. 202p.

HIDALGO, LOPEZ O. Bambu – su cultivo y aplicaciones em: fabricación de papel, construcción, Arquitectura, Ingeniería, Artesanía. Estudios Técnicos Colombianos Ltda., Colômbia, 318p., 1974.

HIDALGO, LOPEZ. Bamboo: the gift of the God's. D'vinni Ltda., Bogotá, Colômbia. 2003. 553p.

<<http://www.bambubrasileiro.com>>. Acesso em: 9 de ago. 2009.

<<http://www.africatodayonline.com/pt/noticia/3854/bambu-sobre-rodas>>. Acesso em:15 de out. 2009.

<<http://www.bamboobike.org>>. Acesso em: 05 de jun. 2009.

<http://www.forestbrazil.com.br/images/admin/boletim_1196998415.pdf>. Acesso em: 20 de nov. 2009.

<<http://www.hikawa.com.br/2004/02/takenoko-broto-de-bambu.html>>. Acesso em: 27 de nov. 2009.

<<http://pat.feldman.com.br/?p=4960>>. Acesso em: 27 de nov. 2009.

<http://revistadecorandocasamentos.blogspot.com/2009_06_01_archive.html>. Acesso em: 27 de nov. 2009.

<<http://greencotton.wordpress.com/2008/05/09/is-tencel-an-environmentally-friendly-alternative-to-bamboo-fabric/>> Acesso em: 27 de nov. 2009.

<<http://www.bambooclothes.com/clothes/MTT.html>>. Acesso em: 27 de nov. 2009.

<<http://tilz.tearfund.org/Publications/Footsteps+4150/Footsteps+45/Bamboo+water+pipes.html>>. Acesso em: 27 de nov. 2009.

<<http://bambus.rwth-aachen.de/eng/reports/zeri/englisch/referat-eng.html>>. Acesso em: 27 de nov. 2009.

<http://www.ifurn.com/padmaplantation_SDB01.html>. Acesso em: 26 de nov. 2009.

<<http://www.argington.com/blog/page/2>>. Acesso em: 26 de nov. 2009.

<<http://www.made-in-china.com/showroom/bamboowoodflooring-1/product-detailNAPmHhrdvxzU/China-Solid-Wood-Flooring.html>>. Acesso em: 27 de nov. 2009.

<<http://www.bamboosurfboardshawaii.com/surfboards.html>> Acesso em: 27 de nov. 2009.

<<http://www.green-living.com/browseproducts/8-Note-Bamboo-Xylophone.HTML>>. Acesso em: 27 de nov. 2009.

<<http://rockinggreen.wordpress.com/2009/06/10/first-act-makes-first-rate-bamboo-guitars>>. Acesso em: 27 de nov. 2009.

<http://www.ehow.com/way_5422138_homemade-flutes.html>. Acesso em: 27 de nov. 2009.

<<http://www.prefectlife.net/blog/category/paris>>. Acesso em: 30 de nov. 2009.

<<http://www.calfeedesign.com/bamboo.html>>. Acesso em: 30 de nov. 2009.

<<http://www.duratec.cz/en/modely/silnicni-kola/cool-r14>>. Acesso em: 30 de nov. 2009.

INTERNATIONAL NETWORK OF BAMBOO AND RATTAN – INBAR. Priority species of bamboo and rattan. New Delhi, India: INBAR – IDRC, 68p., 1994.

JANSSEN, J. J. Designing and building with bamboo. INTERNATIONAL NETWORK OF BAMBOO AND RATTAN – INBAR. Beijing, China. Technical report n.20, 207p. 2000.

JANSSEN, J.J.A. Bamboo in building structures, Ph.D. Thesis, University of Technology of Eindhoven, The Netherlands, 1981.

JARAMILLO, S. V. La guadua en los proyectos de inversión. In: Anales Del Congreso Mundial de Bambu/Guadua, Pereira, Colômbia, 1992.

LENGEN, J.V. Manual do Arquiteto Descalço. Editora Tibá, 2008.

LIESE, W. The anatomy of bamboo culms. Inbar – International Network for bamboo and rattan, 1998. China. Technical Report. 2004 p.

MANHÃES, A. P. Caracterização da cadeia produtiva do bambu no Brasil: Abordagem preliminar. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2008

NMBA. Processing bamboo shoots. Training manual. Nova Deli, Índia. 2004. p. 27, 2004.

PEREIRA, M. A. dos R.; PEREIRA, NETO M. dos R. *Projeto bambu: Introdução de espécies prioritárias*. XXV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola – Conbea e II Congresso Latinoamericano de Ingenieria Agrícola. Unesp, Bauru, S.P., 1996.

PEREIRA, M.A.R.; BERALDO, A.L. Bambu de corpo e alma. 237p, 2008.

PIMENTEL, M.A. O Bambu e os desafios do Brasil, 1997.

SASTRY, C. B. Timber for the 21st Century. On line. Inbar, 1999.

SENNA, V.P.; GARRIDO, S.P. Bambu: Uma Alternativa de Sustentabilidade. 2005

SILVA, F.A.; Ghavami, K.; D'Almeida, J.R.M. Comportamento ao impacto de laminados de bambu. IX ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA. Cuiabá, 2004.

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

SULTHONI, A. Traditional preservation of bamboo in Java. In: Recents research on bamboos. RAO, A. N.; DHANARAJAN, G.; SASTRY, C. B. (Edit). Proc. *Third International Bamboo Workshop*. CAF/IDRC, p. 349-357, 1987.

VAESSEN, M.J. ; Janssen, J.J.A. Analysis of the critical length of culms of bamboo in four-point bending tests. Faculty of Architecture and Building, Eindhoven University, Eindhoven, Netherlands, 1997.