



José Roberto de Lima Murad

**As propriedades físicas, mecânicas
e meso-estrutural do bambu *Guadua
weberbaueri* do Acre**

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada como requisito parcial para
obtenção do título de Mestre pelo Programa de Pós-
Graduação em Engenharia Civil do Centro Técnico
Científico da PUC-Rio.

Orientador: Khosrow Ghavami

Rio de Janeiro, março de 2007.



José Roberto de Lima Murad

**As propriedades físicas, mecânicas
e meso-estrutural do bambu *Guadua
weberbaueri* do Acre**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil do Centro Técnico Científico da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

Prof. Khosrow Ghavami

Orientador

Departamento de Engenharia Civil - PUC-Rio

Prof. Conrado de Souza Rodrigues

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais

Prof. Romildo Dias Tolêdo Filho

Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ

Prof. José Luiz Mendes Ripper

Departamento de Artes e Design - PUC-Rio

Prof. José Eugênio Leal

Coordenador Setorial
do Centro Científico Tecnológico da Puc-Rio

Rio de Janeiro, 26 de março de 2007.

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização do autor, do orientador e da universidade.

José Roberto de Lima Murad

Graduou-se em Engenharia Civil, pela Universidade Federal do Acre (UFAC), em abril de 2003. Concluiu curso de especialização em Gestão de Recursos Ambientais em 2004. Ingressou no curso de mestrado em Engenharia Civil da PUC-Rio em março de 2004, onde em conjunto com o Prof. Khosrow Ghavami vem contribuindo em pesquisas na área de materiais não convencionais.

Ficha Catalográfica

Murad, José Roberto de Lima

As propriedades físicas, mecânicas e meso-estrutural do bambu *Guadua weberbaueri* do Acre / José Roberto de Lima Murad; orientador: Khosrow Ghavami – Rio de Janeiro: PUC, Departamento de Engenharia Civil, 2005.

v., 120 f: il. ; 30 cm

Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

Inclui bibliografia.

1. Engenharia Civil – Teses. 2. Bambu. 3. *Guadua weberbaueri*. 4. Propriedades físicas. 5. Propriedades mecânicas. 6. Propriedades meso-estrutural. 7. tratamento. 8. Análise estrutural de treliças. 9. Materiais não convencionais. I. Ghavami, Khosrow. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Civil. III. Título.

CDD: 624

Aos meus pais, Labib e Maria Helena, que estiveram ao meu lado em todos os momentos, acreditando e apoiando meus sonhos.

E a Priscilla Augusta, noiva e amiga, que nesses três anos de convivência procurou elevar o sentido de nossas vidas unindo o amor à amizade e à cumplicidade, e permitindo, através de seu espírito crítico, de sua visão científica e de sua ética, que juntos crescêssemos em nossas vidas, pessoal e profissional. Que a franqueza da nossa amizade e do nosso amor seja um exemplo para nossos filhos que ainda virão.

Agradecimentos

A Deus, por existir e me proteger.

A meus pais, Labib e Maria Helena, que tanto deram de si para minha formação e pelas incomparáveis lições de vida.

A minha noiva, Priscilla Augusta, por ter compartilhado comigo também os momentos difíceis, e por sua inigualável ajuda, compreensão e amor.

Ao grande amigo, professor e orientador, Ghavami, por toda atenção, disposição dispensada e bibliografia cedida para a realização deste trabalho.

Aos tios Ramis e Zaíra, que fizeram da sua casa a extensão da minha e ao amor e carinho a mim dedicado.

Aos meus sogros - José Augusto e Maria José, Irmãos – Fabíola e Rafael, cunhados, tios, avó, sobrinhos e toda família, que sempre me apoiaram e tanto me incentivaram.

Ao professor Sidnei Paciornik, pela colaboração na utilização do Processamento Digital de Imagem.

Aos professores Felipe José da Silva e Clelio Thaumaturgo, por terem aberto as portas do laboratório do IME para a realização dos ensaios de resistência à tração e cisalhamento.

A todos professores do DEC – Estruturas, pelos conhecimentos adquiridos durante o curso.

Aos técnicos e amigos do LEM, Euclides, José Nilson, Evandro e Haroldo, pela ajuda nos trabalhos experimentais e pelos momentos compartilhados no laboratório.

A Rita, Ana Roxo e Fátima, pela atenção e ajuda.

Aos colegas de Mestrado, em especial aos de maior convivência: Ygor Netto, Amanda Jarek, Adenilson Oliveira, Cláudia O. Pacheco, Renato Mendes, Joaquim Nunes, Liliane Veloso, Diego, Diogo Mota, Daniel El Jaick, Lucas, Thiago Pecim e Patrício Pires.

Aos amigos Luis Alberto Torres Cruz e Eliane Pires, pela amizade, bibliografia cedida e ajuda oferecida na conclusão deste trabalho.

Ao Evandro e Paulo Henrique Andrade pela ajuda com o corte, manuseio e envio dos bambus do Acre para o Rio de Janeiro.

Aos professores Roberto Feres, Marcos Silveira e Maria Alice, pela bibliografia cedida.

Ao arquiteto belga e amigo Sven Mouton, pela confiança a mim depositada à realização da análise estrutural do projeto do Centro Comunitário Camburi. A Vice-Reitoria Acadêmica da PUC-Rio pela ajuda financeira.

Resumo

Murad, José Roberto de Lima; Ghavami, Khosrow. **As propriedades físicas, mecânicas e meso-estrutural do bambu *Guadua weberbaueri* do Acre.** Rio de Janeiro, 2007. 120p. Dissertação de Mestrado – Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

O bambu apresenta baixo consumo de energia e baixo custo de produção, além de ser um material renovável e ecológico. É um material potencialmente promissor que vem demonstrando grandes qualidades para a construção civil. Estudos mostraram que a relação resistência à tração e peso específico do bambu é 2,77 vezes maior que a do aço. Este trabalho tem como objetivo a caracterização física, mecânica e meso-estrutural do bambu da espécie *Guadua weberbaueri* para possível aplicação na engenharia civil como material não convencional. Os resultados dos ensaios mecânicos mostraram valores compatíveis a outras espécies pesquisadas. Concluiu-se que o material quando sujeito a carga de tração, cisalhamento ou compressão apresentou comportamento semelhante ao de outras espécies já estudadas, desde 1979, no Departamento de Engenharia Civil da PUC-Rio, sob a orientação do professor Khosrow Ghavami. Onde foram desenvolvidos vários programas de investigação para o emprego do bambu e outras fibras vegetais na construção de edificações de baixo custo, substituindo produtos de asbesto, aço, cimento e outros materiais poluentes e não renováveis. Podendo este ser utilizado como material alternativo na engenharia civil.

Palavras-chave:

Bambu; *Guadua weberbaueri*; propriedades físicas; propriedades mecânicas; propriedades meso-estruturais; tratamento; materiais não convencionais.

Abstract

Murad, José Roberto de Lima; Ghavami, Khosrow. **The physical, mechanical and meso-structural properties of the bamboo *Guadua weberbaueri* of Acre.** Rio de Janeiro, 2007. 120p. Dissertação de Mestrado – Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

The bamboo presents low consumption of energy and low cost of production, beyond being a renewable and ecological material. It is a potentially promising material that comes demonstrating great qualities for the civil construction. Studies had shown that the relation tensile strenght and specific weight of the bamboo is 2,77 times bigger that of the steel. This thesis presents the results of an experimental investigation to establish the physical, mechanics and meso-structural, of the bamboo of the species *Guadua weberbaueri* for possible application in the civil engineering as a non-conventional material. The results of the mechanical rehearsals showed compatible values to other researched species. It was concluded that the material when subject to traction loads, shear or compression presented similar behavior to the of other studied species already, since 1979, in the Department of Civil Engineering of PUC-Rio, under the orientation of professor Khosrow Ghavami. Where some programs of inquiry for the vegetal job of the bamboo and other staple fibers in the construction of edifications of low cost had been developed, substituting pollutant products of asbestos, steel, cement and other pollutant materials didn't renew. Being able this being used as non-conventional material in civil engineering.

Key Words:

Bamboo; *Guadua weberbaueri*; physical properties; mechanical properties; meso-structural properties; treatment; non-conventional materials.

Sumário

1	Introdução	18
1.1.	Objetivo	19
1.2.	Estrutura do trabalho	19
2	Revisão bibliográfica	20
2.1.	Introdução	20
2.2.	Guadua weberbaueri	25
2.3.	As florestas abertas com bambu no sudoeste da Amazônia	25
2.4.	Manejo e processo de preparo para uso	27
2.4.1.	Idade do corte	28
2.4.2.	Período de corte	29
2.4.3.	Cura	30
2.4.4.	Secagem do bambu	31
2.5.	Tratamentos preservativos	32
2.5.1.	Métodos de aplicação de preservativos	33
2.6.	Meso-estrutura do bambu	34
2.7.	Características físicas	37
2.8.	Propriedades mecânicas	38
3	Materiais e métodos	41
3.1.	Propriedades físicas	41
3.1.1.	Peso específico	41
3.1.2.	Teor de umidade natural	42
3.1.3.	Absorção de água	42
3.1.4.	Mudanças dimensionais	43
3.2.	Determinação das propriedades meso-estrutural	44
3.3.	Propriedades mecânicas	46
3.3.1.	Determinação das propriedades mecânicas	46
3.3.1.1.	Determinação da resistência à tração	46
3.3.1.2.	Resistência ao cisalhamento longitudinal	48
3.3.1.3.	Resistência à compressão axial	49

4 Resultados e discussões	51
4.1. Tratamentos preservativos	51
4.2. Propriedades físicas	53
4.2.1. Absorção de água	53
4.2.2. Peso específico	54
4.2.3. Variações dimensionais	55
4.2.4. Teor de umidade natural	56
4.3. Propriedades meso-estruturais	58
4.4. Propriedades mecânicas	63
4.4.1. Resistência à tração axial	63
4.4.2. Resistência ao cisalhamento longitudinal	67
4.4.3. Resistência à compressão axial	69
5 Conclusões e sugestões	74
5.1. Conclusões	74
5.2. Sugestões	75
6 Referências bibliográficas	77
7 Anexo I. Figuras e Tabelas referentes à análise dos resultados dos ensaios físicos, mecânicos e meso-estruturais.	83
8 Anexo II. Figuras dos ensaios de resistência à tração, cisalhamento e compressão.	92

Lista de figuras

Figura 2.1 - Armadura longitudinal de pilar em bambu. Fonte: Rosa (2002).	20
Figura 2.2 - Fôrmas permanentes de lajes armadas com bambu. Fonte: Achá (2002).	21
Figura 2.3 - Tratamento e concretagem de lajes armadas com bambu. Fonte: Achá (2002).	21
Figura 2.4 - Stand do SEBRAE/AC - Feira do Empreendedor - Exposição Agropecuária do Estado do Acre – EXPOACRE – 2005.	23
Figura 2.5 - Memorial Indígena - Campo Grande - MS. Fonte: Ghavami (1992).	24
Figura 2.6 - Ponte de bambu em Stuttgart, Alemanha. Fonte: Ghavami (1992).	24
Figura 2.7 - Vistas frontal e interna da Catedral construída em bambu na Colômbia. Fonte: Ghavami (1992).	24
Figura 2.8 - Distribuição da floresta aberta com bambu no sudoeste da Amazônia. Mapa produzido a partir da interpretação visual de imagens Landsat TM falsa-côr (bandas 3, 4 e 5), por B.W. Nelson com imagens do INPE (Brasil) e por R. Kalliola, utilizando imagens do INRENA (Peru). Fonte: Oliveira (2000).	26
Figura 2.9 - Bambu <i>Guadua weberbaueri</i> do Acre com 4 meses de idade, ainda com brácteas.	28
Figura 2.10 - Bambu <i>Guadua weberbaueri</i> maduro, idade estimada 3 anos.	29
Figura 2.11 - Cura na touceira – Bambu <i>Guadua weberbaueri</i> do Acre.	30
Figura 2.12 - Variação da fração volumétrica das fibras na espessura do colmo do bambu <i>Guadua weberbaueri</i> do Acre.	35
Figura 2.13 - Detalhes da microestrutura do bambu – conjunto vascular (LIESE, 1998).	35
Figura 3.1 - Corpo de prova para os ensaios de peso específico e teor de umidade natural.	42
Figura 3.2 - Pesagem do corpo de prova do ensaio de absorção de água.	43
Figura 3.3 - Esquema do processamento digital de imagens.	44
Figura 3.4 - Lixamento e polimento da amostra.	45
Figura 3.5 - Aquisição Digital de Imagens.	45
Figura 3.6 - Forma e dimensões do corpo de prova.	47
Figura 3.7 - Ensaio de resistência à tração.	48
Figura 3.8 - Corpos de prova e ensaio de resistência ao cisalhamento	

longitudinal.	49
Figura 3.9 - Ensaio de resistência à compressão e sistema de aquisição de dados - Vischay.	50
Figura 4.1 - Bambus após tratamento.	52
Figura 4.2 - Detalhe dos bambus tratados em banhos de imersão à quente com: água (a), Jimo Cupim® (b), querosene (c) e óleo queimado (d).	53
Figura 4.3 - Comparação das variações dimensionais da espécie <i>Guadua weberbaueri</i> com outras espécies estudadas na PUC-Rio.	56
Figura 4.4 - Imagem do bambu <i>Guadua weberbaueri</i> seccionada em 4 fatias.	58
Figura 4.5 - Correção de iluminação.	58
Figura 4.6 - Segmentação.	59
Figura 4.7 - Eliminação de ruídos.	59
Figura 4.8 - Preenchimento dos espaços vazios.	59
Figura 4.9 - Comparação entre resultados para a amostra seccionada em 4 e 16 seções.	60
Figura 4.10 - Comparação entre resultados para a amostra seccionada em 8 e 16 seções.	61
Figura 4.11 - Comparação entre resultados para a amostra seccionada em 12 e 16 seções.	61
Figura 4.12 - Variação da fração volumétrica do bambu <i>Mosó</i> , seccionada em 4, 8, 12 e 16 fatias.	62
Figura 4.13 - Variação da fração volumétrica da amostra da base do bambu <i>Dendrocalamus giganteus</i> seccionada em 4 e 16 partes.	62
Figura 4.14 - Distribuição de fibras na espessura de bambu <i>Mosó</i> obtida por Amada (1996).	63
Figura 4.15 - Comparação da resistência à tração da espécie <i>Guadua weberbaueri</i> com outras espécies.	66
Figura 4.16 - Comparação do módulo de elasticidade da espécie <i>Guadua weberbaueri</i> com outras espécies.	67
Figura 4.17 - Comparação da resistência ao cisalhamento da base do bambu <i>Guadua weberbaueri</i> com outras espécies estudadas na PUC-Rio.	69
Figura 4.18 - Curvas tensão – deformação obtidas no ensaio de resistência à compressão – amostras sem nó.	71
Figura 4.19 - Curvas tensão – deformação obtidas no ensaio de resistência à compressão – amostras com nó.	71
Figura 4.20 - Comparação da resistência à compressão da base do bambu	

<i>Guadua weberbaueri</i> com outras espécies estudadas na PUC-Rio.	72
Figura 4.21 - Comparação do módulo de elasticidade longitudinal da base do bambu <i>Guadua weberbaueri</i> com outras espécies estudadas na PUC-Rio.	73
Figura A.I. 1 - Absorção de água do bambu <i>Guadua weberbaueri</i> .	83
Figura A.I. 2 - Comparação da absorção de água da espécie <i>Guadua weberbaueri</i> com outras espécies estudadas na PUC-Rio.	83
Figura A.I. 3 - Comparação do peso específico da espécie <i>Guadua weberbaueri</i> com outras espécies estudadas na PUC-Rio.	84
Figura A.I. 4 - Variações dimensionais da espécie <i>Guadua weberbaueri</i> .	85
Figura A.I. 5 - Comparação do teor de umidade natural da espécie <i>Guadua weberbaueri</i> com outras espécies estudadas na PUC-Rio.	86
Figura A.I. 6 - Fração volumétrica da amostra dividida em 2 fatias.	86
Figura A.I. 7 - Fração volumétrica da amostra dividida em 3 fatias.	87
Figura A.I. 8 - Fração volumétrica da amostra dividida em 4 fatias.	87
Figura A.I. 9 - Fração volumétrica da amostra dividida em 8 fatias.	87
Figura A.I. 10 - Fração volumétrica da amostra dividida em 12 fatias.	88
Figura A.I. 11 - Fração volumétrica da amostra dividida em 16 fatias.	88
Figura A.I. 12 - Resistência à tração da base da espécie <i>Guadua weberbaueri</i> .	88
Figura A.I. 13 - Módulo de elasticidade da base da espécie <i>Guadua weberbaueri</i> .	89
Figura A.I. 14 - Resistência ao cisalhamento e módulo de elasticidade da base do bambu <i>Guadua weberbaueri</i> .	90
Figura A.II. 1 - Curva tensão de tração-deformação do corpo de prova 1 - fatia externa da região basal do bambu <i>Guadua weberbaueri</i> .	92
Figura A.II. 2 - Curva tensão de tração-deformação do corpo de prova 2 - fatia interna da região basal do bambu <i>Guadua weberbaueri</i> .	93
Figura A.II. 3 - Curva tensão de tração-deformação do corpo de prova 3 - fatia externa da região basal do bambu <i>Guadua weberbaueri</i> .	93
Figura A.II. 4 - Curva tensão de tração-deformação do corpo de prova 4 - fatia interna da região basal do bambu <i>Guadua weberbaueri</i> .	94
Figura A.II. 5 - Curva tensão de tração-deformação do corpo de prova 5 - fatia externa da região basal do bambu <i>Guadua weberbaueri</i> .	94
Figura A.II. 6 - Curva tensão de tração-deformação do corpo de prova 6 - fatia interna da região basal do bambu <i>Guadua weberbaueri</i> .	95
Figura A.II. 7 - Curva tensão de tração-deformação do corpo de prova 7 - fatia	

externa da região basal do bambu <i>Guadua weberbaueri</i> .	95
Figura A.II. 8 - Curva tensão de tração-deformação do corpo de prova 8 - fatia interna da região basal do bambu <i>Guadua weberbaueri</i> .	96
Figura A.II. 9 - Curva tensão de tração-deformação do corpo de prova 9 - fatia externa da região basal do bambu <i>Guadua weberbaueri</i> .	96
Figura A.II. 10 - Curva tensão de tração-deformação do corpo de prova 10 - fatia interna da região basal do bambu <i>Guadua weberbaueri</i> .	97
Figura A.II. 11 - Curva tensão de tração-deformação do corpo de prova 11 - fatia externa da região basal do bambu <i>Guadua weberbaueri</i> .	97
Figura A.II. 12 - Curva tensão de tração-deformação do corpo de prova 12 - fatia interna da região basal do bambu <i>Guadua weberbaueri</i> .	98
Figura A.II. 13 - Curva tensão de tração-deformação do corpo de prova 13 - fatia externa da região basal do bambu <i>Guadua weberbaueri</i> .	98
Figura A.II. 14 - Curva tensão de tração-deformação do corpo de prova 14 - fatia interna da região basal do bambu <i>Guadua weberbaueri</i> .	99
Figura A.II. 15 - Curva tensão de tração-deformação do corpo de prova 15 - fatia externa da região basal do bambu <i>Guadua weberbaueri</i> .	99
Figura A.II. 16 - Curva tensão de tração-deformação do corpo de prova 16 - fatia interna da região basal do bambu <i>Guadua weberbaueri</i> .	100
Figura A.II. 17 - Curva tensão de tração-deformação do corpo de prova 17 - fatia externa da região basal do bambu <i>Guadua weberbaueri</i> .	100
Figura A.II. 18 - Curva tensão de tração-deformação do corpo de prova 18 - fatia interna da região basal do bambu <i>Guadua weberbaueri</i> .	101
Figura A.II. 19 - Curva tensão de tração-deformação do corpo de prova 21 - fatia externa da região basal do bambu <i>Guadua weberbaueri</i> .	101
Figura A.II. 20 - Curva tensão de tração-deformação do corpo de prova 22 - fatia interna da região basal do bambu <i>Guadua weberbaueri</i> .	102
Figura A.II. 21 - Curva tensão de tração-deformação do corpo de prova 23 - fatia externa da região basal do bambu <i>Guadua weberbaueri</i> .	102
Figura A.II. 22 - Curva tensão de tração-deformação do corpo de prova 24 - fatia interna da região basal do bambu <i>Guadua weberbaueri</i> .	103
Figura A.II. 23 - Curva tensão de tração-deformação do corpo de prova 27 - fatia externa da região basal do bambu <i>Guadua weberbaueri</i> .	103
Figura A.II. 24 - Curva tensão de tração-deformação do corpo de prova 28 - fatia interna da região basal do bambu <i>Guadua weberbaueri</i> .	104
Figura A.II. 25 - Curva tensão de tração-deformação do corpo de prova 29 - fatia	

externa da região basal do bambu <i>Guadua weberbaueri</i> .	104
Figura A.II. 26 - Curva tensão de tração-deformação do corpo de prova 30 - fatia interna da região basal do bambu <i>Guadua weberbaueri</i> .	105
Figura A.II. 27 - Curva tensão de tração-deformação do corpo de prova 31 - fatia externa da região basal do bambu <i>Guadua weberbaueri</i> .	105
Figura A.II. 28 - Curva tensão de tração-deformação do corpo de prova 32 - fatia interna da região basal do bambu <i>Guadua weberbaueri</i> .	106
Figura A.II. 29 - Curva tensão de compressão-deformação da região basal sem nó do bambu <i>Guadua weberbaueri</i> .	106
Figura A.II. 30 - Curva tensão de compressão-deformação da região basal com nó do bambu <i>Guadua weberbaueri</i> .	107
Figura A.II. 31 - Curva tensão de cisalhamento do corpo de prova 1 - fatia externa da região basal do bambu <i>Guadua weberbaueri</i> .	107
Figura A.II. 32 - Curva tensão de cisalhamento do corpo de prova 2 - fatia interna da região basal do bambu <i>Guadua weberbaueri</i> .	108
Figura A.II. 33 - Curva tensão de cisalhamento do corpo de prova 3 - fatia externa da região basal do bambu <i>Guadua weberbaueri</i> .	108
Figura A.II. 34 - Curva tensão de cisalhamento do corpo de prova 4 - fatia interna da região basal do bambu <i>Guadua weberbaueri</i> .	109
Figura A.II. 35 - Curva tensão de cisalhamento do corpo de prova 5 - fatia externa da região basal do bambu <i>Guadua weberbaueri</i> .	109
Figura A.II. 36 - Curva tensão de cisalhamento do corpo de prova 6 - fatia interna da região basal do bambu <i>Guadua weberbaueri</i> .	110
Figura A.II. 37 - Curva tensão de cisalhamento do corpo de prova 7 - fatia externa da região basal do bambu <i>Guadua weberbaueri</i> .	110
Figura A.II. 38 - Curva tensão de cisalhamento do corpo de prova 8 - fatia interna da região basal do bambu <i>Guadua weberbaueri</i> .	111
Figura A.II. 39 - Curva tensão de cisalhamento do corpo de prova 9 - fatia externa da região basal do bambu <i>Guadua weberbaueri</i> .	111
Figura A.II. 40 - Curva tensão de cisalhamento do corpo de prova 10 - fatia interna da região basal do bambu <i>Guadua weberbaueri</i> .	112
Figura A.II. 41 - Curva tensão de cisalhamento do corpo de prova 11 - fatia externa da região basal do bambu <i>Guadua weberbaueri</i> .	112
Figura A.II. 42 - Curva tensão de cisalhamento do corpo de prova 12 - fatia interna da região basal do bambu <i>Guadua weberbaueri</i> .	113
Figura A.II. 43 - Curva tensão de cisalhamento do corpo de prova 13 - fatia	

externa da região basal do bambu <i>Guadua weberbaueri</i> .	113
Figura A.II. 44 - Curva tensão de cisalhamento do corpo de prova 14 - fatia interna da região basal do bambu <i>Guadua weberbaueri</i> .	114
Figura A.II. 45 - Curva tensão de cisalhamento do corpo de prova 15 - fatia externa da região basal do bambu <i>Guadua weberbaueri</i> .	114
Figura A.II. 46 - Curva tensão de cisalhamento do corpo de prova 16 - fatia interna da região basal do bambu <i>Guadua weberbaueri</i> .	115
Figura A.II. 47 - Curva tensão de cisalhamento do corpo de prova 17 - fatia externa da região basal do bambu <i>Guadua weberbaueri</i> .	115
Figura A.II. 48 - Curva tensão de cisalhamento do corpo de prova 18 - fatia interna da região basal do bambu <i>Guadua weberbaueri</i> .	116
Figura A.II. 49 - Curva tensão de cisalhamento do corpo de prova 19 - fatia externa da região basal do bambu <i>Guadua weberbaueri</i> .	116
Figura A.II. 50 - Curva tensão de cisalhamento do corpo de prova 20 - fatia interna da região basal do bambu <i>Guadua weberbaueri</i> .	117
Figura A.II. 51 - Curva tensão de cisalhamento do corpo de prova 21 - fatia externa da região basal do bambu <i>Guadua weberbaueri</i> .	117
Figura A.II. 52 - Curva tensão de cisalhamento do corpo de prova 22 - fatia interna da região basal do bambu <i>Guadua weberbaueri</i> .	118
Figura A.II. 53 - Curva tensão de cisalhamento do corpo de prova 25 - fatia externa da região basal do bambu <i>Guadua weberbaueri</i> .	118
Figura A.II. 54 - Curva tensão de cisalhamento do corpo de prova 26 - fatia interna da região basal do bambu <i>Guadua weberbaueri</i> .	119
Figura A.II. 55 - Curva tensão de cisalhamento do corpo de prova 27 - fatia externa da região basal do bambu <i>Guadua weberbaueri</i> .	119
Figura A.II. 56 - Curva tensão de cisalhamento do corpo de prova 28 - fatia interna da região basal do bambu <i>Guadua weberbaueri</i> .	120

Lista de tabelas

Tabela 2.1 - Relação energia de produção por unidade de tensão. Fonte: Ghavami (1992).	22
Tabela 2.2 - Relação resistência à tração X peso específico. Fonte: Ghavami (1992).	22
Tabela 2.3 - Resistência mecânica da espécie <i>Phyllostachys bambusoide</i> (LEE et al., 1994).	40
Tabela 4.1 - Porcentagem de absorção de água do bambu <i>G. weberbaueri</i> .	53
Tabela 4.2 - Comparação da absorção de água da espécie <i>Guadua weberbaueri</i> com outras espécies estudadas na PUC-Rio.	54
Tabela 4.3 - Comparação do peso específico da espécie <i>Guadua weberbaueri</i> com outras espécies estudadas na PUC-Rio.	55
Tabela 4.4 - Variações dimensionais da espécie <i>Guadua weberbaueri</i> .	55
Tabela 4.5 - Comparação do teor de umidade natural da espécie <i>Guadua weberbaueri</i> com outras espécies estudadas na PUC-Rio.	57
Tabela 4.6 - Porcentagem do volume de fibras em cada seção.	60
Tabela 4.7 - Resistência à tração e módulo de elasticidade da base da espécie <i>Guadua weberbaueri</i> .	64
Tabela 4.8 - Resistência ao cisalhamento da base do bambu <i>Guadua weberbaueri</i> .	67
Tabela 4.9 - Resistência à compressão, módulo de elasticidade longitudinal, módulo de elasticidade transversal e coeficiente de Poisson da base do bambu <i>Guadua weberbaueri</i> .	70
Tabela A.I. 1 - Comparação das variações dimensionais da espécie <i>Guadua weberbaueri</i> com outras espécies estudadas na PUC-Rio.	85
Tabela A.I. 2 - Comparação da resistência à tração e módulo de elasticidade da espécie <i>Guadua weberbaueri</i> com outras espécies.	89
Tabela A.I. 3 - Comparação da resistência ao cisalhamento da base do bambu <i>G. weberbaueri</i> com outras espécies estudadas na PUC-Rio.	90
Tabela A.I. 4 - Comparação da resistência à compressão da base do bambu <i>G. weberbaueri</i> com outras espécies estudadas na PUC-Rio.	91
Tabela A.I. 5 - Comparação do módulo de elasticidade longitudinal da base do bambu <i>G. weberbaueri</i> com outras espécies estudadas na PUC-Rio.	91

Lista de símbolos

E	Módulo de elasticidade
E_c	Módulo de elasticidade do compósito
E_f	Módulo de elasticidade da fibra
E_m	Módulo de elasticidade da matriz
V_f	Fração volumétrica das fibras
V_m	Fração volumétrica da matriz
V	Volume
P_s	Peso seco ao ar
P_0	Peso seco em estufa
P_n	Peso saturado
h	Teor de umidade natural
A	Quantidade de água absorvida
V_D	Variação dimensional
D_v	Dimensão após saturação
D_s	Dimensão na condição de seco ao ar
VR	Variação radial
VL	Variação longitudinal
VC	Variação circunferencial
f_b	Resistência à compressão
L	Comprimento
D	Diâmetro
ϵ	Deformação
γ	Peso específico total
σ_t	Resistência à tração
ν	Coefficiente de Poisson
τ	Resistência ao cisalhamento