



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
CENTRO DE TECNOLOGIA**



DISSERTAÇÃO

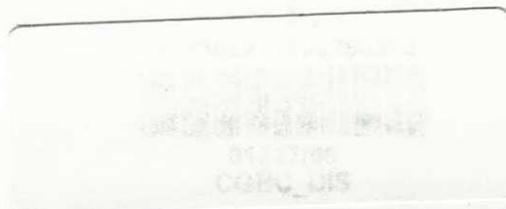
AREA DE CONCENTRAÇÃO EM CONSTRUÇÕES RURAIS E AMBIENCIA

**BAMBU: GENERALIDADES E SEU EMPREGO COMO REFORÇO EM VIGAS DE
CONCRETO**

ANTONIO CORREIA BRAGA FILHO

CAMPINA GRANDE – PARAÍBA

DEZEMBRO / 2004



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE

CENTRO DE CIENCIA E TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRICOLA

AREA: CONSTRUÇÕES RURAIS

BAMBU: GENERALIDADES E SEU EMPREGO COMO REFORÇO EM VIGAS DE
CONCRETO

ANTONIO CORREIA BRAGA FILHO

CAMPINA GRANDE – PARAÍBA

DEZEMBRO / 2004

ANTONIO CORREIA BRAGA FILHO

BAMBU: GENERALIDADES E SEU EMPREGO COMO REFORÇO EM VIGAS DE CONCRETO

Dissertação apresentada ao
Curso de Pós- Graduação em Engenharia
Agrícola do Centro de Ciência e Tecnologia
da Universidade Federal de Campina Grande,
em cumprimento às exigências para obtenção
do Grau de Mestre

Área de Concentração: Construções Rurais e Ambiente

Orientador: Prof. Dr. Normando Perazzo Barbosa

**CAMPINA GRANDE – PARAÍBA
DEZEMBRO / 2004**



FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCCG

B813b
2004

Braga Filho, Antonio Correia

Bambu: generalidades e seu emprego como reforço em vigas de concreto /
Antonio Correia Braga Filho. — Campina Grande: UFCCG, 2004.
144f.

Inclui Bibliografia.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) — Centro de Ciências e
Tecnologia, Universidade Federal de Campina Grande.

1— Construção rural 2— Bambu 3— Vigas de concreto I— Título

CDU 631.2:633.584.5



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA



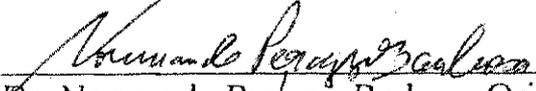
PARECER FINAL DO JULGAMENTO DA DISSERTAÇÃO DO MESTRANDO

ANTÔNIO CORREIA BRAGA FILHO

**BAMBU: GENERALIDADES E SEU EMPREGO COMO REFORÇO
EM VIGAS DE CONCRETO**

BANCA EXAMINADORA

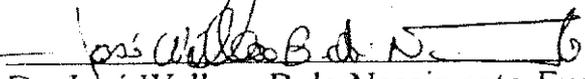
PARECER


Dr. Normando Perazzo Barbosa-Orientador

Aprovado


Dr. Humberto Correia Lima-Examinador

Aprovado


Dr. José Wallace B. do Nascimento-Examinador

APROVADO

DEZEMBRO - 2004

"Muitas coisas na vida (pessoal e profissional) são iguais ao bambu chinês. Você trabalha, investe tempo e esforço, faz tudo o que pode para nutrir seu crescimento e, às vezes, não se vê nada por semanas, meses, ou mesmo anos. Mas, se tiver paciência para continuar trabalhando e nutrindo, o 'quinto ano' chegará, e o crescimento e a mudança que se processam o deixarão espantado".

Stephen Covey

Dedico este trabalho a meus pais, Antonio Braga e Cleide Feitosa a Nair e ao Prof. Normando Perazzo

AGRADECIMENTOS

A Deus pela saúde, família e pelas oportunidades de estudo.

Ao amigo e orientador Normando Perazzo pelo material bibliográfico e fotografias, ao incentivo, otimismo, orientação e sugestões. E, sobretudo pela grande amizade.

Aos meus pais, Antonio Braga e Cleide, pelo apoio, dedicação, educação, carinho e amor.

A meu falecido avô Leandro por acreditar na minha capacidade.

As minhas irmãs, Olga e Suely as minhas tias Claudia e Cleia, e especialmente a minha mãe que colaborou em muitas etapas da tese.

A minha segunda mãe Nairzinha pelo amor incondicional.

A minha família e amigos pela paciência e compreensão devido ao meu estresse e ausência em confraternizações.

Aos meus Sobrinhos Icaro, Iury, Jéssica e Rafaela.

Aos meus amigos do LABEME, Ricardo, Albertinho, Delby, Zito Sebastião, Cláudio, Otoniel, João, Serginho, Aline e Marília, pela ajuda durante os ensaios.

Ao professor Humberto do Departamento de Engenharia Civil da UNIOESTE pelas sugestões tão valiosas e pelos strain gages utilizados. E especialmente pela maravilhosa hospitalidade.

Ao professor Fabio do Departamento de Engenharia Civil da UNIOESTE e ao Max pelas preciosas contribuições nos experimentos.

A professora Michelly pela amizade e hospitalidade.

A administração do Jardim Botânico de Cascavel pela doação dos colmos de bambu.

A CAPES pelo auxílio financeiro.

SUMÁRIO

CAPITULO 1 – Introdução.....	1
CAPITULO 2 - Revisão Bibliográfica	6
2.1. Taxonomia do Bambu	6
2.1.1. Morfologia	12
2.1.2 Rizomas	12
2.1.3 Folhas	16
2.1.4 Raízes	18
2.1.5 Colmos	19
2.1.6 Flores	25
2.1.7. Sementes	26
2.1.8. Galhos	26
2.2. Habitat	27
2.2.1. Temperatura	28
2.2.2. Precipitação	28
2.2.3. Umidade Relativa	28
2.2.4. Irradiação Solar	29
2.2.5. Tipo de Solo	29
2.3 . Formas de Utilização do Bambu	29
2.4. Principais Agentes Deteriorizadores dos Bambus	36
2.4.1. Agentes Físicos	36
2.4.2. Agentes Químicos	36
2.4.3. Agentes Biológicos	37

2.5. Métodos Para Impedir A Deterioração Dos Bambus	39
2.5.1. Alteração ou Remoção de Substancias Presentes no Bambu	39
2.5.2 Controle da Umidade do Bambu	40
2.5.3 Controle Biológico	41
2.5.4 Uso de Biocidas	41
2.6 Métodos Convencionais Para Tratamento de Bambu	42
2.6.1 Pré – Tratamentos	42
2.6.1.1 Idade de Corte	42
2.6.1.2 Cura do Bambu	45
2.6.1.3 Secagem do Bambu	46
2.7 Métodos de Tratamento	47
2.8. Características Macro e Microestrutura do Bambu	50
2.9. Propriedades Mecânicas do Bambu	60
2.9.1. Resistência à Compressão Perpendicular às Fibras	61
2.9.2. Resistência a Compressão Paralela as Fibras ou Axial	63
2.9.3. Resistência à Tração Paralela as Fibras	65
2.9.4 Resistência ao Cisalhamento	68
2.9.5. Resistência a Dureza	70
2.9.6. Resistência a Flexão Estática	71
2.10. Propriedades Físicas do Bambu	73
2.11. – Utilização do Bambu na Construção Civil	75
2.12 – Utilização do Bambu Como Reforço no Concreto	81
CAPÍTULO 3 - Materiais e Método	86

3.1. Materiais	86
3.1.1 Bambu	86
3.1.2. Concreto	87
3.2 Metodologia	88
3.2.1. Interação Bambu – Concreto	88
3.2.1.1. Preparação dos Corpos de Prova	88
3.2.1.2. Ensaio e Instrumentação	91
3.2.2. Vigas Reforçadas com Bambu	93
3.2.2.1. Confeção das Vigas e Preparação das Barras	93
3.2.2.2. Ensaio Experimental	95
CAPÍTULO 4 – Resultados e Discussão	100
4.1. Ensaio de Aderência	101
4.1.1. Comportamento Geral	101
4.1.2. Tensão de Aderência	105
4.1.3. Tensão de Aderência de Cálculo	107
4.2. Vigas de Concreto-Bambu	109
4.2.1. Comportamento Carga X Flecha	114
4.2.2 Carga de Primeira Fissura	123
4.2.3. Comportamento na Ruptura	128
CAPÍTULO 5 – Considerações Finais.....	134

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: <i>Phillostachys Nigra</i>	10
Figura 2: Rizoma dos <i>Bambus</i>	13
Figura 3: Detalhe de um rizoma de um bambuzal alastrante	13
Figura 4: Formação a partir do rizoma de raízes ou gemas	14
Figura 5: Bambuzal do tipo leptomorfo	15
Figura 6: Bambuzal do tipo paquimorfo	15
Figura 7: Folhas novas de bambu	16
Figura 8: Detalhe da folha de bambu	17
Figura 9: Folha Caulinar	17
Figura 10: Raízes de bambu	18
Figura 11: Diferentes tipos de colmos	19
Figura 12: Outras variedades de colmos	19
Figura 13: Bambu de colmos cheios	20
Figura 14: <i>Bambus</i> com colmos extremamente altos	21
Figura 15: <i>Bambus</i> com colmos com cerca de 50 cm	21
Figura 16: Foto da sessão transversal do <i>Dendrocalamus giganteus</i>	22
Figura 17: Variação da concentração de fibras em relação à região do colmo	22
Figura 18: Diagrama de Crescimento	23
Figura 19: Colmos de bambu para serem vendidos em loja de material de construção no Vietnã	23
Figura 20: Variação do diâmetro com a altura	24
Figura 21: Vistas do diafragma interno do bambu	24

Figura 22: Florescência de Bambusa tuldooides.....	25
Figura 23: Semente de bambu.....	26
Figura 24: Galhos de bambu em uma reprodução.....	26
Figura 25: Localização dos Bambuzais.....	27
Figura 26: Avião Pilotado por Santos Dumont.....	30
Figura 27: Asa delta construída totalmente de bambu.....	31
Figura 28: Carvão de Bambu.....	32
Figura 29: Orquestra em que todos os instrumentos são de bambu.....	33
Figura 30: Moveis de Bambu.....	34
Figura 31: Pratos típicos que utilizam brotos de bambu.....	36
Figura 32: Principais Insetos que atacam os bambus.....	38
Figura 33: Dinoderus Minutos.....	38
Figura 34: O ataque do Dinoderus reduz o bambu a pó.....	39
Figura 35: Secagem dos Bambus.....	40
Figura 36: Maneira correta de se fazer o corte no bambu.....	43
Figura 37: Bambu jovem.....	44
Figura 38: Bambu maduro.....	44
Figura 39: Bambu seco.....	45
Figura 40: Secagem do Bambu ao ar livre.....	47
Figura 41: Pressão hidrostática.....	48
Figura 42: Cura do Bambu por Imersão.....	49
Figura 43: Fornos artesanais para tratamento do bambu.....	49
Figura 44: Bambus tratado por fumigação de forma industrial.....	50

Figura 45: Como de bambu cheio.....	51
Figura 46: Imperfeições na seção transversal do bambu.....	52
Figura 47: Colmo de bambu.....	52
Figura 48: Detalhe do nó de bambu.....	53
Figura 49: Direções principais do bambu.....	54
Figura 50: Microestrutura do bambu.....	55
Figura 51: Fibras de Bambu.....	56
Figura 52: Variação do conteúdo de fibras ao longo do colmo com a idade.....	57
Figura 53: Variação do diâmetro externo ao longo do comprimento dos colmos.....	58
Figura 54: Variação da espessura de parede para uma mesmo espécie.....	59
Figura 55: Variação da espessura da parede ao longo do comprimento dos colmos de bambu.....	59
Figura 56: Variação do comprimento internodal de colmos de bambu.....	60
Figura 57: Ensaio de compressão perpendicular às fibras.....	62
Figura 58: Característica do corpo de prova para ensaio por Lima Jr.....	63
Figura 59: Procedimento de ensaio à compressão realizado por Lima Jr.....	64
Figura 60: Características dos corpos de prova ensaiados à tração por Lima Jr.....	66
Figura 61: Tipo de equipamento para ensaio de tração.....	67
Figura 62: Corpo-de-prova para ensaio de cisalhamento.....	69
Figura 63: Ensaio de cisalhamento para madeiras realizado por Lima Jr.....	69
Figura 64: Piso de bambu.....	71
Figura 65: Característica do ensaio de flexão estática.....	71
Figura 66: Ensaio de flexão em colmos inteiros de bambu.....	72

Figura 67: Sequência do ensaio de flexão em laminados de bambu realizados na Universidade Nacional da Colômbia.....	73
Figura 68: Ponte de bambu feita por índios colombianos.....	75
Figura 69: Ponte de bambu em Tierrdentro.....	76
Figura 70: Rodamuinho feito de bambu.....	77
Figura 71: Andaimos de Bambu.....	77
Figura 72: Armação de bambu.....	78
Figura 73: Colocação da manta asfáltica.....	79
Figura 74: Colocação da malha metálica.....	79
Figura 75: Colocação do reboco.....	80
Figura 76: Casa terminada.....	80
Figura 77: Construções com bambu.....	81
Figura 78: Aparência do concreto.....	88
Figura 79 – Características dos corpos-de-prova.....	91
Figura 80 – Detalhes do ensaio de arrancamento.....	92
Figura 81: Detalhe dos pinos cravados na armadura de tração.....	93
Figura 82: Armadura de tração reforçada com pinos de aço e pinos de bambu.....	94
Figura 83: Armadura de tração reforçada com pinos de aço colocada na forma para ser concretada.....	94
Figura 84: Geometria da viga.....	96
Figura 85: Laje de reação para ensaios do Laboratório de Modelos Reduzidos e equipamentos de aplicação de carga.....	96
Figura 86: Detalhe dos equipamentos de aplicação de carga.....	97

Figura 87: Detalhe do sistema de aquisição de dados.....	98
Figura 88: Extensômetros utilizados para se obter as deformações do concreto.....	99
Figura 89: Diagramas tensão de aderência vs. deslocamento relativo bambu-concreto para os diversos corpos-de-prova.....	103
Figura 90: Diagramas tensão de aderência vs. deslocamento relativo bambu-concreto para os diversos corpos-de-prova.....	104
Figura 91: Aparência das varetas de bambu após o teste de arrancamento.....	104
Figura 92: Redução da área da seção transversal provocada pela cravação dos pinos.....	110
Figura 93: Gráfico força x deslocamento.....	110
Figura 94: Aumento da rigidez com a utilização dos pinos.....	112
Figura 95: Colapso em regiões da viga que possuía nó.....	113
Figura 96: Colapso em regiões da viga que continha pino.....	113
Figura 97: Detalhe da fissuração provocada pelos pinos.....	114
Figura 98: Gráficos Força x Deslocamento teórico e experimental.....	117
Figura 100: Carregamento pontual, transformado em um distribuído.....	120
Figura 101: Concentração de tensões provocadas pelos pinos	123
Figura 102: Redução da secção devido a cravação dos pinos	123
Figura 103: Modelo de carregamento aplicado nas vigas.....	124
Figura 104: Boa aderência entre bambu e concreto	125
Figura 105: Início de fissuração da viga	126
Figura 106: Detalhe da fissuração ocorrida na viga	127
Figura 107: Domínios de estado limite último de uma seção transversal	128
Figura 108: Aspecto das vigas após ensaio	129

Figura 109: Modelo de calculo 130

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Composição Química dos Bambus.....	37
Tabela 2: Peso específico ρ e desvio padrão correspondente $\delta\rho$ (KN/m ³).....	74
Tabela 3 – Tensões de aderência dos corpos-de-prova (MPa) obtidos nos ensaios.....	105
Tabela 4 – Tensões de aderência para o bambu e comparação com o aço liso (MPa).....	108
Tabela 5: Carregamentos distribuídos equivalentes à flecha de L/500 teóricos e momento de ruptura experimental	121
Tabela 6: Cargas experimentais e teóricas de fissuração	124
Tabela 7: Momentos experimentais e teóricos de fissuração	126
Tabela 8: Transformação das duas cargas concentradas em carga distribuída	132

LISTA DE SIMBOLOS E ABREVIACÕES

δ_1 → Flecha da viga com carregamento pontual

δ_2 → Flecha da viga com carregamento distribuído

τ_{bm} → é a tensão de aderência média,

$(EI)_{eq}$ → Rigidez a flexão equivalente

1PACA → corpo de prova com um pino de aço e com aderência na região central

1PASA → corpo de prova com um pino de aço e sem aderência na região central

1PBCA → corpo de prova com um pino de bambu e com aderência na região central

1PBSA → corpo de prova com um pino de bambu e sem aderência na região central

1PCCA → corpo de prova com um pino de concreto e com aderência na região central

1PCSA → corpo de prova com um pino de concreto e sem aderência na região central

2PACA → corpo de prova com dois pino de aço e com aderência na região central

2PBCA → corpo de prova com dois pino de bambu e com aderência na região central

2PCCA → corpo de prova com dois pino de concreto e com aderência na região central

a → distancia do ponto de aplicação de carga ao apoio

Ab → Área da armação de bambu

As → Área da seção transversal da armadura longitudinal de tração

b → Base da viga

c → Distancia da carga P/2 até o apoio

E → Módulo de elasticidade do concreto

E_c → Módulo de elasticidade secante

E_c → módulo de elasticidade do concreto

E_s → módulo de elasticidade do aço, ou bambu

f_{bf} → Resistência a tração de calculo do bambu.

f_{ck} → Resistência característica do concreto

f_{ctf} → Resistência à tração do concreto na flexão

f_{ctkinf} → Resistência à tração inferior do concreto

f_{ctm} → Resistência media do concreto à tração direta

h → Altura total da viga

I → Momento de Inércia da seção

I_{II} → Momento de inércia da seção fissurada de concreto no estágio II

I_o → Momento de inércia da seção bruta de concreto antes da fissura

L → Comprimento do vão

M → Momento fletor

M_a → Momento fletor máximo na seção crítica do vão considerado

M_r → Momento de fissuração teórico

n → é o número de leituras e

n → Relação entre o módulo de deformação longitudinal do concreto e o módulo de deformação de bambu de armadura passiva

p → é um coeficiente estatístico que para o quantil de 5% é 1,645.

P → sendo a carga total aplicada

P_{ut} → Carga pontual aplicada pelo macaco hidráulico

q_{ut} → Carga distribuída equivalente

s → é o desvio-padrão da amostra,

SPCA → corpo de prova sem pino e com aderência na região central

W → Momento resistente da seção integra

y → Coeficiente de minoração da altura da seção comprimida no diagrama retangular

Y_t → Distância do centro de gravidade a fibra mais tracionada

y_t → Distância do centro de gravidade a fibra mais tracionada

α → constante que serve para compatibilizar as tensões

ϵ_{bf} → Deformação do bambu na flexão

ϵ_{cf} → Deformação do concreto na flexão

Φ → diâmetro dos ferros

RESUMO

O bambu é um vegetal de excelentes propriedades do ponto de vista da engenharia, e, vantagens como rápido crescimento e amadurecimento, baixo peso específico e alta resistência mecânica tornando-o um material com imenso potencial a ser explorado também nas construções rurais. Neste trabalho, apresenta-se uma ampla revisão sobre o bambu, dando-se informações sobre suas taxonomia, habitat, tratamentos, e suas diversas formas de utilização. Uma das formas de seu emprego é como material de reforço em vigas de concreto, substituindo as armaduras. Com este fim, um dos fatores citados como inconveniente é a interação concreto-bambu. Assim, estudou-se o problema da aderência através de ensaios de arrancamento, verificando-se o efeito da introdução de pinos nas varas de bambu. Foram testados pinos de aço e do próprio bambu, em diferentes quantidades no espaço internodal. Uma centena de corpos de prova foi ensaiada. Foram também estudadas oito vigas de concreto reforçadas com bambu e duas com aço para servirem de referência. Foram usadas varas sem pinos, com pinos de aço e com pinos de bambu. Foi verificado o momento de fissuração, o comportamento carga-deformação, o momento de ruptura, e feitas comparações entre valores teóricos e experimentais. Os resultados indicam que os pinos melhoram o comportamento das peças, porém para se ter uma maior capacidade de carga é necessário que seja usada uma taxa de reforço maior que as estudadas, por conta da redução da seção causada pelo furo.

ABSTRACT

The bamboo is a vegetable of excellent engineering properties and due to advantages as fast growth and ripening, low specific weight and high mechanical strength is a material with immense potential to be explored also in the rural constructions. In this work, a large revision on the bamboo is made, giving information on their taxonomy, habitat, treatments, and their several ways of use. One of the ways it can be employed is as reinforcement material in concrete beams, substituting steel bars. In this field, one of the factors mentioned as inconvenience is the interaction concrete-bamboo. Thus the problem of bonding was studied by pull out tests. The effect of the introduction of pins in the bamboo sticks was established. Pins of steel and also pins of bamboo, in different amounts in the internode of bamboo rods, were tested in a hundred of samples. Eight concrete beams reinforced with bamboo and two with steel, as reference, were tested in flexion. The bamboo rods were used without pins, with steel pins and with bamboo pins. Crack load, behavior load-deflexion, moment of rupture were obtained and comparisons among theoretical and experimental values were made. The results indicate that the pins improve the behavior of the pieces, however to have a larger load capacity it is necessary to use a larger amount of bamboo reinforcement, than that studied, due to the reduction of the section caused by the hole to put the pin.

Introdução

1

Capítulo

A construção de moradias e de instalações agrícolas dignas nas áreas rurais dos países em desenvolvimento é um problema sempre presente. No Brasil, particularmente na região Nordeste, a maioria das construções rurais encontradas são feitas com varas de vegetação local e com terra, construídas sem o mínimo de tecnologia, resultando em péssima aparência estética, baixa resistência às intempéries e grande número de fissuras, onde se alojam insetos transmissores de doenças.

Isto se deve, entre outros fatores, ao fato de que os materiais industrializados mobilizam vastos recursos financeiros consomem uma enorme quantidade de energia e requerem um processo centralizado de fabricação, o que torna proibitivo o seu custo para aplicação nas micro-propriedades de um povo quase sem renda. Assim, usa-se erradamente materiais nobres como a terra, a madeira, o bambu, por conta da falta de conhecimento sobre a

performance daqueles materiais. No entanto, com eles, a um custo relativamente baixo, pode-se obter construções belas e saudáveis.

A partir da década de 70, quando a idéia da energia barata desapareceu com as crises do petróleo, também na Engenharia surgiu a preocupação do emprego de materiais de baixo consumo energético. A produção dos materiais de construção tradicionais, como cimento, aço, alumínio, cerâmicas, etc, requer enorme quantidade de energia, cada vez mais cara e mais escassa. Por outro lado, os países em desenvolvimento possuem grande potencial de materiais locais ofertados pela natureza que poderiam substituir em muitos casos, o emprego dos materiais tradicionais. Assim, nos últimos anos, tem-se partido para o estudo desses materiais de construção hoje ditos *não convencionais*, porque, contrariamente aos materiais industrializados como aço e concreto, que já têm mais de um século de intensivas pesquisas nos quatros cantos da Terra, aqueles só recentemente começaram a ser estudados cientificamente e não dispõem ainda de normalização técnica bem estabelecida e difundida. .

Pela sua versatilidade, o bambu é um dos materiais mais antigos que tem sido utilizado pela humanidade. Seu uso na engenharia data de séculos A.C., na China, onde pontes suspensas foram construídas com cabos de colmos de bambu. A partir dessas pontes, estruturas treliçadas em construções como cúpulas, andaimes e coberturas tornaram-se usuais, principalmente nos países asiáticos. Técnicas de construção desenvolvidas na Índia neste período são até hoje utilizadas em países orientais como Tailândia, Taiwan e Indonésia. As diversas espécies de bambu permitem numerosas aplicações na atividade humana. Em países orientais, os bambus são empregados na construção de casas, móveis, cercas, pontes, utensílios domésticos, vasos para armazenamento de água, ladrilhos para piso, brinquedos, instrumentos musicais, produção de papel, etc. A eficiência deste material para a construção

civil é comprovada considerando a durabilidade das obras construídas pelos povos asiáticos. Em alguns países da América do Sul com abundância do material, como Colômbia, Peru e Equador, várias aplicações têm sido exploradas, principalmente na confecção de paredes, muros, andaimes e mesmo construções rurais. A Colômbia é o país da América Latina que mais emprega o bambu na construção, tanto em habitações populares como em instalações rurais.

O Brasil possui registros que mostram a eficiência do bambu. Nos últimos anos seu emprego vem ganhando importância econômica e espaço na construção civil. No meio rural está sendo utilizado em cercas, paredes, de pau a pique, tubulações para irrigação, etc. Construções de grande porte como casas, pousadas e lojas afirma a qualidade e beleza deste material.

Uma das vantagens da utilização do bambu como material de construção é o seu baixo consumo energético, ajudando a conservar os recursos naturais e proteger o meio ambiente. O bambu durante o processo de crescimento fornece oxigênio para o ar, enquanto que o cimento portland durante seu processo de fabricação lança gás carbônico na atmosfera.

No Brasil, ainda persiste o preconceito a respeito da utilização do bambu na construção civil. Isto se deve não só à idéia de miséria e pobreza associadas com as construções de taipa, onde às vezes está presente o bambu, que cria uma rejeição subconsciente das construções que tenham relação com o esses materiais, mas também ao desconhecimento, por parte da população e dos técnicos, das propriedades e potencialidades dos materiais de construção não convencionais. A ausência de maior número de centros de pesquisa, que desenvolvam tecnologias apropriadas com eles também contribuem para sua baixa utilização na construção civil.

No programa de Pós-graduação da em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande, este é o primeiro trabalho que trata do aproveitamento do bambu para construções rurais. Daí porque é feita uma significativa revisão bibliográfica sobre esse vegetal, descrevendo resumidamente sua constituição e suas potencialidades.

Das inumeráveis aplicações que tem o bambu como material de construção, seu uso em substituição ao aço no concreto armado é um dos que pode ter real aplicação em pequenas construções rurais. Assim este é o tema principal deste trabalho que foi fruto de uma parceria envolvendo as Universidades Federal de Campina Grande, Federal da Paraíba da Paraíba e a Universidade do Oeste do Paraná.

Esta dissertação é composta por cinco capítulos.

O primeiro é o de introdução.

No capítulo dois faz-se uma revisão bibliográfica sobre as propriedades do bambu, abordando as principais características físicas, químicas e mecânicas de varias espécies encontradas na literatura.

No capítulo três descreve-se a metodologia utilizada para a determinação das propriedades físicas e mecânicas do bambu. São também apresentas as metodologias para a realização dos ensaios de arrancamento e os de flexão de vigas.

O capítulo quatro apresenta os resultados das caracterizações físicas e mecânicas do bambu *Dendrocalamus Giganteus* bem como o comportamento da interação bambu concreto. Também se discute o comportamento à flexão de vigas armadas com varas de bambu e com diferentes tipos de conectores.

O capítulo cinco aborda as conclusões e sugestões para trabalhos futuros.

Revisão Bibliográfica

2

Capítulo

2.1.TAXONOMIA DO BAMBU

Taxonomia é a ciência da classificação. Na botânica ela estuda a classificação e nomenclatura das plantas.

Segundo os princípios da taxonomia botânica, todas as plantas pertencem a uma dada espécie, estas estão reunidas em gêneros, estes agrupados em famílias e estas por sua vez em ordens que estão dispostas em classes.

Um dos maiores grupos que hoje domina a flora terrestre é a dos Angiosperma. Nele estão incluídas de um modo geral, as plantas que produzem flores e podem, portanto formar frutos que dão sementes. São conhecidas perto de 344 famílias de angiospermas, agrupadas em duas classes; as Monocotiledôneas e as Dicotiledôneas que compreendem mais de 200 espécies. Na classe Monocotiledânea estão incluída as angiospermas que desenvolvem no embrião da semente apenas uma folha cotiledonar. Este cotilédone durante a germinação

serve de órgão absorvente transferindo as reservas para o embrião em desenvolvimento. Esta classe compreende 14 ordens entre as quais (tem-se) a ordem Graminales, que compreende apenas uma família: Gramínea. Ela é uma das maiores famílias das angiospermas e provavelmente a de maior importância para o Homem desde que então incluídas nela o trigo, o milho, a cevada e outras que fazem parte de sua alimentação.

Os bambus são, em sua maioria, gramíneas gigantes e lenhosas que desenvolvem vários colmos por ano, compridos e de grande diâmetro, com um belo acabamento natural. Os colmos são ôcos e separados internamente por septos transversais e externamente pelos nós. Ao longo de sua vida, uma (touceira) de bambu pode produzir até 15 quilômetros de tronco útil [20].

Ainda não se conta com uma taxonomia adequada e completa do bambu, em geral se reconhecem entre 60 e 90 gêneros que somam entre 1.100 e 1.500 espécies.

Essas dificuldades provem do fato que os bambuzais florescem e tem frutos dependendo da espécie em intervalos que fariam de 30, 60 ou ate mesmo 100 anos, e a identificação das espécies vegetais é feita com base nas flores e nos frutos.

De acordo com seus hábitos de florescimento, existem três tipos de bambu: (i) aqueles que florescem anualmente ou quase, e.g., *Arundinaria* spp. Na Índia e *Schizostachium brachycladum* na Tailândia; (ii) aqueles que florescem gregariamente e periodicamente; (iii) aqueles que florescem irregularmente ou não florescem. O hábito de florescimento dos gêneros *Bambusa* e *Dendrocalamus* nas regiões tropicais da Ásia e do gênero *Phyllostachys* entre outros no Japão pertence aos tipos (ii) e (iii). *P. edulis* (Mosô) floresce esporadicamente, e ocorre em pequenas áreas ou poucas florestas. Florescimentos periódicos e gregários

ocorrem em ciclos; os ciclos são mais ou menos constantes para uma espécie e um determinado local, mas variam em regiões diferentes [20].

Geralmente se acredita que o florescimento do bambu resulta em sua morte. Subseqüente ao florescimento, os bambus demonstram os seguintes comportamentos de mortalidade:

- O florescimento não resulta na morte das partes aéreas e subterrâneas, exemplo, algumas espécies de *Arundinaria* e *Phyllostachys*, espécie *Bambusa atra*.
- O florescimento resulta na completa morte das partes aéreas, os rizomas sobrevivem e a planta se regenera, exemplo, *Arundina amabilis*, *A. simonii*, *Phyllostachys nidularia*.
- O florescimento resulta na completa morte das partes aéreas e subterrâneas e a regeneração é possível apenas através das sementes, exemplo, *Melocanna bambusoides*, *Thyrostachys oliveri*, *Bambusa arundinacea*, *B. tulda*.

Uma das espécies de bambu mais conhecida no mundo é *Phyllostachys aurea*, que é a que melhor tem-se adaptado ao clima temperado devido a seus rizomas leptomorfos. Esta espécie pertence à família poacea, sub família *Bambusoideae*, tribo *Bambuseae*, subtribo *Shibataeinae*, gênero *Phyllostachys*, espécie *aurea*. É nativo da China, porém é encontrado também em Taiwan, Japão, América Central e América do Sul. Sua altura atinge de 6 a 12 m e diâmetro entre 3 e 7 cm. Os colmos são eretos, verdes quando jovens, tendendo a amarelo esverdeado com o tempo. Na base, os internós são menores que na parte intermediária e no topo[23].

O bambu é o grupo mais diverso de plantas da família das gramíneas, e uma das mais primitivas subfamílias. É composto por rizomas, colmos (caules), ramos, folhas,

flores e frutos. Pode apresentar colmos herbáceos ou lenhosos e existem dezenas de Gêneros e Espécies diferentes. As suas alturas podem variar de alguns centímetros a 25 ou 30 metros. Caracteriza-se por um colmo lenhoso, de ramagem complexa, com um sistema de rizomas geralmente robusto e floração não freqüente.

O bambu cresce como uma comunidade, não como um indivíduo isolado. Quando um rebento (denominado turião) emerge do rizoma, a sua estrutura e o seu diâmetro já vêm definidos, com os nós empilhados e compactados. Com o desenvolver do turião, passa-se algo muito semelhante ao “esticar” de um telescópio, com os entrenós a alongar-se gradualmente, até que o colmo atinja a sua altura definitiva. O ritmo a que se passa este fenômeno bate todos os recordes de velocidade, com algumas espécies (como a *Phyllostachys pubescens*) que pode chegar a crescer um metro por dia. O que significa que, entre o emergir do colmo e o final do crescimento do colmo (o que acontece por volta dos 20 metros) passam-se apenas oito semanas [5].

As folhas só surgem depois de concluída esta fase de crescimento, na qual o turião se “alimenta” das reservas que se encontram no rizoma, ali depositadas pelas folhas dos colmos adultos, para que os novos rebentos possam desenvolver-se. Este processo é então retomado: as novas folhas vão produzir alimento, que será depois depositado para o retomar de um novo ciclo. Os colmos mais velhos podem passar depois “à reforma”, produzindo alimento apenas para si próprios, não para as reservas. Existe, portanto, uma certa hierarquia e uma estrutura social bem definida [5].

Embora o bambu pertença à família das gramíneas, algumas características diferem essa planta do restante da família, em muitas espécies os bambus são em geral plantas grandes e robustas. Suas folhas dos bambus também diferem do restante das gramíneas, a

existência de uma pseudopecíolo é uma característica dos bambus. Além disso é uma cultura de característica perene; os rizomas de uma maneira geral se apresentam bem desenvolvidos; os colmos são sempre lignificados e fortes; o período de floração pode demorar muitos anos.

A subfamília *Bambusoideae* compreende duas ordens: as *Olyreae* que engloba todos os “bambus herbáceas”, e não apresentam as características citadas anteriormente; a outra ordem é a *Bambuseae*, que são os bambus verdadeiros ou simplesmente bambus.

Os bambus são encontrados em altitudes que variam de zero até 4800 metros. Os tons de cor são variados como apresentado na figura 1: preto, vermelho, azul, violeta, tendo o verde e o amarelo como principais. Resistem a temperaturas abaixo de zero (principalmente os leptomorfos ou 'runners') e temperaturas tropicais (principalmente os paquimorfos ou 'clumpers'). Crescem como pequenas gramíneas ou chegam a extremos de 40 metros de altura. São “parentes próximos” das relvas, do trigo, do centeio, do milho, do arroz e da nossa tradicional cana “*Arundo donax*” [5].



Figura: 1: *Phillostachys Nigra* (site: Bambu Brasileiro)

Geralmente os bambus estão associados às culturas orientais, embora existam muitas espécies nativas na América e na África. Estima-se que na América existam cerca de

21 gêneros e 345 espécies que se localizam no sul dos Estados Unidos, no México em toda América Central, e do Sul, em algumas ilhas do Caribe e até o sul do Chile.

O local de maior concentração de bambus nativos e variedades nas Américas esta situado no sul do estado da Bahia no Brasil com um total de 22 gêneros dos quais cinco são nativos. Segue em diversidade à parte sul da América Central na região compreendida entre Panamá e Costa Rica com 21 gêneros, embora possuindo pouquíssimas espécies nativas.

No Brasil existem cerca de 60 espécies nativas, a maioria delas de característica herbácea. As maiores e de porte arbóreo, denominadas popularmente de “tabocas” são dotadas de espinhos e ocorrem em quase todo o país em áreas abertas ou sob ditúrbios. A maioria pertence ao gênero *Guadua* e raramente são cultivadas por aqui. Quase todos os bambus cultivados no país foram introduzidos da Ásia no século passado.

No Brasil existem muitas espécies nativas e exógenas (não-nativas). O bambu da espécie *Bambusa vulgaris* é muito espalhado pelo país, porém é originário da China, e possui colmos grossos e de cor verde. Uma variação desta espécie é a *Bambusa vulgaris* "vittata", também chamado de "bambu brasileiro", ou "verde amarelo", e possui grande apelo estético. O gênero *Bambusa* possui apenas bambus de rizomas paquimorfos, ou seja, de colmos bem juntos. O gênero *Bambusa* é usado como polpa de papel além de fonte de bebida alcoólica.

2.1.1. MORFOLOGIA

A morfologia é a parte da botânica que estuda a estrutura das plantas.

A estrutura do bambu consiste no sistema subterrâneo de rizomas, os colmos e os galhos e as folhas. Todas estas partes salvo as folhas são formadas do mesmo princípio;

uma série alternada de nós e entrenós. Com o crescimento do bambu, cada novo entrenó é envolvido por uma folha caulinar protetora, fixada ao nó anterior no anel caulinar. Os nós são massivos pedaços de tecido, compreendendo o anel nodular, o anel da bainha e geralmente uma gema dormente. Estas gemas são o local de emergência do novo crescimento segmentado, rizoma, colmo ou galho.

2.1.2 RIZOMAS

Os rizomas dos bambus são muitos característicos. Os bambus das regiões tropicais possuem geralmente rizomas alastrantes, como mostrado nas figuras 3 e 4 que se estendem por regiões às vezes perfeitamente alinhadas antes de dar origem a um novo colmo. O rizoma também pode gerar outros rizomas e formar uma autentica malha subterrânea.

Outros bambus têm rizomas toucentes que dão lugar a novos colmos muito próximos uns dos outros fazendo com que a extensão da touceira seja muito reduzida. Em alguns casos em regiões muito frias os rizomas alastrantes podem se converter em rizomas toucentess devido às condições climáticas, por necessitarem mais de calor na época de seu desenvolvimento que ocorre no verão ou no outono.

Os rizomas possuem uma importância fundamental, pois é neles que ficam armazenados os nutrientes, que logo são distribuídos ao restante da planta, sendo um elemento básico para a propagação do bambu, que se efetua de modo assexuado por ramificação dos rizomas como apresentado nas figura 2 e 3.



Figura 2: Rizoma dos. Bambus



Figura 3: Detalhe de um rizoma de um bambuzal alastrante

As raízes crescem em forma de feixes ao redor dos nós existentes nos risomas e as vezes elas também crescem nos nós das partes aéreas do colmo no caso das espécies entouserantes. São muito finas porem podem penetrar profundamente a procura da água que o bambuzal necessita para o seu desenvolvimento como apresentado na figura 4.

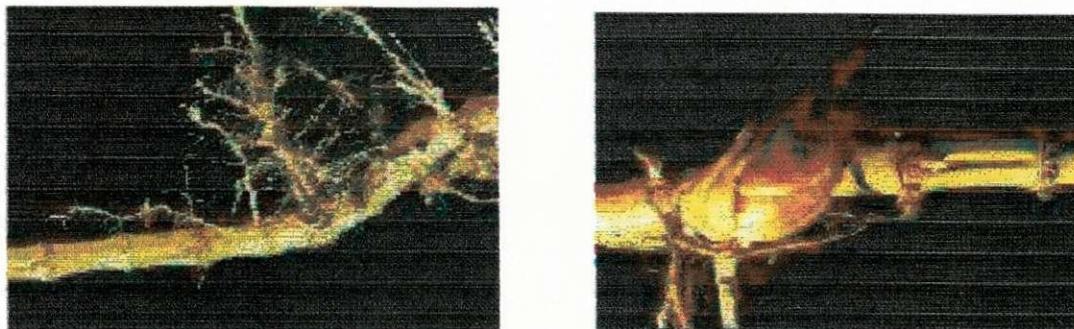


Figura 4: Formação a partir do rizoma de raízes ou gemas

Os bambus podem ser divididos basicamente em seis tipos diferentes, conforme seus rizomas, sendo os principais paquimorfos, leptomorfo e anfipoidal.

Leptomorfos ou Alastrantes: Apresentam rizomas alongados e finos, tendo os entrenós longos e espaçados como apresentado na figura 5. A ponta muito dura geralmente está orientada horizontalmente. Os colmos são mais grossos que o rizoma. Algumas vezes a ponta do rizoma pode tornar-se um novo colmo. Crescem lateral e radialmente, afastando-se linearmente uns dos outros. São encontrados em geral nas espécies de climas temperados, como no gênero *Phyllostachys*.



Figura 5: Bambuzal do tipo leptomorfo

Paquimorfos ou Entouceirantes: Com forma de bulbos, possuem entrenós compactos e muito curtos. A ponta é orientada para cima e dela sai um colmo mais fino que o bulbo. Crescem afastando-se muito pouco uns dos outros. Crescem lateral e radialmente. Podem ter pescoços curtos, médios ou longos como apresentado na figura 6. Encontrados em espécies tropicais, como as do gênero *Bambusa*, espécie *Dendrocalamus*.



Figura 6: Bambuzal do tipo paquimorfo (site: Imbar)

Anfipoidal ou Intermediário: Caracterizam-se por rizomas que apresentam ramificação combinada dos dois grupos principais numa mesma planta. A este grupo pertencem gêneros como o *Chusquea*, ao qual correspondem grande número de espécies desenvolvidas nas zonas montanhosas da Colômbia [28].

Os bambus do tipo anfipoidal distinguem-se também por possuírem os rizomas que apresentam uma ramificação combinada dos dois grupos principais anteriormente descritos.

2.1.3. FOLHAS

As folhas dos bambus são geralmente verdes, terminando com uma ponta muito semelhante a uma lança, por isso são chamadas folhas lanceoladas como apresentado nas figuras 7 e 8. Estudos indicam que as folhas do bambu produzem em media quatro quilos de biomassa por metro quadrado por ano transferindo nutrientes para o solo e para as demais plantas que o rodeiam.

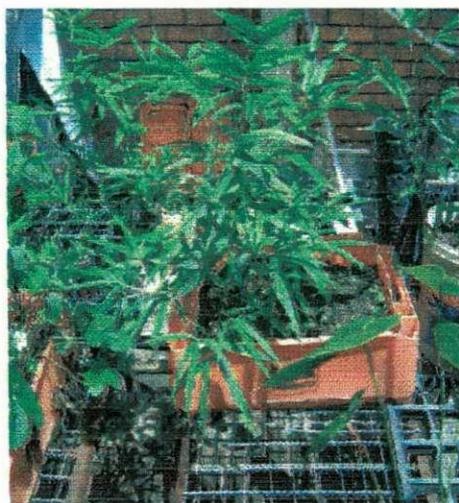


Figura 7: Folhas novas de bambu



Figura 8: Detalhe da folha de bambu

Os bambus também possuem um outro tipo de folhas que são as caulinares, elas cobrem o colmo desde o seu nascimento até o seu amadurecimento como apresentado na figura 9, e são providas de pequenos pelos irritantes que tem como função defender a proteger a planta de agressores.

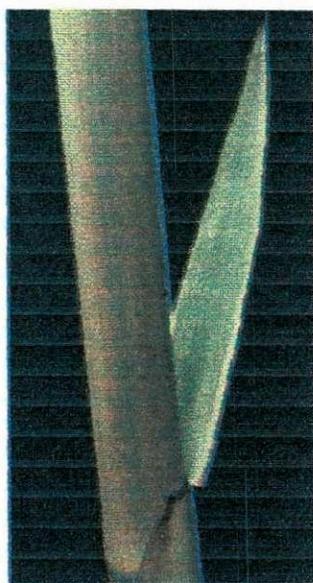


Figura 9: Folha Caulinar (Foto: Paul Starosta)

As folhas só surgem depois de concluída a fase de crescimento. Assim o turião se “alimenta” das reservas que se encontram no rizoma, aí depositadas pelas folhas dos colmos adultos, para que os novos rebentos se possam desenvolver. Este processo é então retomado: as novas folhas vão produzir alimento, que será depois depositado para o retomar de um novo ciclo. Os colmos mais velhos podem passar depois “à reforma”, produzindo alimento apenas para si próprios, não para as reservas. Existe, portanto, uma certa hierarquia e uma estrutura social bem definida [5].

2.1.4. RAIZES

As características das raízes dependem muito do tipo de solo no qual estão inseridas, elas tem uma espessura por volta de cinco milímetros podendo algumas alcançar até 1,5 metros de profundidade enquanto as demais se desenvolvem na horizontal como apresentado na figura 10.

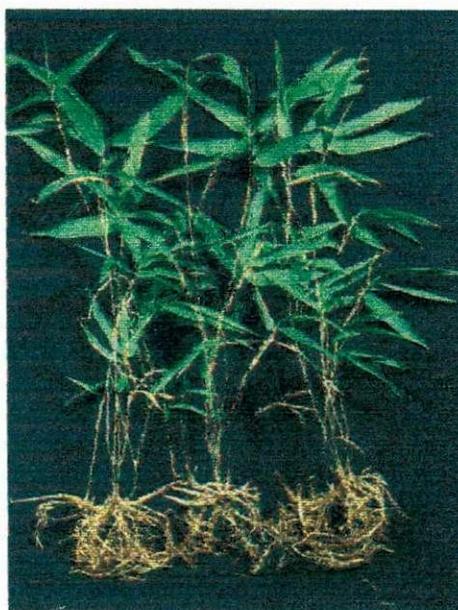


Figura 10: Raízes de bambu

2.1.5 COLMOS

Os colmos são as parte que mais facilmente distingue uma espécie de outra, por terem tamanhos, diâmetros, cores e texturas diferenciadas.

Os colmos diferem segundo a espécie em comprimento, diâmetro e espaçamento dos nós como apresentado nas figuras 11 e 12. Caracterizando-se por terem formas cilíndricas e entrenós geralmente ocos, embora existam bambus cheios como

apresentado na figura 13 são separados transversalmente por tabiques ou nós que lhe conferem maior rigidez.

São de interesse para a engenharia:

- O comprimento do Colmo;
- O diâmetro do Colmo;
- A espessura da parede do Colmo;
- A distancia entre os nós (Internódio ou distancia internodal)

Essas características dependem de inúmeros fatores, entre os quais a espécie, o tipo e a condição do solo, o manejo do bambuzal, etc.

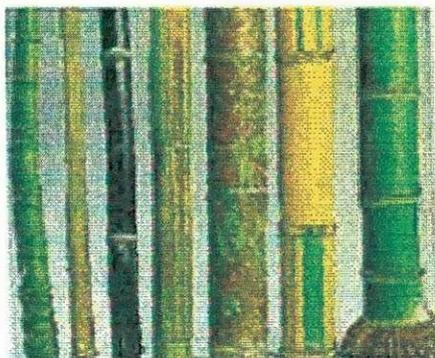


Figura 11: Diferentes tipos de colmos



Figura 12: Outras variedades de colmos

Depois de totalmente amadurecido, comumente até os seis anos, a resistência começa a decair na medida em que o talo vai secando, começando pela ponta ganhando uma cor amarela até a sua destruição que acontece antes de uma ano após o aparecimento das primeiras manchas amarelas [8].



Figura 13: Bambu de colmos cheios

Os colmos de bambu são pois, constituídos por nós e internódios que se alternam ao longo do comprimento dos colmos e ramos. Os nós conferem ao colmo maior resistência estrutural. Nas espécies entouceirantes de crescimento simpodial, os nós apresentam gemas primarias, que normalmente brotam e se desenvolvem em ramos, principalmente aquelas gemas localizadas nas regiões mais altas dos colmos. Para essas espécies de bambu entouceirantes, os nós com gemas primarias brotada e não brotadas podem ser utilizadas como meio de propagação.

Quanto ao porte dos colmos, os bambus oferecem uma grande variabilidade dimensional, indo desde a espécie *Arundinaria pusilla*, com colmos de 0,5 m de altura e 5 mm

a 7 mm de diâmetro, até a espécie *Dentrocalamus giganteus*, com colmos de até 30 m de altura e 20 cm a 30 cm de diâmetro [3]. Na figura 14 vê-se colmos de bambu de grande comprimento. Já na figura 15 tem-se colmos bem curtos, mostrando a diversidade extraordinária do bambu.

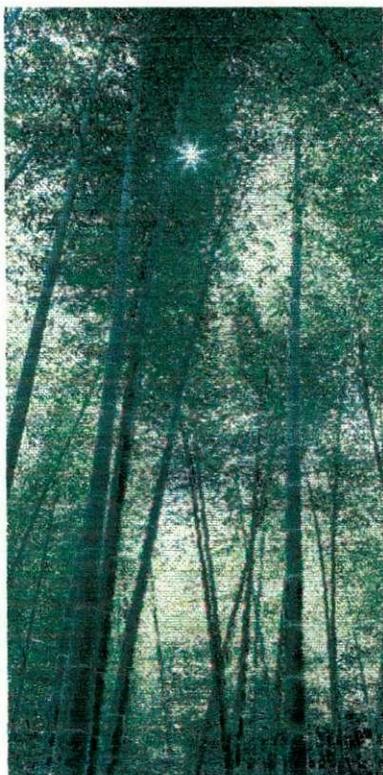


Figura 14: Bambus com colmos extremamente altos



Figura 15: Bambus com colmos com cerca de 50 cm

O colmo de bambu é constituído de fibras desuniformes distribuídas na seção transversal que podem chegar a ter alguns centímetros de comprimento, feitas de lignina e silício como apresentado na figura 16. A concentração é maior na parte periférica diminuindo em direção à zona interna onde é maior a concentração de amido como apresentado na figura 17.

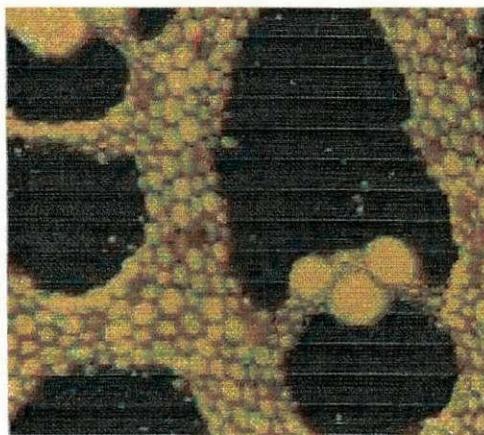


Figura 16: Foto da sessão transversal do *Dendrocalamus giganteus* (Site: Bambu Brasiliz)

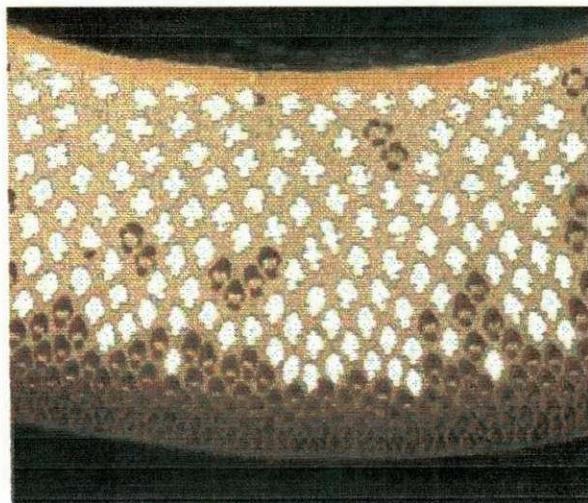


Figura 17: Variação da concentração de fibras em relação à região do colmo

Uma vez que o bambu brota do solo, o faz com o diâmetro Máximo que terá depois e, ao crescer, o diâmetro irá diminuindo proporcionalmente à altura como apresentado na figura 18.

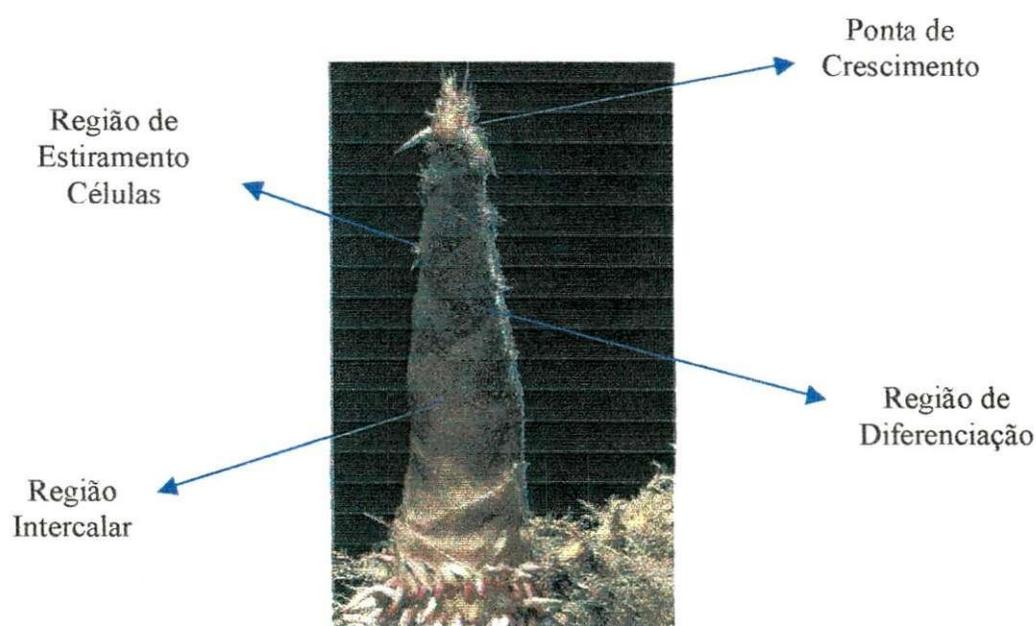


Figura 18: Diagrama de Crescimento (Foto: Paul Starosta)

Os colmos da bambu são a parte mais importante da planta para a engenharia. Macroestruturalmente pode-se dizer que os colmos de bambu são peças ocas em forma de tronco de cone, com maior diâmetro na base que no topo como apresentado nas figuras 19 e 20.



Figura 19: Colmos de bambu para serem vendidos em loja de material de construção no Vietnã



Figura 20: Variação do diâmetro com a altura

Nos nós internamente existem um diafragma que os veda integralmente como como apresentado na figura 21.

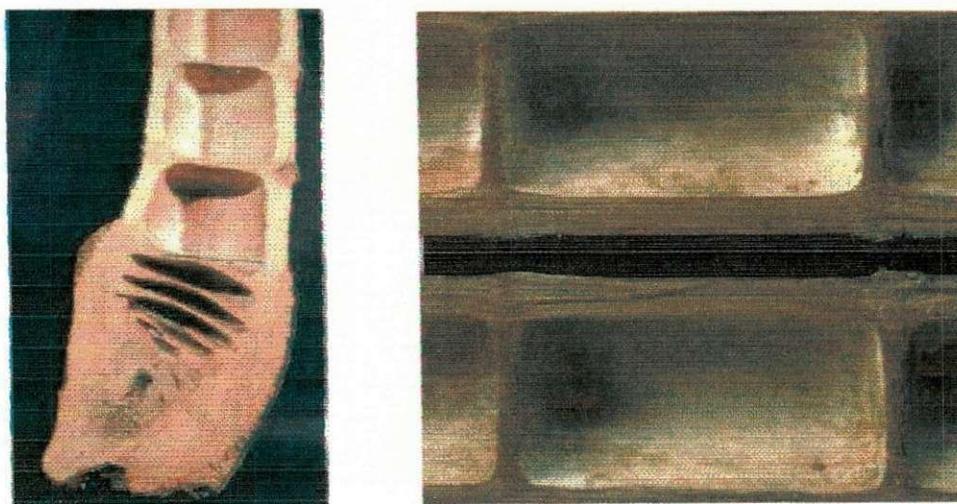


Figura 21: Vistas do diafragma interno do bambu (Site: Conbam)

2.1.6. FLORES

As flores dos bambus são muito pequenas, assemelhando-se a uma orquídea de cor violeta ou róseo como apresentado na figura 22, Diz-se que a coloração da rosa depende da alcalinidade do solo onde esta plantada, é uma flor de vida muito curta, dura em media 48 horas, estando localizadas nas partes terminais dos bambus ou no primeiro terço dos colmos.

As flores do bambu *Guadua* são consideradas flores imperfeitas por possuírem em um mesmo colmo as duas estruturas reprodutivas, uma masculina e uma feminina.

O bambu não possui um ciclo anual de floração. Na verdade, a floração do bambu ainda é um mistério para os botânicos. Podem ocorrer em longos períodos de 10, 50 ou até 100 anos.



Figura 22: Florescência de *Bambusa tuldooides*

2.1.7. SEMENTES

São semelhantes a um grão de arroz de coloração esbranquiçada, possuindo um interior muito claro, medindo aproximadamente de cinco a oito milímetros com uma espessura aproximada de três milímetros como visto na figura 23.



Figura 23: Semente de bambu

2.1.8 GALHOS

Os galhos se desenvolvem a partir das gemas existentes nos nós dos colmos como apresentado na figura 24. As diferenças entre os galhos e os colmos são sensíveis. Em alguns casos os galhos são circundados por espinhos de 10 a 15 cm. Os galhos são estruturas muito especiais, crescem solitários, quase sem a presença de folhas.

Os galhos selecionados a partir do terço médio superior da planta também podem ser usados para a reprodução de espécie.

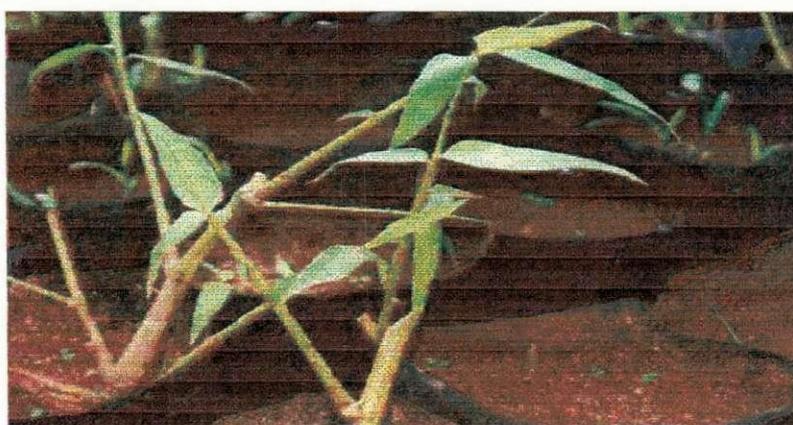


Figura 24: Galhos de bambu em uma reprodução

2.2. HABITAT

Embora se desconheça a região exata de origem do bambu, ele muito provavelmente é originário do sul da Ásia.

Não se conhecem as plantas inicialmente associadas ao bambu em bosques primitivos. Hoje crescem associadas a algumas grandes gramas em bosques e em margens de caminhos e rios, onde foram preferencialmente plantadas nos trópicos. Dentre as espécies arbóreas associadas aos bambus podemos citar a *Mangifera Indica*, *Andira Inermis*, *Spathodea Companulata* e a *Frythrina Fusca*.

Todos os continentes com exceção da Europa possuem espécies nativas de bambus. A distribuição natural dos bambus abrange grande parte da América como apresentado na figura 25. Encontram-se espalhadas espécies nativas desde a parte sul – oriental dos Estados Unidos até o centro da Argentina e Chile.

É na Ásia onde existe o maior numero de espécies, o bambu é nativo em toda a zona sul – oriental do continente incluindo suas ilhas. Na África desenvolve-se na zona tropical e na ilha de Madagascar. Na Oceania é nativo na Austrália, Nova Guine e Ilhas do Oceano Pacifico.



Figura 25: Localização dos Bambuzais

Os bambus se desenvolvem em lugares onde ele possa encontrar as seguintes condições:

2.2.1. TEMPERATURA

A maioria dos bambus se desenvolve em regiões com temperaturas que variam entre nove e trinta e seis graus centígrados, mas algumas espécies se desenvolvem em regiões da América Latina onde ocorrem nevascas, como por exemplos as montanhas do Chile e no Japão, sendo que a temperatura ótima para o desenvolvimento vegetativo deve variar entre vinte e vinte e seis graus centígrados.

2.2.2. PRECIPITAÇÃO

A quantidade mínima de chuva necessária para a sobrevivência dos bambus é de 760 milímetros por ano, enquanto que a quantidade máxima ainda não é conhecida, mas existem bambus que vegetam em regiões em que a precipitação anual passa dos 6350 milímetros anuais. A precipitação ideal seria entre 2000 e 2500 milímetros por ano.

2.2.3. HUMIDADE RELATIVA

A umidade relativa do ar é sem duvida um dos fatores que mais limitam a distribuição das espécies de bambu ao redor do mundo. Elas são muito sensíveis a umidades muito baixas, habitando lugares em que preferencialmente possuam umidade relativa superior a 75%.

2.2.4. IRRADIAÇÃO SOLAR

A radiação solar para o perfeito desenvolvimento dos bambus deve estar situada entre 1800 a 2000 horas/luz/ano, o que equivale a aproximadamente cinco ou seis horas de luz por dia.

2.2.5. TIPO DE SOLO

A maior parte dos bambus se desenvolve em solos silto - arenosos e silto - argilosos. Usualmente os bambus preferem solos bem drenados, mas podem ser também encontrados em solos úmidos. Não se conhecem bambus que se desenvolvam em solos salinos. Nas zonas tropicais as formações naturais se desenvolvem em solos negros e aluviais e raramente em solos lateríticos e solos roxos ou muito argilosos.

Os solos devem ser preferencialmente ricos em matéria orgânica e possuírem um pH ligeiramente ácido, entre 5,5 e 6.

Em relação à orientação e inclinação, os bambus têm bom desenvolvimento em terras com muita inclinação, mas não nas que recebem fortes raios de sol. Geralmente os lugares com orientação norte são preferidos nas regiões de clima moderados ou quentes e os de orientação sul nas regiões frias.

2.3. FORMAS DE UTILIZAÇÃO DO BAMBU

É milenar o uso que se faz do bambu. Sendo muito conhecido e utilizado na Ásia é elemento principal nas construções de casas, artesanato, utilidades em geral e estruturas diversas.

Os asiáticos fazem do bambu desde chinelos até suas próprias casas, camas, móveis, cestos, varas de pesca, vasilhas, colheres, esteiras, cercas de quintal, papel, etc.

O bambu também esteve presente nas grandes invenções da humanidade já que foi de bambu toda a estrutura do primeiro equipamento mais pesado do que o ar a levantar vôo, embora não se saiba exatamente quem foi ou autor desse feito, já que ele é reivindicado pelo brasileiro Santos Dumont como apresentado na figura 26 e pelo neo zelandez Ricard Pearse. Sabe-se apenas que em ambos os equipamentos as estruturas eram totalmente de bambu.

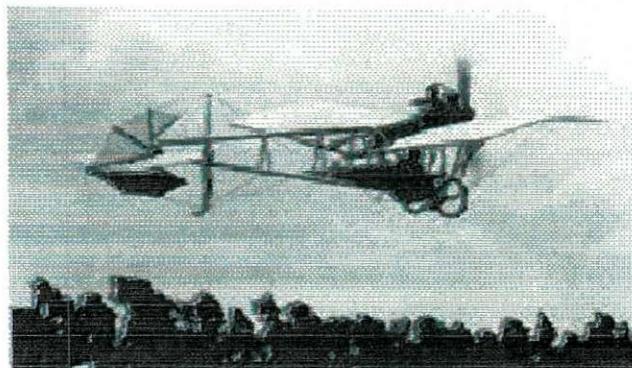


Figura 26: Avião Pilotado por Santos Dumont (Site: Bambu Brasileiro)

O bambu também esteve presente na descoberta da lâmpada, já que dentre os vários filamentos testados por Thomas Edson, o carvão de bambu foi o apresentou melhores características, sendo a partir daí usado por muito tempo.

Ele também tem sido utilizado também na construção de aeroplanos, ultraleves e asa delta como apresentado na figura 27 devido as suas características mecânicas e extrema leveza.



Figura 27: Asa delta construída totalmente de bambu

Durante o decorrer da nossa historia o bambu também foi utilizado para a confecção de armas de guerra, existem exemplares de lanças e flechas feitas do bambu longo e fino chamado "Yadake", ele também serviu para a fabricação das armaduras que protegiam os samurais, elas eram confeccionadas com “escamas” de bambu, uma outra utilização ligada as guerras é que ele também serviu de equipamento de tortura, devido ao seu rápido crescimento e grande resistência mecânica, o inimigo era amarrado sobre um broto de bambu, para que ele fosse crescendo ate atingi-lo terminando por o bambu perfurar o oponente.

O bambu também é utilizado como combustível e papel, substituindo o uso tradicional e, muitas vezes, irresponsável de madeiras importantes para os ecossistemas. O carvão de bambu é de excelente qualidade. O rápido crescimento da planta equilibra a relação entre o gás de carbono emitido e o gás de carbono absorvido.

Outra grande potencialidade da utilização do carvão de bambu é na depuração de rios. Devido a sua imensa superficie interna é um material ideal para purificação de águas. Experiências feitas em Hachioji-shi, Tóquio, constaram que o carvão de bambu colocado em

sacos no fundo de um canal doméstico de esgoto, fez desaparecer os maus cheiros em um mês, e 3 anos após, os peixes voltaram a aparecer, e até os vaga-lumes.

O carvão de bambu também é bastante utilizado na medicina alternativa já que um grama de carvão de bambu contém cerca de 200 m² de superfície de adsorção como apresentado na figura 28, sendo por isso utilizado como antitóxico e eliminador de flatulência intestinal, levando oxigênio a regiões recônditas das reentrâncias onde a fermentação pútrida e anaeróbia produzem gases como metano, gás sulfídrico e outras toxinas. Muitas propriedades medicinais estão ainda sendo estudadas no Japão.

Os pesquisadores explicam que os pequenos orifícios do carbono permitem absorção de compostos orgânicos voláteis tais como: sulfatos, metanos, benzenos e fenóis. Quando a umidade esta alta indicam os pesquisadores o carbono do bambu absorve umidade e quando o ar esta seco, age justamente ao contrario liberando umidade. Por isso esta sendo considerado uma material ideal para ser utilizado na confecção de filtros de ar, em refrigeradores e purificadores de ar.

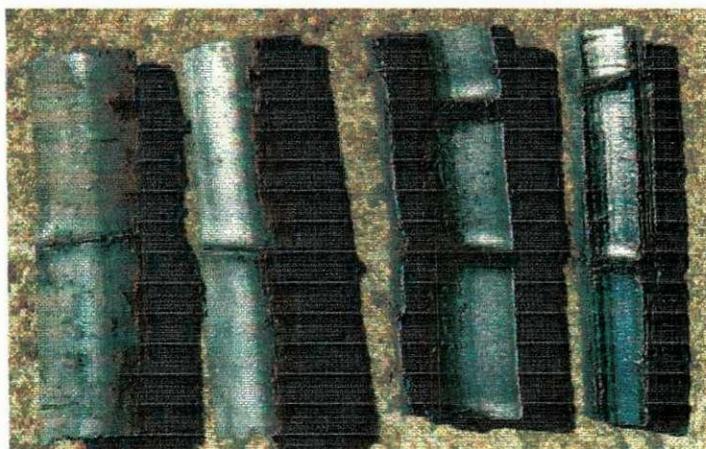


Figura 28: Carvão de Bambu (Site: Bambu Brasilis)

O papel é o uso industrial do bambu de maiores proporções do mundo. O bambu oferece seis vezes mais celulose que o pinheiro que mais rápido cresce. Suas fibras são muito resistentes e tem qualidade igual ou superior à fibra de madeira. O Brasil é o único país das Américas a ter uma indústria de papel de bambu, com uma grande plantação no Estado do Maranhão.

A construção de instrumentos musicais de bambu é também tradicional. Desde as baquetas de tambores japoneses até os saxofones atuais, as técnicas vão se desenvolvendo sem limites. Violões com tampo de bambu laminado, flautas andinas (zanpoñas), flautas transversas e xilofones são alguns dos instrumentos já feitos de bambu, a variedade de instrumentos é tão grande que existe uma orquestra sinfônica que só utiliza instrumentos de bambu como apresentado na figura 29.



Figura 29: Orquestra em que todos os instrumentos são de bambu

O bambu é reconhecidamente um excelente agente na contenção de encostas ameaçadas de erosão. Sua distribuição subterrânea de rizomas forma uma malha resistente que

reforça a estrutura natural do solo. Para obter bons resultados são utilizados os bambus de rizomas leptomorfos, que se espalham na área mais rapidamente.

Acredita-se que 15% da floresta amazônica vira móveis, uma situação que pode mudar com a popularização móveis de bambu como apresentado na figura 30, poupando madeiras nobres e em extinção como cedro, jatobá e mogno. Além disso, usuários garantem que o contato físico com a leveza e a textura orgânica de um móvel de bambu é repousante e harmoniosa. Para os budistas, o espaço entre os nós do bambu é um espaço de pureza, onde os deuses fazem sua morada e o seu som “afugenta maus espíritos”.

Com o avanço da economia produtiva o uso do bambu na fabricação de objetos foi aproveitado por empreendedores industriais. No ramo de mobiliário os balineses, filipinos, chineses e japoneses têm grande tradição, e é notório o volume de exportações desse setor. Fábricas chinesas produzem grande volume de utensílios culinários. No Brasil existem fábricas de palitos de bambu e de mobiliário, em geral chamados de móveis de cana-da-índia. Os designers estão cada vez mais descobrindo aplicações onde o bambu se encaixa perfeitamente, ainda mais com a crescente produção dos laminados de bambu.



Figura 30: Moveis de Bambu

Os brotos do bambu são muito apreciados pelos asiáticos, especialmente chineses, japoneses e indianos. Eles fazem parte de uma variedade incrível de pratos tradicionais, fritos, assados, fervidos e secos. O comércio e a produção de brotos em todas as formas é fonte de riqueza para nações como a China, Hong Kong e Vietnã. No ano de 1992 a China exportou cerca de 90 mil toneladas de brotos, e com isso recebeu o equivalente a aproximadamente 90 milhões de dólares. O Japão, nos anos de 1993 a 1997, importou de vários países 2.6 mil toneladas de brotos de bambu comestíveis, pagando cerca de 3 milhões de ienes. Na figura 31 vêem-se pratos que utilizam o bambu.

Mas os brotos de bambu não são apreciados apenas pelos humanos, existindo inúmeras espécies animais que elegeram o bambu como sua principal fonte de alimentação como é o caso do panda e do lêmure.

A atual medicina ocidental agora sabe dos ricos nutrientes encontrados no broto de bambu: proteína vegetal, fibras, aminoácidos, cálcio, fósforo, vitaminas B1, B2 e C. A medicina chinesa já sabe há mais tempo que o consumo regular de brotos de bambu ajuda na digestão, estimulando os movimentos peristálticos do estômago e intestinos, previne e cura doenças cardiovasculares e cânceres e abaixa a gordura e a pressão sanguínea. Aqui no Brasil a medicina popular prescreve chá de folhas de bambu contra a tosse.



Figura 31: Pratos típicos que utilizam brotos de bambu

2.4. PRINCIPAIS AGENTES DETERIORIZADORES DOS BAMBUS

2.4.1 AGENTES FÍSICOS

Os principais agentes físicos que podem ocasionar a deterioração do bambu são:

Fogo: é o principal responsável pela destruição de grandes peças de bambu.

Calor: O aumento da temperatura ocasiona transformações químicas e estruturais no bambu, conferindo-lhe um aspecto semelhante a carbonização.

Umidade: Peças de bambu situadas em locais de abundante umidade facilmente são atacados por fungos.

2.4.2 AGENTES QUÍMICOS

Ácidos fortes, bases fortes, óxidos de ferro e enxofre, dentre outros, quando em contato com o bambu ocasionam uma redução nas suas propriedades físico-químicas, sendo os responsáveis pela sua decomposição. O bambu torna-se normalmente amolecido, com aparência desfibrada em forma de cabeleira. Identifica-se o agente químico utilizando um papel indicador umedecido (Tornassol). Pressiona-se este contra a área afetada e caso o pH estiver entre 2,0 e 8,0 pode-se concluir que o agente é de origem química.

2.4.3 AGENTES BIOLÓGICOS

Da estrutura anatômica do bambu, podem-se destacar três principais componentes de fundamental interesse para a biodeterioração de madeiras, quais sejam: celulose, hemicelulose e lignina. Em segundo plano temos os materiais nitrogenosos, pectina,

amido, açúcares, etc. que se encontram em menor quantidade, conforme apresentado na tabela 1.

Tabela 1: Composição Química dos Bambus

Componentes	Bambus
% Celulose	55
% Lignina	25
% Hemicelulose, cinzas	20

Diversos organismos na natureza podem, de uma forma direta ou indireta, utilizar estes componentes do bambu como fonte de energia, ocasionando com isso a chamada biodeterioração da madeira. Estes organismos são chamados “organismos xilófagos”.

Os principais agentes biológicos causadores da maioria dos danos e perdas aos bambus são os: insetos e fungos, onde vemos alguns exemplos deles na figura 32.



Figura 32: Principais Insetos que atacam os bambus (Site: Conbam)

No Nordeste Brasileiro existem insetos particularmente vorazes como é o caso do *Dinoderus Minutos* como apresentado na figura 33 conhecido como broca ou caruncho do bambu, esse inseto tem a característica de atacar apenas os bambus secos, não atacando os bambus verdes.

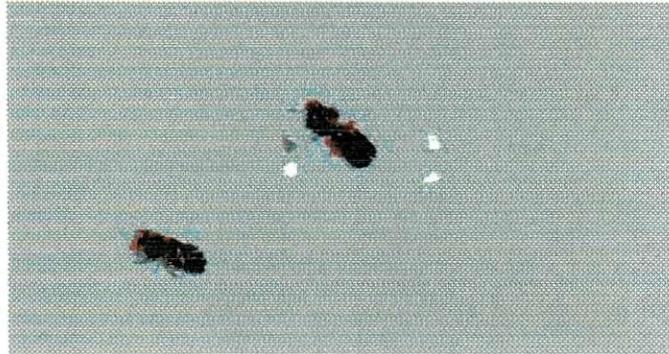


Figura 33: *Dinoderus Minutos*

O ataque dos bambus pelo *Dinoderus Minutos* se processa da seguinte forma: o inseto adulto perfura o colmo do bambu onde põe os seus ovos. Após a eclosão as larvas se alimentam das substâncias presentes no bambu. Após atingirem a idade adulta os insetos voam para outro hospedeiro reiniciando um novo ciclo. O ataque do inseto reduz a pó o nobre material como apresentado na figura 34.



Figura 34: O ataque do *Dinoderus* reduz o bambu a pó.

2.5. MÉTODOS PARA IMPEDIR A DETERIORAÇÃO DOS BAMBUS:

2.5.1. ALTERAÇÃO OU REMOÇÃO DE SUBSTÂNCIAS PRESENTES NO BAMBU

Remoção: Algumas substâncias como a Tiamina (Ti + amina) apesar de encontrar-se em pequenas quantidades no bambu é um elemento essencial para o desenvolvimento dos fungos apodrecedores. Sua remoção do bambu impede o ataque destes organismos, sendo esta feita através do aquecimento a 100°C por 1 ou 2 horas.

Alteração: As enzimas dos fungos são as responsáveis pela degradação das moléculas de celulose, hemicelulose ou lignina. Pode-se impedir esta degradação através da adição de substâncias que alteram o substrato, desta forma as enzimas não conseguem reagir com as moléculas de celulose ou lignina por estas estarem estruturalmente modificadas.

2.5.2 CONTROLE DA UMIDADE DO BAMBU

Em termos de umidade do bambu, a quantidade mínima necessária para que ocorre o desenvolvimento de fungos apodrecedores é de 20% em relação ao seu peso seco. Já a quantidade máxima varia de acordo com a espécie, massa específica e tamanho da amostra, contudo esta nunca deverá ultrapassar a umidade de saturação. Sendo assim, um método prático para impedir o desenvolvimento de fungos apodrecedores em bambus é o de manter sua umidade abaixo de 20% em relação ao seu peso seco ou então manter as amostras imersas na água onde a taxa de oxigênio livre é praticamente nula. Na figura 35 vê-se bambus expostos para perderem umidade.

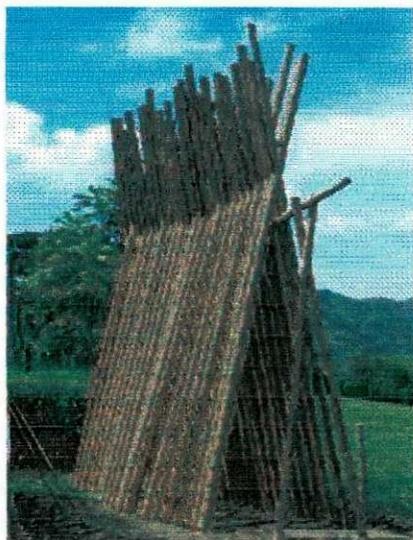


Figura 35: Secagem dos Bambus

2.5.3 CONTROLE BIOLÓGICO

No controle biológico, a utilização de microrganismos pode inibir o desenvolvimento de fungos apodrecedores no bambu através de alguns mecanismos quais sejam:

Desenvolvimento mais rápido e a competição pelo espaço disponível;

Competição com os fungos apodrecedores pelo alimento (substâncias presentes no lúmen das células) e;

Produção de antibióticos que inibem o desenvolvimento dos fungos apodrecedores.

Destes três mecanismos apenas o terceiro tem mostrado resultados satisfatórios quando aplicado em ensaios de campo.

2.5.4 USO DE BIOCIDAS

Do ponto de vista comercial, os métodos anteriormente citados tem sido pouco utilizados, principalmente devido aos altos custos operacionais. Desta forma o método mais amplamente utilizado para prevenir o ataque de organismos xilófagos é o da introdução no bambu, de substâncias químicas tóxicas aos organismos xilófagos que impedem o seu desenvolvimento. Estas substâncias químicas tóxicas ou biocidas são conhecidos como preservantes para bambu e são agrupados em duas grandes classes: os oleossolúveis e os hidrossolúveis, conforme o solvente utilizado para introduzi-los no bambu.

Para a aplicação destes produtos químicos existem vários métodos tradicionalmente conhecidos e amplamente divulgados, tais como: Pincelamento, aspersão, imersão, difusão, banho quente-frio, tratamento sob pressão, etc.

A escolha do melhor método depende sempre de fatores tais como: preservativo a ser utilizado, quantidade a ser introduzida no bambu e uso final do material a ser tratado.

- Ser tóxico a um grande número de organismos xilófagos;
- Ter baixa toxidez aos organismos não xilófagos;
- Possuir ação duradoura;
- Possuir alta fixação no colmo;
- Não alterar as características;
- De preferência, ser incolor, inodoro e insípido;
- Não ser inflamável e;
- Ser econômico e de fácil obtenção no mercado.

Difícilmente serão encontrados preservativos que reúnam todas estas características, entretanto mesmo se somente algumas destas características existirem o preservativo pode ser adequado.

2.6 MÉTODOS CONVENCIONAIS PARA TRATAMENTO DE BAMBU

2.6.1 PRÉ – TRATAMENTOS

2.6.1.1 IDADE DE CORTE:

O bambu maduro é o que apresenta melhores características resistivas e é, portanto o mais apropriado para ser utilizado na construção civil.

O corte do bambu deve ser feito entre o primeiro e o segundo nó, de forma inclinada, isto para que não se acumule água de chuva e não apodreça a planta isso também faz com que se facilite o nascimento de novos brotos como indicado na figura 36.

Os bambus imaturos apresentam cor verde forte, superfície macia, brácteas ainda aderidas, uma fina penugem branca serosa que desprende-se facilmente e poucos galhos no talo como apresentado na figura 37.

Os bambus maduros apresentam cor verde mate (dependendo da espécie), superfície dura, pouca ou nenhuma bráctea aderida ao talo, escassa penugem, manchas escuras gaspeadas que são maiores em quantidade e intensidade em relação ao grau de sazonalidade e possuem grande profusão de galhos como indicado na figura 38. Os colmos que apresentam além destas características, manchas amarelas, já não são mais utilizáveis porque está começando a decadência para depois secarem [8].

Já os bambus que possuírem manchas amareladas já não podem ser mais utilizados na construção civil, pois já iniciaram a sua decadência para depois secarem como indicado na figura 39



Figura 36: Maneira correta de se fazer o corte no bambu

A idade que se considera mais apropriada para o corte do bambu é entre dois e seis anos, dependendo da sua aplicação e da espécie.

Para a construção são utilizados bambus com idades entre três e cinco anos.

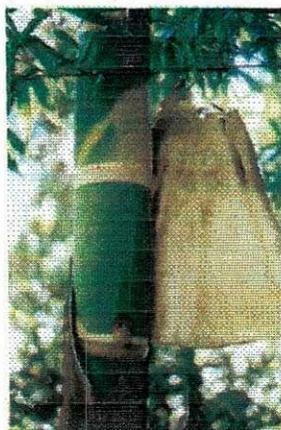


Figura 37: Bambu jovem (Conserva ainda todas as sua folhas caulinares)

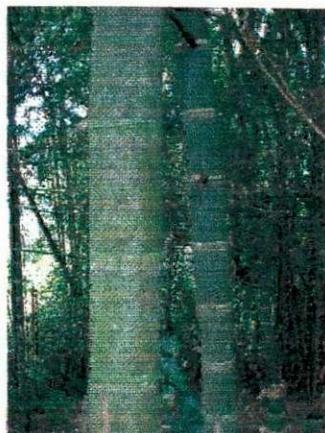


Figura 38: Bambu maduro (Propício para a construção civil)



Figura 39: Bambu seco (Não mais podendo ser utilizado na construção civil)

2.6.1.2 CURA DO BAMBU

Ela deve ser feita logo após o corte do bambu. A cura consiste na expulsão ou diminuição do conteúdo de amido da seiva, tornando os colmos menos susceptíveis ao ataque de insetos. A cura pode ser feita através dos seguintes processos:

Cura na mata: depois de cortado o bambu, ele permanece com todas as suas folhas e ramos e é posicionado da forma mais vertical possível em contato sobre os outros bambus. Deve ser apoiado em cima de uma pedra para não ficar em contato com o solo,

devendo permanecer nesta posição pelo menos quatro semanas, depois das quais se cortam seus ramos e folhas e é colocado para secar em uma área coberta e bem ventilada. Esse método é o mais recomendado pois os talos não se mancham e conservam sua cor natural.

Cura por imersão em água: Os talos recém cortados são submergidos em água, por um tempo superior a quatro semanas. Depois eles são postos para secar por algum tempo. Este método é muito utilizado mais é menos indicado por não ser muito eficiente, além do mais aparecem manchas, e se permanecerem por muito tempo em água os bambus perdem resistência.

Cura ao fogo: A cura ao fogo é feita colocando-se os bambus horizontalmente sobre brasas a uma distância apropriada para que as chamas não os queimem, girando-os constantemente. Esse método também é aplicado para corrigir bambus torcidos

2.6.1.3 SECAGEM DO BAMBU

A secagem é o primeiro e mais importante passo no preparo do bambu para a sua utilização. Esta operação precisa ser bem planejada e conduzida, pois dela depende a qualidade final do produto, bem como a resistência dos bambus aos esforços que o solicitem.

A secagem do bambu é feita para maximizar a evaporação da umidade superficial, e, ao mesmo tempo, a movimentação da umidade interior para as zonas superficiais. A ineficácia de alguns processos se deve à rápida perda da umidade superficial e à lenta translocação da umidade interna para a superfície que faz o colmo rachar.

O principal objetivo da secagem do bambu ao ar livre é fazer com que a maior quantidade possível de água evapore utilizando-se das forças da natureza. A secagem natural muitas vezes é usada como pré-secagem ou secagem parcial sendo a fase final feita em estufas, como também, para secagem completa, dependendo do seu uso.

Estudos revelaram a secagem ao ar livre fornece material adequado para a construção civil como indicado na figura 40. O produto obtido apresenta apenas pequenas rachaduras e leves empenamentos, o que demonstra que o processo da secagem ao ar livre, correta e tecnicamente executada, pode fornecer material com a qualidade exigida pelo setor.



Figura 40: Secagem do Bambu ao ar livre

2.7. METODOS DE TRATAMENTO

1 – Há diversos métodos de tratamento para proteger o bambu de futuros ataque de insetos. Por transpiração das folhas ou substituição de seiva: Utilizam-se colmos recém cortados dos quais não foram tirados galhos e nem folhas. Os bambus devem ser colocados num recipiente contendo preservativo que é assim absorvido e a água transpirada

pelas folhas. Os preservativos indicados são os solúveis em água. O tempo de tratamento varia com as condições atmosféricas mas em media 2 a 4 dias [8].

2- Por pressão hidrostática: deve ser aplicada em bambus recém cortados. A seiva será substituída neste processo, por pressão hidrostática que passara do recipiente posicionado em um nível mais alto do que o bambu e eliminado pela outra extremidade como indicado na figura 41. A duração do tratamento pode variar de 5 a 6 dias, conforme as dimensões do colmo.

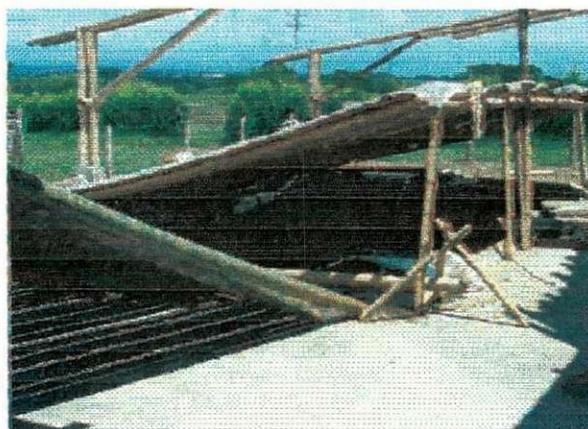


Figura 41: Pressão hidrostática (Site: Conbam)

3- Método de tratamento por imersão: o processo utiliza colmos secos desprovidos de galhos que são imersos num reservatório contendo preservativo (Figura 43), que pode ser do tipo de soluções oleosas ou hidrosolúveis frias ou quentes de pentaclorofenol a 5% de creosoto ou creosoto alquitranado. Devido a maior penetrabilidade das soluções quando quentes, o tempo de imersão pode reduzir-se a umas 2 a 4 horas, mas quando o processo é frio deve-se aumentar para 5 dias ou mais [8].

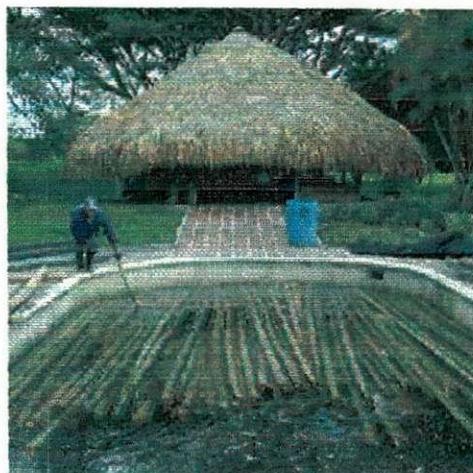


Figura 42: Cura do Bambu por Imersão (Site: Conbam)

4- Por fumigação: baseia-se em tratar o colmo através de fumaça As toxinas constituintes da fumaça impregnam provavelmente na lignina do bambu, efetuando o tratamento. É constituído de duas etapas: na primeira etapa é aplicado o vapor d'água e na segunda etapa fumaça como indicado nas figuras 43 e 44 [15].

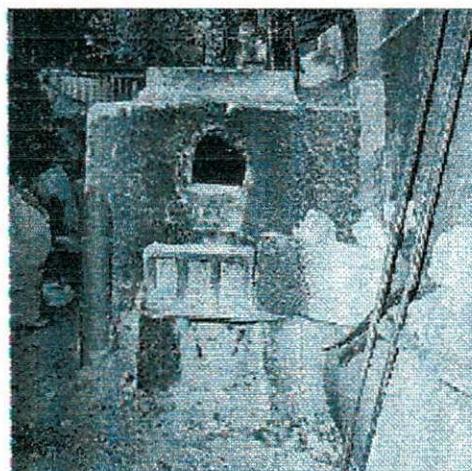


Figura 43: Fornos artesanais para tratamento do bambu (GHAVAMI)



Figura 44: Bambus tratado por fumigação de forma industrial

2.8. CARACTERÍSTICAS MACRO E MICROESTRUTURA DO BAMBU

Os colmos são à parte que mais facilmente distingue uma espécie de outra, por terem tamanhos, diâmetros, cores e texturas diferenciadas. São na maioria ocos, mas existem exceções como se vê na figura 45. Os entrenós do gênero *Chusquea*, das Américas Central e do Sul, são sólidos, assim como a espécie *Dendrocalamus Strictus*. Algumas espécies possuem água no interior dos entrenós. Existe uma espécie cujos colmos tem forma naturalmente quadrangular, com cantos arredondados, o *Chimonobambusa quadrangularis*.

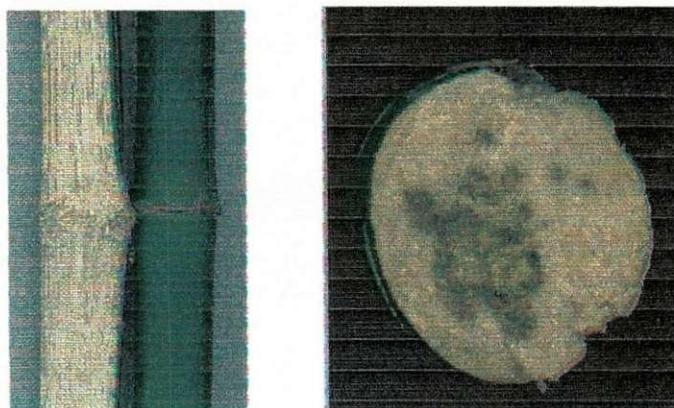


Figura 45: Como de bambu cheio

Os colmos de bambu consistem em fibras que chegam a centímetros, feitas de lignina e silício. As paredes das células do bambu é um composto feito de um rígido polímero de celulose em uma matriz de lignina e as hemiceluloses. O silício agrega resistência mecânica ao bambu. A matriz de lignina dá flexibilidade.

Os colmos se caracterizam por ter forma cilíndrica o que resultaria numa seção transversal circular o que nem sempre é verdade já que podem ocorrer imperfeições nas proximidades dos nós, como se mostra na figura 46. Eles apresentam uma seqüência de entrenós (internós) ocios separados transversalmente um dos outros por diafragmas que aparecem externamente como nós, de onde saem ramos e folhas.

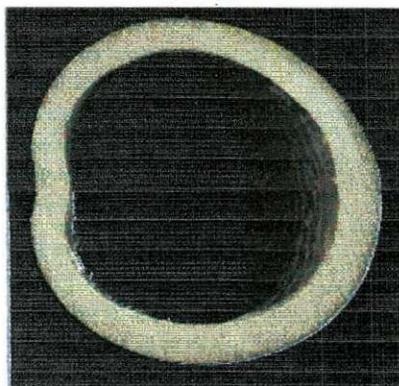


Figura 46: Imperfeições na seção transversal do bambu.

Os principais constituintes químicos do colmo do bambu são celulose, hemicelulose, lignina e, em menores quantidades, resinas, taninos, ceras e sais inorgânicos. A composição varia com a espécie, as condições de crescimento, a idade e parte do colmo. A proporção de lignina e carboidratos varia durante o período de maturação do colmo, que dura cerca de um ano, e após mantém-se constante.



Figura 47: Colmo de bambu

A estrutura dos nós é mais complexa do que nos internos, já que nesta região ocorre a principal distribuição de água e nutrientes por meio de intensa anastomose do sistema vascular. Por esse motivo, na região nodal a composição típica do feixe vascular é parcialmente mudada. As células de parênquima da região nodal são principalmente redondas e algumas vezes de forma bastante irregular. O diâmetro médio dessas células é cerca de $45\mu\text{m}$.

Muitos dos feixes vasculares principais passam através dos nós. Na periferia da parede do colmo elas se curvam ligeiramente para fora e tornam-se conectadas com a cicatriz, enquanto que na zona interna curvam-se para dentro e dirigem-se para o diafragma.

O comprimento das fibras varia através da parede do colmo, sendo mais curtas na parte externa, mais longas no centro e decrescem em comprimento em direção às regiões internas. Na região nodal as fibras são mais curtas que na região internodal. As fibras mais curtas estão no diafragma. A redução no comprimento das fibras é acompanhada por mudança da largura e forma na região, como indicado na figura 48.

Nos nós é onde também ocorre a menor quantidade de substâncias solúveis, cinza e lignina e também mais celulose que os internos.

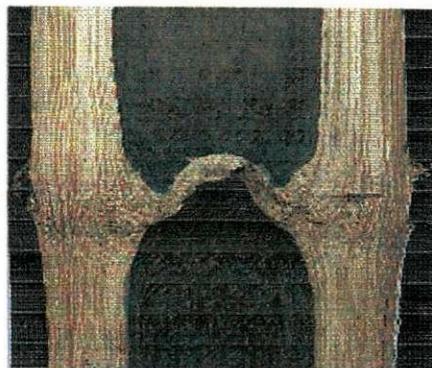


Figura 48: Detalhe do nó de bambu

O bambu possui excelentes propriedades mecânicas, as quais são influenciadas pelo conteúdo de umidade do colmo, e se correlacionam com a idade e densidade deste, mas dependem principalmente do conteúdo de fibras, responsáveis pela resistência. Vários pesquisadores afirmam que na determinação das características mecânicas dos colmos do bambu, o principal inconveniente tem sido a inexistência de uma padronização dos ensaios. Isso leva cada estudioso adotar sua própria metodologia, tornando difícil a comparação dos resultados, outra grande dificuldade é o fato do bambu ser um material anisotrópico possuindo propriedades diferentes em relação às suas três direções principais o que dificulta enormemente a realização dos ensaios.

O crescimento dos colmos de bambu mostra vários estágios de lignificação da base para o topo de um mesmo colmo, longitudinalmente a lignificação em cada interno ocorre do topo em direção à base do colmo, enquanto que transversalmente ela ocorre de dentro para fora, complementando-se, porém, em uma estação de crescimento fazendo com que as propriedades com relação a essas direções também sejam diferentes como mostrado na figura 49.

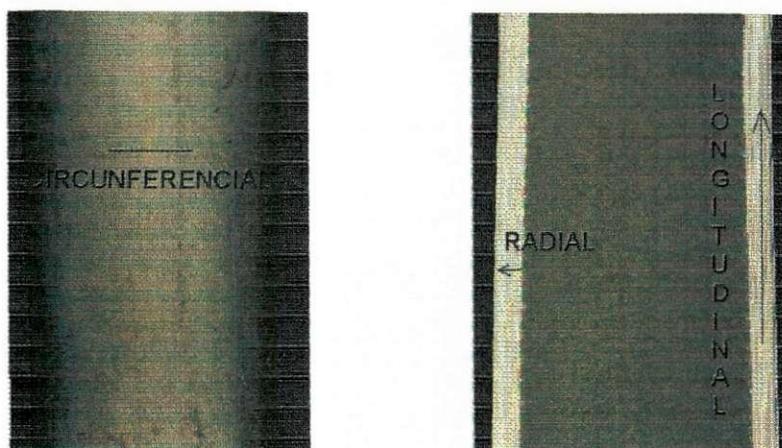


Figura 49: Direções principais do bambu

O bambu é por natureza um material compósito. Seus colmos são formados por fibras, vasos e condutores de seiva, que estão desuniformemente distribuídos na seção transversal, embebidos em um tecido de recheio denominado parenchyma.

Cerca de 40% do colmo do bambu é formado por parenchyma, 50% por fibras e 10% por vasos e condutores de seiva. Essas porcentagens variam em relação à distribuição na seção transversal do colmo de tal modo que a zona interna contém cerca de 15 a 30% desses feixes de fibras aumentando de 40 a 70% como indicado na figura 50 nas partes mais externas do colmo de bambu [25].

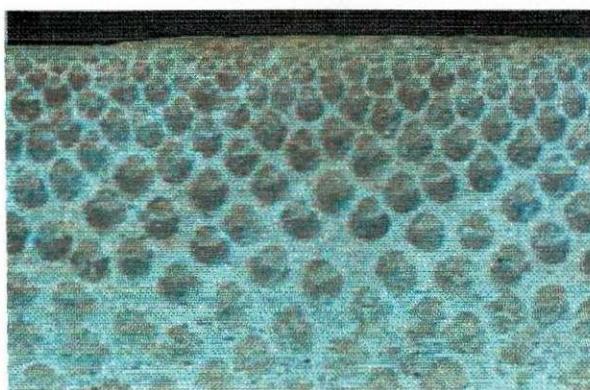


Figura 50: Microestrutura do bambu

O parênquima é formado por células pouco rígidas, de paredes muito finas constituídas basicamente de celulose e recheada por lignina. Suas células são conectadas umas as outras através de cavidades. O parenchyma confere uma certa plasticidade a planta e é o tecido mais fraco do bambu. Sua função é armazenar reservas nutritivas de que o vegetal necessita.

O sistema vascular do bambu é formado por duas partes: o pholem, formado por longas células de paredes finas, constituídas principalmente por lignina, e é responsável pelo transporte de material nutritivo para as partes superiores da planta; e o xylem, formado por células de paredes espessas, de composição complexa, que esta localizada dentro do pholen, e é responsável pelo transporte de água e minerais.

As fibras constituem o tecido esclerenquimático e são as principais responsáveis pela resistência dos colmos. Elas ocorrem nos internós como cobertura dos feixes vasculares, constituindo de 40 a 50% do tecido total do colmo e de 60 a 70% do seu peso. Seu comprimento geralmente aumenta da periferia para o centro do colmo e diminui daí até a parte interna, estando as menores fibras sempre perto dos nós e as mais longas no meio dos internos como indicado na figura 51.

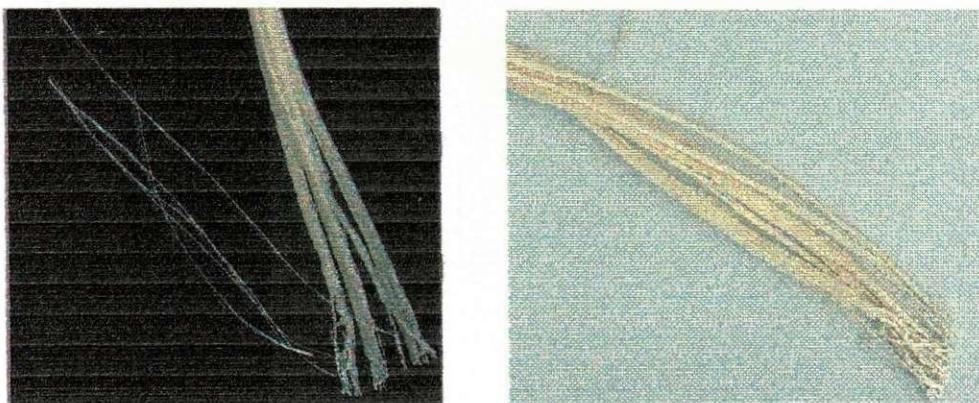


Figura 51: Fibras de Bambu

As fibras são formadas por células mortas, de grande comprimento, de paredes constituídas principalmente por celulose. Geralmente a sua proporção varia em função da região do colmo em que esta inserida essas porcentagens também variam de espécie para espécie como mostrado na figura 52, influenciando nas propriedades físicas e mecânicas do colmo.

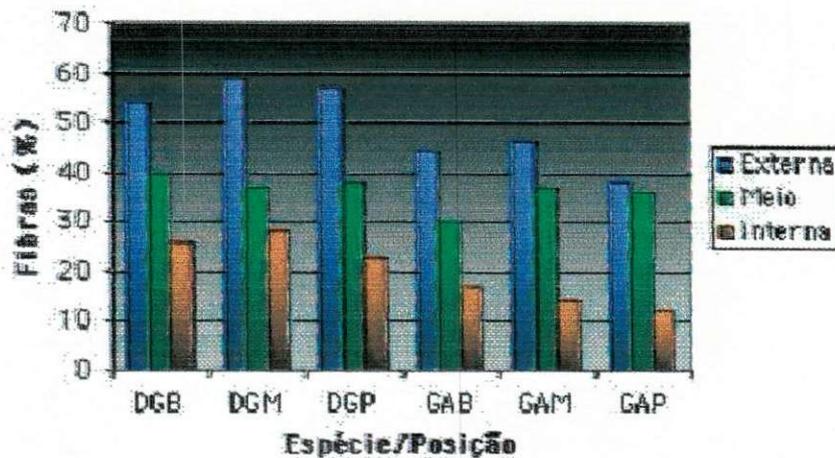


Figura 52: Porcentagem de fibras em relação e espécie e a localização no colmo (Site: Bambu Brasiliz)

Estudos chineses também indicam que o conteúdo de fibras varia com a idade, espécie e região do talo, sendo que na parte basal é a que apresenta maior concentração.

Outras propriedades dos bambus foram estudadas por [16], como é o caso da variação do diâmetro, da espessura de parede e do comprimento internodal de colmos inteiros.

Com relação ao diâmetro externo o longo do comprimento do colmo eles puderam verificar que o mesmo diminui da base para o topo. Um outro estudo comprovou que com a diminuição da espessura da parede do colmo da base em direção ao topo, ocorre um aumento na resistência mecânica, especialmente nas paredes internas, enquanto que nas paredes externas esta característica muda muito levemente como pode ser observado na figura 53.

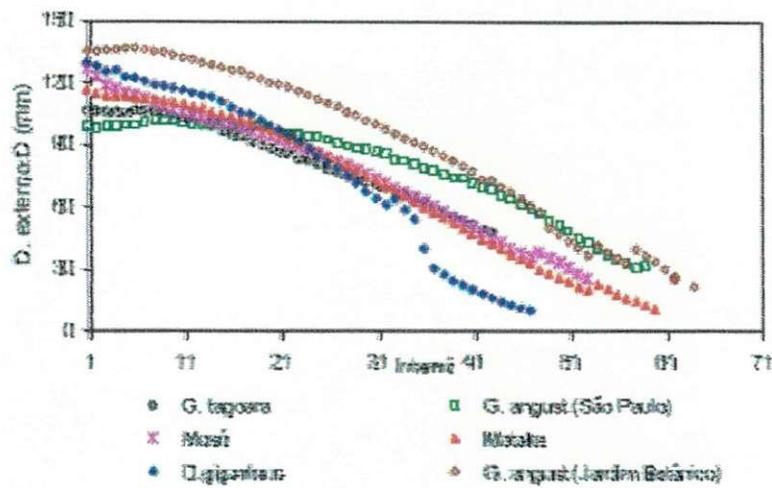


Figura 53: Variação do diâmetro externo ao longo do comprimento dos colmos (Gráfico Ghavami e Marinho)

O mesmo pôde ser verificado com relação à espessura da parede, porem acontece uma grande variação ao longo do colmo como pode ser observado na figura 54. Das medições realizadas eles observaram que existiam diferenças entre colmos da mesma espécie desenvolvidos em locais diferentes. Esta diferença ocorre em função de fatores como clima, relevo, manejo de plantio, idade, entre outros.

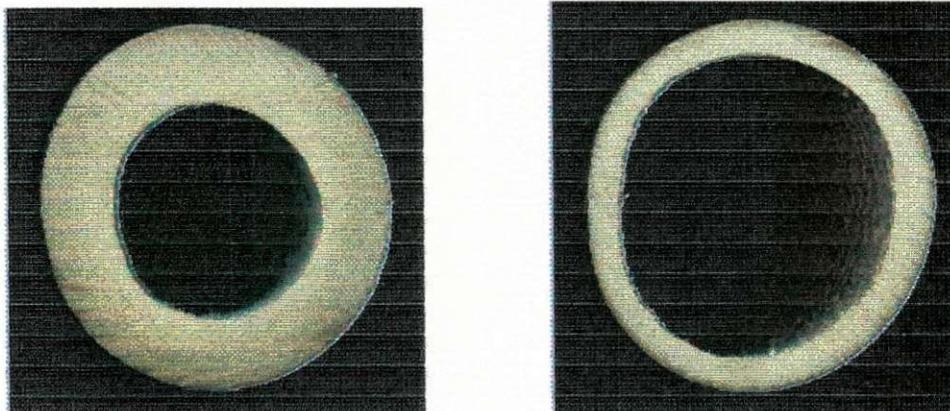


Figura 54: Variação da espessura de parede para uma mesma espécie.

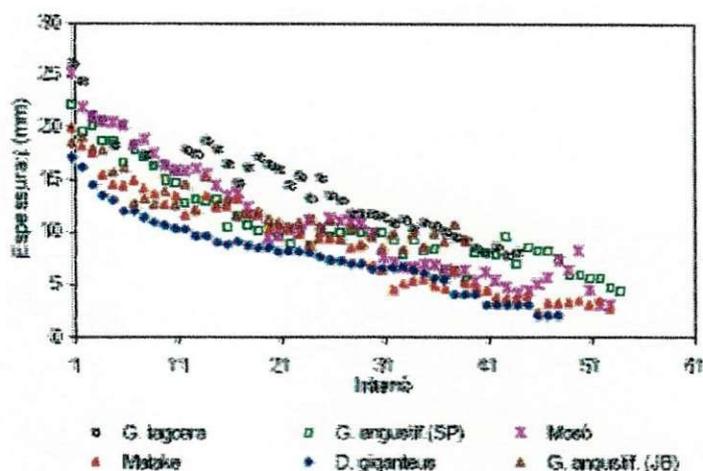


Figura 55: Variação da espessura da parede ao longo do comprimento dos colmos de bambu (Gráfico Ghavami e Marinho)

Outra conclusão interessante obtida desse trabalho foi o fato de se ter verificado que em quase todas as espécies de bambu estudadas o comprimento internodal atinge seu valor máximo na parte intermediária do colmo como indicado na figura 56

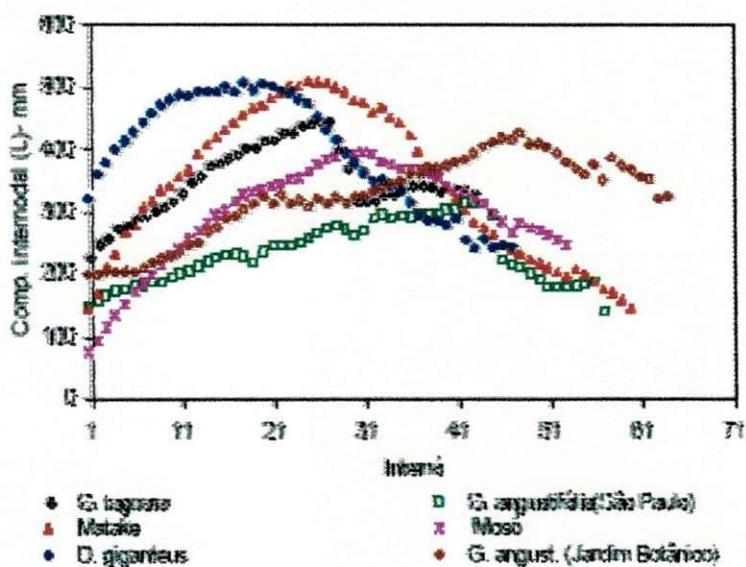


Figura 56: Variação do comprimento internodal de colmos de bambu (Gráfico Ghavami e Marinho)

2.9. PROPRIEDADES MECÂNICAS DO BAMBU

As propriedades mecânicas e elásticas dos bambus podem fornecer, do mesmo modo que as propriedades físicas, informações muito valiosas para a sua industrialização.

O bambu é um material natural e como tal existe uma infinidade de fatores que influenciam nas suas características mecânicas [8]. Da mesma forma que acontece para madeira, estas características são influenciadas por fatores como idade da planta, solo do bambuzal, condições climáticas, época de colheita, teor de umidade das amostras, localização das mesmas com respeito ao comprimento do colmo, presença ou ausência de nó na amostra e tipo de teste. Em virtude da orientação das fibras ser paralela ao eixo do colmo o bambu resiste, mas à tração do que à compressão.

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

2.9.1. RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO PERPENDICULAR ÀS FIBRAS

A resistência do bambu a compressão perpendicular as fibras, é importante nos casos de utilização do bambu como dormentes e em construções. As dimensões do corpo-de-prova são variáveis de acordo com a dimensão do colmo ensaiado, devendo ser muito bem orientado como indicado na figura 57

Não há possibilidade de cálculo de uma máxima resistência a compressão perpendicular, neste caso, a carga só é aplicada até o limite de proporcionalidade (P_{lp}), calculando-se a resistência à compressão perpendicular através da fórmula

$$\delta LP = \frac{P_{lp}}{A} \text{ (Kgf / cm}^2\text{)} \quad \text{Eq (1)}$$

Onde:

δlp = resistência a compressão perpendicular (kgf/cm²)

P_{lp} = carga no limite proporcional (kgf)

A = área sujeita ao esforço (cm²)

Uma outra característica é que a força de compressão aumenta com a idade. Os resultados demonstram que os bambus com seis anos de idade tem uma resistência a compressão cerca de duas vezes e meia maior que os bambus com um ano.

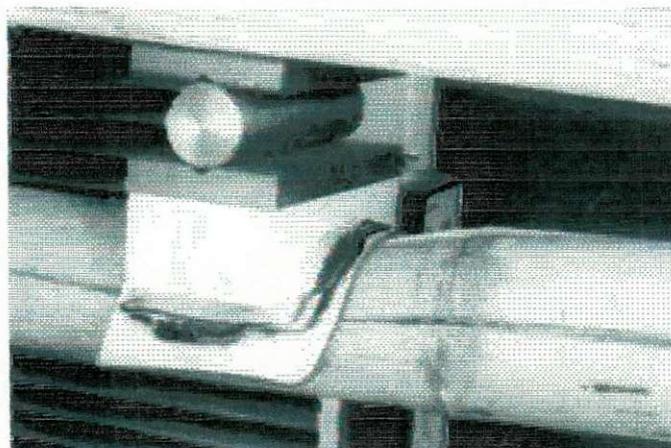


Figura 57: Ensaio de compressão perpendicular às fibras

2.9.2. RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO PARALELA ÀS FIBRAS OU AXIAL

O corpo de prova para o ensaio de compressão axial deve apresentar índice de esbeltez baixo, para evitar a flambagem do mesmo. Desta forma o INBAR sugere a adoção de um corpo de prova com a altura igual ao diâmetro.

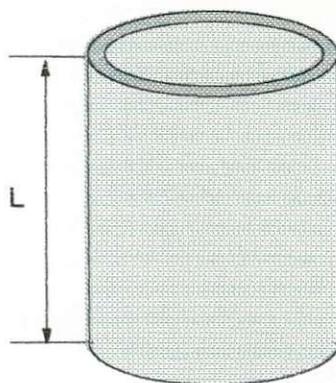


Figura 58: Característica do corpo de prova para ensaio por Lima Jr

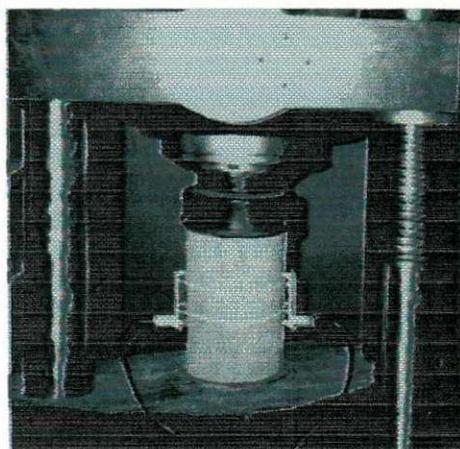


Figura 59: Procedimento de ensaio à compressão realizado por Lima Jr

Estudos determinaram [16] a resistência à compressão das partes basal, intermediária e topo da espécie *Dendrocalamus giganteus*. Os resultados obtidos são

mostrados na (Tabela 2), onde se observa que na região do topo a resistência à compressão é maior. [14] obteve valores entre 38,96 MPa e 45 MPa para esta espécie com e sem nó. Resultado semelhante foi obtido por [31].

2.9.3. RESISTÊNCIA À TRACÇÃO PARALELA AS FIBRAS

A realização do ensaio à tração do bambu apresenta certa dificuldade. Isto devido às baixas resistências à compressão transversal e ao cisalhamento paralelo as fibras, deste material. Assim, quando solicitado em uma máquina de ensaio, o corpo de prova dificilmente rompe à tração pura, e sim por esmagamento ou cisalhamento do trecho fixo à garra, sendo necessário a colocação de um reforço com chapas de alumínio ou mesmo de aço no trecho de fixação à garra da máquina como indicado na figura 60 [25].

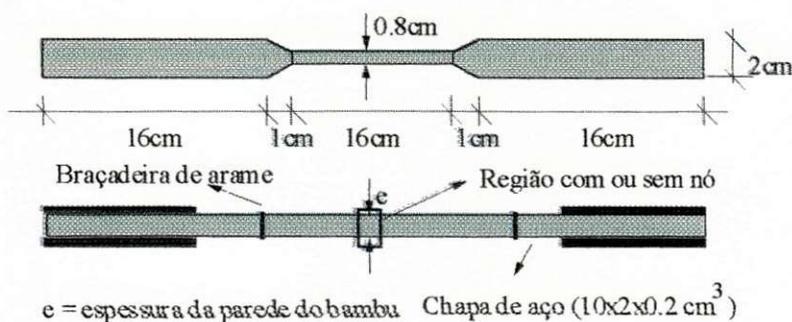


Figura 60: Características dos corpos de prova ensaiados à tração por Lima Jr

Uma outra característica observada no ensaio de tração é o fato da parte mais externa do colmo possuir uma resistência à tração cerca de três vezes maior que as partes mais internas. Também nos nós com mais de cinco anos essa resistência também diminui.

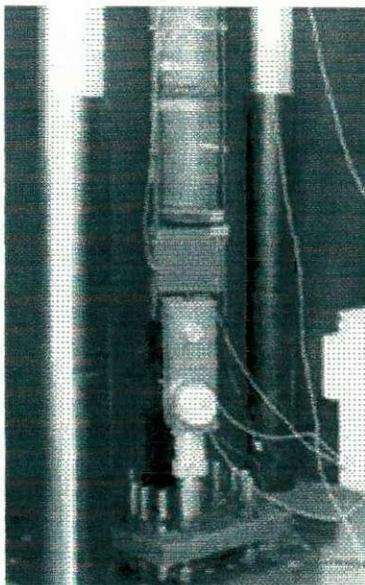


Figura 61: Tipo de equipamento para ensaio de tração.

Estudos determinaram também [16] a resistência à tração das partes basal, intermediário e topo do bambu *Dendrocalamus giganteus*. Foram testados corpos de prova com nó nivelado, com nó não nivelado e sem nó.

2.9.4 RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO

Consiste na separação das fibras por um esforço no sentido paralelo as mesmas. É de grande importância em bambus cavilhados, vigas treliçadas, roletes, calandras, polias, postes, etc. Os corpos-de-prova para esse ensaio são padronizados para madeira como mostra a como indicado na figura 62.

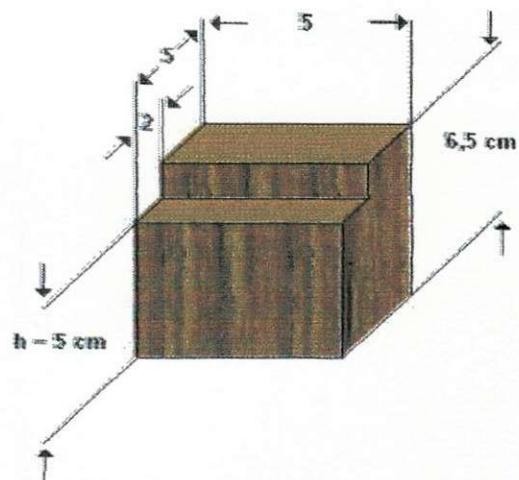


Figura 62: Corpo-de-prova para ensaio de cisalhamento

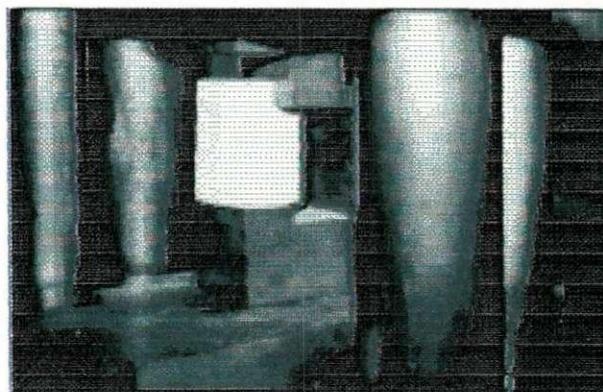


Figura 63: Ensaio de cisalhamento para madeira

2.9.5. RESISTÊNCIA A DUREZA

A dureza é geralmente definida como a resistência de uma matéria a penetração de um dispositivo (esfera, agulha, cilindro, etc.).

Existem vários métodos de se determinar a dureza, entre eles: dureza Brinell (esfera de 10 mm), Chalais-Mendon (cilindro de 3 cm de diâmetro) e Janka.

É uma propriedade importante para definição de uso do bambu para artigos esportivos, entalhes, assoalhos como indicado na figura 64 parquetes, tacos, etc., sendo também indicadora da sua trabalhabilidade.

A norma COPANT adota o método Janka, que consiste em medir o esforço necessário para introduzir no topo e nas faces laterais (tangencial e radial) de uma peça de madeira, uma esfera de aço de 1 cm^2 de área diametral, até uma profundidade igual ao seu raio. O esforço de penetração é medido em kg e fornece, ao mesmo tempo, a dureza Janka em kg/cm^2 , utilizando-se uma área de 1 cm^2 .

Em geral a dureza no sentido axial é maior que a dureza no sentido tangencial, que é aproximadamente igual a dureza radial, essas observações são validas apenas para madeira

Uma grande desvantagem neste método são as influências da porcentagem de lenho outonal, as tensões, fricções e rupturas de cisalhamento produzidas nas peças de madeira, causando assim grande variação nos resultados.

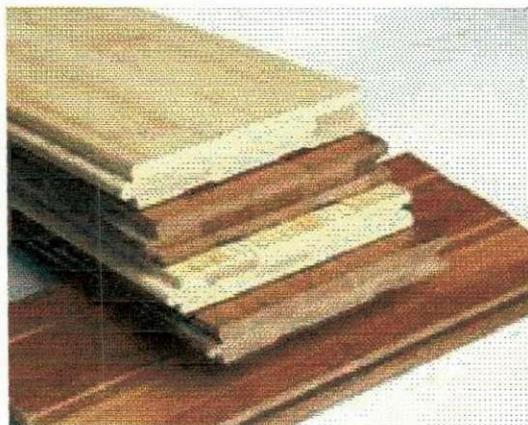


Figura 64: Piso de bambu

2.9.6. RESISTÊNCIA A FLEXÃO ESTÁTICA

Teste utilizado para determinação do Módulo de Elasticidade a flexão. Uma carga P aplicada no meio de um corpo-de-prova que repousa sobre dois apoios como apresentado na figura 69, causa tensões no seu interior e uma deformação até a ruptura. O teste de flexão estática encerra três tipos de tensões: tração, compressão e cisalhamento, sendo mais influenciado pelas tensões de compressão e tração.

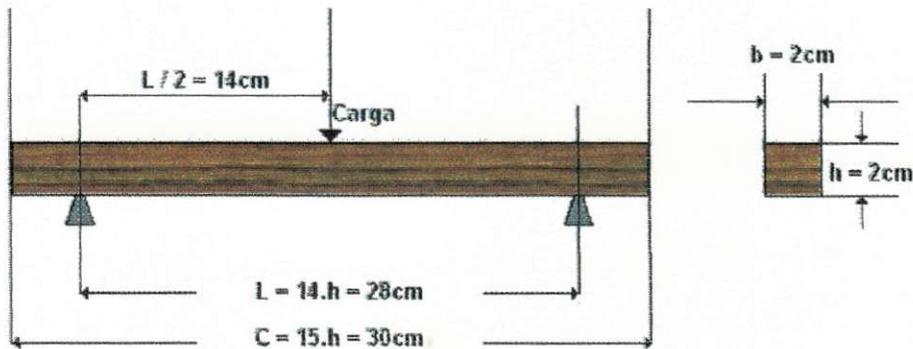


Figura 65: Característica do ensaio de flexão estática

Esse ensaio é utilizado tanto para colmos inteiros de bambu como também para peças de bambu laminado como indicado nas figuras 66 e 67.



Figura 66: Ensaio de flexão em colmos inteiros de bambu

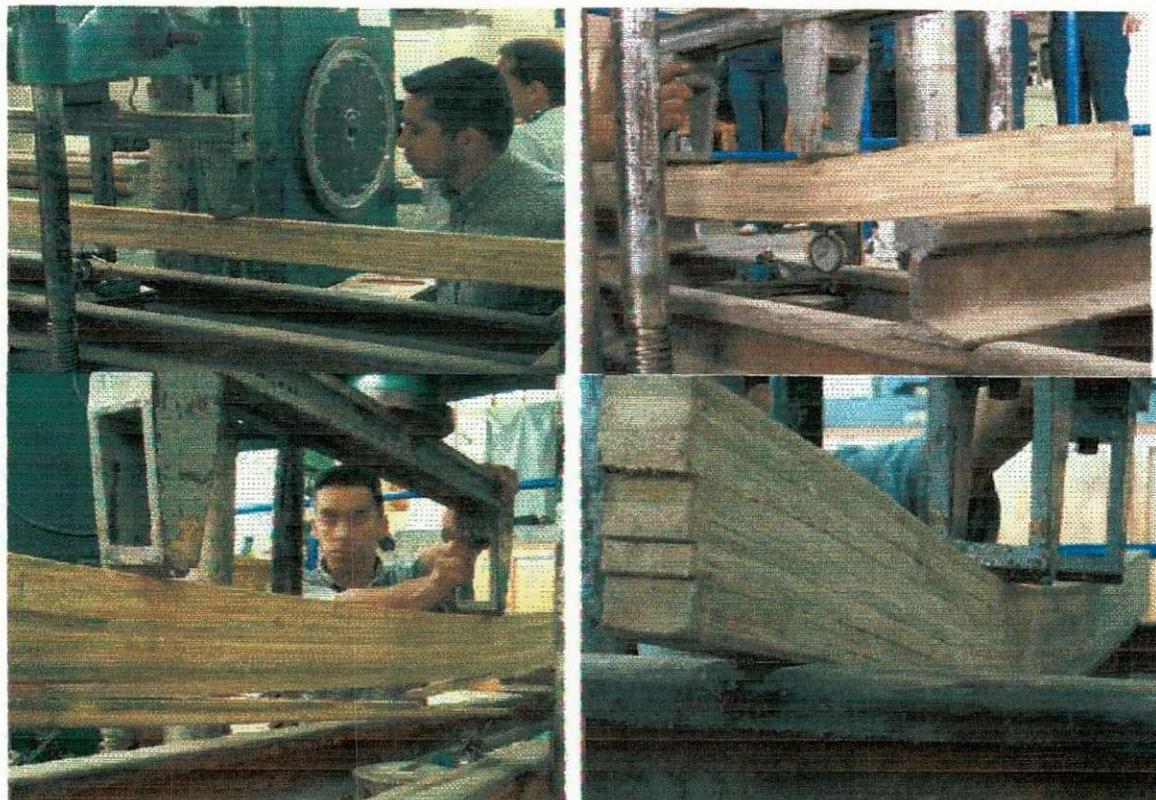


Figura 67: Seqüência do ensaio de flexão em laminados de bambu realizados na Universidade Nacional da Colômbia

2.10. PROPRIEDADES FISICAS DO BAMBU

O peso específico é outra característica física que apresenta grande variação e depende da espécie do grau de maturidade e da zona (interna ou externa do talo). Na zona interna, por exemplo, a concentração de feixes, é menor que na zona externa e varia com a região do colmo (o numero de feixes diminui com a altura) porem aumenta com a idade. Na zona externa não existem maiores variações ao longo do comprimento, mas a concentração é maior que a interna e aumenta com a idade.

A densidade dos bambus varia entre 500 a 1000 kg/m³, dependendo principalmente do tamanho, quantidade e distribuição dos aglomerados de fibras ao redor dos

feixes vasculares. Assim, na base do colmo, a resistência à flexão é 2 a 3 vezes maior na parte externa do que na interna. Estas diferenças são menores mais perto do topo, devido ao aumento da densidade na parte interna e redução na espessura da parede, que apresenta internamente menos parênquima e mais fibra, como apresentado na tabela 2 mostra - se à densidade para diferentes espécies de bambu encontrados em diversas regiões do mundo.

Tabela 2: Peso específico ρ e desvio padrão correspondente $\delta\rho$ (KN/m³) (Gavami)

ρ	$\delta\rho$	Gênero – Espécie	Procedencia	Media para
7,09	1,75	14 dif. Especies	Taiwán	14 dif. Especies
6,66	0,58	Bamboo wood	China	Dif. locais/colmo
6,99	1,65	-	China	Dif. locais/parede
6,52	0,79	Phyll. glauca	China	2 a 7anos / idade
5,95	0,37	Bamboo wood	China	Diferentes autores
6,76	0,42	Dend. strictus	India	2 a 6anos / idade
6,61	1,00	7 dif. especies	Taiwán	7 dif. especies
6,81	0,44	Dend. strictus	India	2 a 6anos / idade
5,94	0,72	Dend. strictus	India	Dif. locais/colmo
7,29	0,35	Bambusa. Nutans	India	Dif. Idades e locais/colmo

2.11. UTILIZAÇÃO DO BAMBU NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Inúmeros países utilizam o bambu na construção civil. Mas é na Ásia onde temos os exemplos vivos mais antigos da arquitetura com bambu, em templos japoneses, chineses e indianos. A construção de pontes de bambu na China é algo espetacular, com vãos enormes tencionadas com cordas de bambu. Já na América do sul os índios Paeces da

Colômbia são verdadeiros mestres na construção de pontes com bambu como indicado na figura 68. Eles utilizam essas pontes para atravessarem os violentos rios das regiões em que habitam. Eles combinam o arco falso feito em bambu, com tirantes do mesmo material, utilizando o bambu à tração, amarrando estes a pedras ou árvores que se encontram nas margens dos rios.

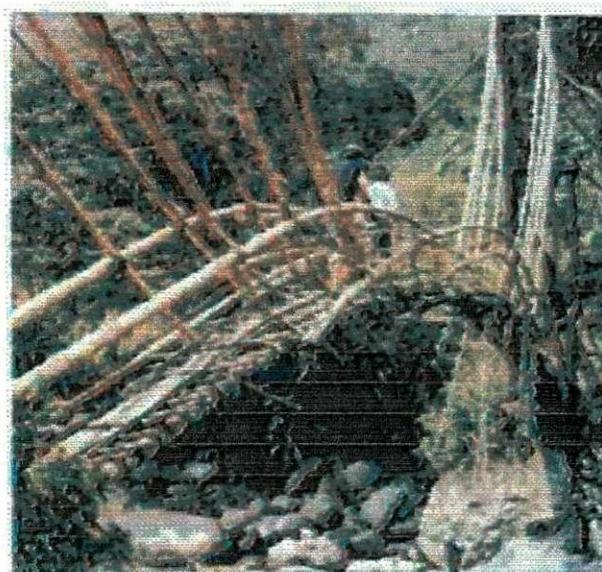


Figura 68: Ponte de bambu feita por índios colombianos

Com o intuito de se melhorar a tecnologia empregada pelos índios, na Colômbia se desenvolveram inúmeros estudos que visavam à construção de pontes de bambu de forma mais técnica baseadas em normas antigas de madeiras que se inspiravam em normas européias ou americanas como indicado na figura 69. Com o desenvolvimento dessas pesquisas, embora algumas codificações nas antigas normas tenham sido necessárias, belíssimos resultados foram obtidos como é caso da ponte em Tierradentro.

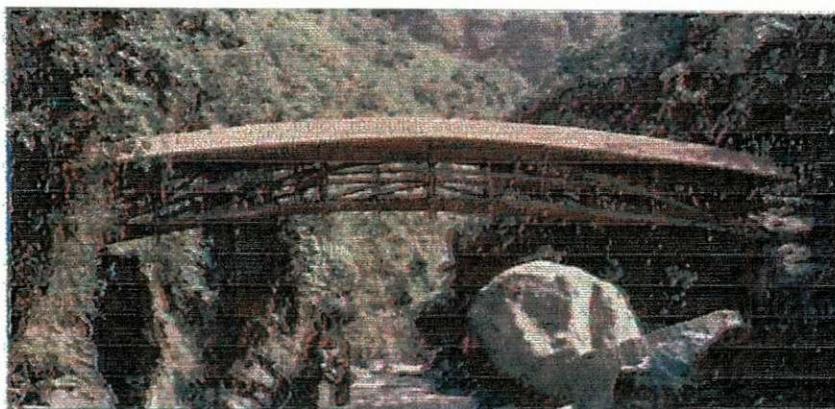


Figura 69: Ponte de bambu em Tierrdentro

Outra grande aplicação do bambu é na irrigação dos solos e lavouras como indicado na figura 70, devido ao seu formato tubular e grande leveza, ele é utilizado principalmente na substituição dos canos onde ficam instalados os aspersores. Inúmeros ensaios realizados na Universidade Federal de Campina Grande já determinaram algumas características hidráulicas dos tubos de bambu *Giganteus*, como o coeficiente de rugosidade C da formula de Hazen – Willians. Foram também determinadas as pressões de ruptura dos tubos de bambu, pressões essas que variaram em torno de 4 atm.



Figura 70: Rodamuinho feito de bambu

Mesmo no Japão, país mais industrializado da Ásia que adotou as mais modernas técnicas de construção, continua usando o bambu como andaimes para a construção de grandes arranha-ceus como indicado na figura 71.

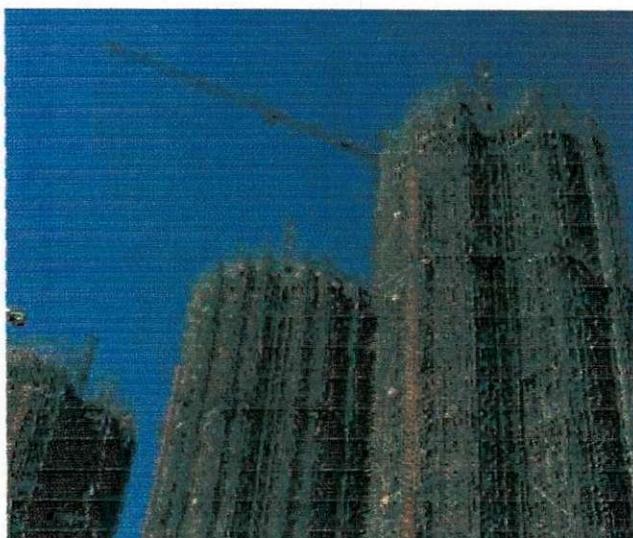


Figura 71: Andaimes de Bambu

Na América latina inúmeras formas de construção com bambu foram desenvolvidas e vêm sendo utilizadas desde os tempos dos pré-colombianos, mais foi no período colonial que o bambu foi utilizado na construção de paredes e cúpulas das obras do barroco colonial latino-americano [8].

Cada região possui um sistema próprio para a execução das paredes recheadas com bambu que diferem até no nome umas das outras. Tem-se assim os muros de bahareque e de barro embutido na Colômbia e Venezuela as paredes de quincha no Peru e Equador, os muros de barro embutido, estaqueio no Paraguai ou pau a pique no Brasil. Com pequenas variações todas elas consistem numa armação de ripas ou varas verticais e horizontais, preenchidas de argila.

Nas construções atuais com bambu uma das técnicas mais utilizadas é o recobrimento de uma estrutura totalmente em bambu como indicado na figura 72, com uma manta asfáltica com o objetivo de impermeabilizar a construção para uma posterior colocação de uma tela de metálica para dar maior rigidez à construção.



Figura 72: Armação de bambu:

Para uma maior proteção contra infiltrações que deteriorariam o bambu é muito importante que se coloque duas camadas de manta asfáltica, uma por fora e uma por dentro da construção como indicado na figura 73.



Figura 73: Colocação da manta asfáltica



Figura 74: Colocação da malha metálica

Após a colocação da malha metálica como indicado na figura 74, é necessário protegê-la contra a oxidação, para isso é feito um reboco que serve ainda para se corrigir algumas pequenas imperfeições durante o processo de construção da casa.



Figura 80: Colocação do reboco

Após o reboco figura 75 são necessários apenas alguns acabamentos de ordem estética e a casa estará totalmente pronta para ser habitada como indicado na figura 76.

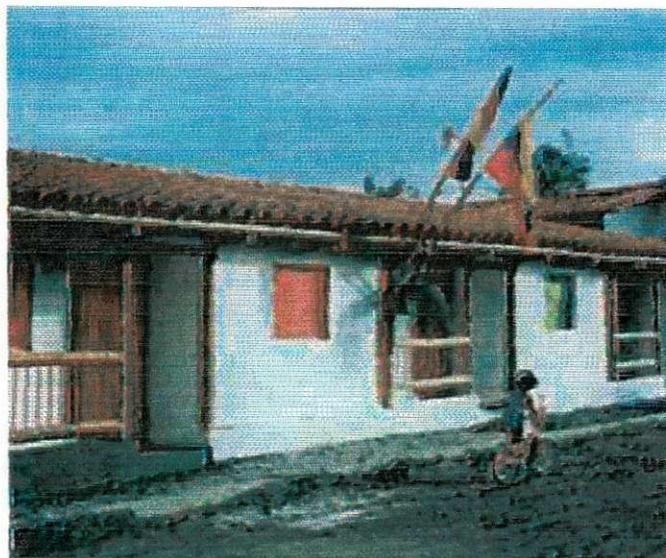


Figura 76: Casa terminada

Com o desenvolvimento das técnicas construtivas e o aumento do conhecimento das propriedades físicas e mecânicas do bambu tem se desenvolvendo verdadeiras maravilha arquitetônicas em estruturas mistas ou totalmente em bambu, como mostra a figuras 77 .

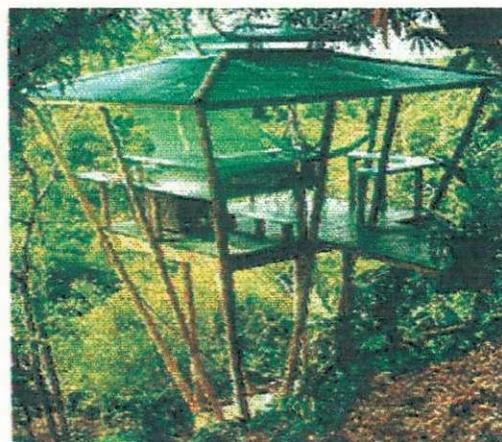
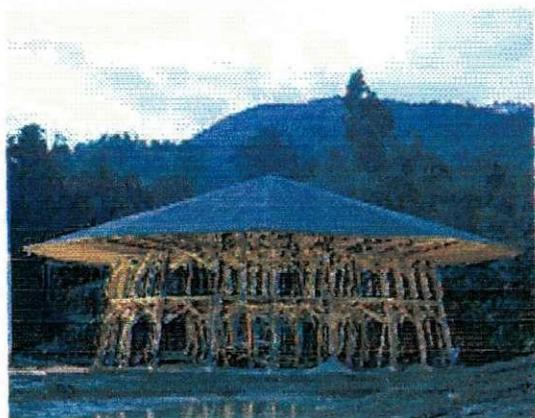


Figura 77: Construções com bambu

2.12.– UTILIZAÇÃO DO BAMBU COMO REFORÇO NO CONCRETO:

As primeiras pesquisas científicas que estudaram o bambu como reforço no concreto foram realizadas no Instituto de Tecnologia de Massachusetts no começo deste século, essas experiências possibilitaram a realização de varias aplicações praticas deste material na China. Porém, as mudanças dimensionais do bambu devido à variação de umidade e o aumento da produção industrial do aço, reduziram o interesse do uso do bambu como reforço no concreto. Porém por volta de 1936 novas pesquisas sobre esse tema foram iniciadas na Alemanha, e desde então varias investigações foram realizadas ao redor do mundo.

Vários estudos vêm sendo realizados com o objetivo de se evitar a absorção da água de amassamento pelo bambu. Grande parte desses trabalhos tem enfocado principalmente a diminuição das alterações volumétricas do bambu evitando-se o contato da água de amassamento com o bambu. Sendo utilizados tratamentos químicos sobre o bambu para torna-lo mais impermeável.

Em alguns trabalhos desenvolvidos pelo professor K. Ghavami foram utilizados tintas, vernizes, óleos, resinas sintéticas, enxofre, cera e betume para se melhorar a impermeabilidade do bambu, onde se verificou que os tratamentos a base de óleo, querosene, betume e cera embora determinem uma absorção reduzida funcionam como verdadeiros lubrificantes interferindo na aderência do concreto. Os resultados mais eficientes foram verificados nas tintas, vernizes e resinas sintéticas sobre tudo as epóxi e poliéster que impermeabilizam completamente o material e desenvolvem boa aderência.

Contudo o tratamento com produtos químicos pode não somente encarecer o produto final obtido, como também desencorajar o seu uso por seus eventuais usuários, principalmente pequenos e médios agricultores.

Um outro problema para a utilização do bambu como reforço no concreto é o seu baixo módulo de elasticidade, cerca de 10 vezes menor que o do aço. Isso sugere que a área de reforço numa peça calculada segundo os princípios do concreto armado, deveria ser 10 vezes maior. A taxa de armadura chega com isso a ser muito alta 5% ou mais dificultando a concretagem e apresentando inevitáveis ninhos que comprometem a seção. Verificou-se que percentuais de até 3% não evitam o aparecimento de fissuras a cargas muito diferentes daquelas que fissurariam uma peça sem reforço. Supõe-se que a porcentagem ótima de reforço esteja entre 3 e 5%.

Materiais e Método

3

Capítulo

Serão apresentadas neste capítulo a descrição dos materiais e da metodologia que foram empregadas neste trabalho

3.1. MATERIAIS

Os materiais básicos empregados foram o bambu e o concreto

3.1.1 BAMBU

Foram utilizados bambus da espécie *Dendrocalamus giganteus*, colhidos no Zoológico de Cascavel - PR. Os colmos foram cortados com 2 a 3 anos de idade e deixados secar na sombra em temperatura ambiente por um período de 2 meses. Com comprimento médio de 20 metros, foram eles divididos em três trechos de igual comprimento, aqui

denominados: basal, intermediário e topo. Para o estudo apresentado a seguir foram utilizados apenas os trechos basal e intermediário.

3.1.2. CONCRETO

O agregado miúdo utilizado foi areia quartzosa com módulo de finura de 2,11, diâmetro máximo de 2,4 mm e massa específica aparente de $1,62 \text{ kg/dm}^3$. Utilizou-se agregado graúdo de origem basáltica com módulo de finura de 6,8, diâmetro máximo de 19 mm e massa específica aparente de $1,92 \text{ kg/dm}^3$. O cimento utilizado foi o cimento Portland branco, CPB-40 que apresentava um módulo de finura de $426 \text{ m}^2/\text{kg}$.

Para a determinação das porcentagens dos materiais para os concretos, realizou-se um estudo experimental de dosagem. O traço foi definido a partir de curva de dosagem, seguindo a metodologia apresentada por (HELENE e TERZIAN). A determinação das resistências à compressão do concreto seguiu as prescrições da norma (NBR 5734). O traço utilizado apresentava teor de argamassa de 48%, relação água/materiais secos de 8,8%, relação água/cimento de 0,54 e proporções de 1:1,87:3,11. O aspecto do concreto fresco é visto na figura 78. A resistência média à compressão do concreto foi 24,31 MPa, o desvio-padrão 1,54 MPa e o abatimento obtido no cone de Abrams de $17 \text{ cm} \pm 2 \text{ cm}$.

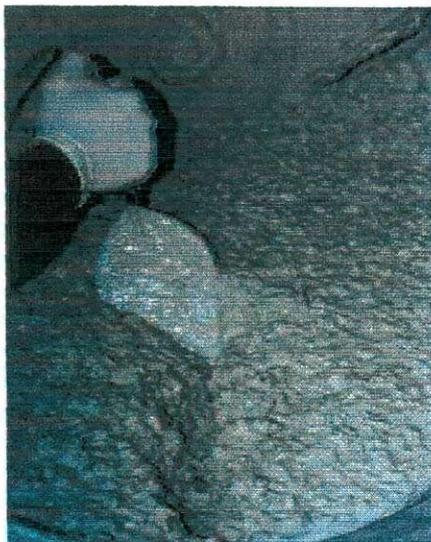


Figura 78: Aparência do concreto

3.2 METODOLOGIA

3.2.1. INTERAÇÃO BAMBU – CONCRETO

3.2.1.1. PREPARAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA

Para se avaliar a interação bambu – concreto foram realizados uma serie de ensaios do tipo push – out.

Para melhorar a condição de aderência foram utilizados pinos de aço, de bambu e de concreto para que funcionassem como conectores. O procedimento para a escolha das variáveis e seus níveis de estudo seguiu uma programação fatorial de experimento. Duas variáveis foram selecionadas para análise: o tipo do pino (X_1) e o número de pinos utilizados (X_2). Para a primeira variável foram utilizados três níveis de estudo (pinos de aço, pinos de bambu e pinos de concreto) e para a segunda dois níveis (um e dois pinos). Para cada combinação de variável foram preparadas dez réplicas, resultando em um programa fatorial de $3 \times 2 \times 10 = 60$ corpos-de-prova. Em adição, ensaiaram-se dez corpos-de-prova com um pino de aço, dez com um pino de bambu e dez com um pino de concreto, tendo sido anulada a

aderência por adesão, e finalmente, dez corpos-de-prova sem a presença de pinos, totalizando 100 corpos-de-prova.

Os corpos-de-prova consistiam de varetas de bambu imersas em blocos cilíndricos de concreto com dimensões de 15 cm x 30 cm como indicado na figura 79. As varetas de bambu foram cortadas da região inter-nodal dos colmos, limpas e tiveram suas dimensões medidas com paquímetro. Essas apresentavam seção transversal retangular com espessura e largura médias de 13,14 mm e 20,19 mm, respectivamente, e comprimento de 50 cm. Em seguida, o trecho de 30 cm a ser imerso nos blocos de concreto foi dividido em três regiões de igual comprimento com 10 cm cada. A avaliação da aderência foi realizada apenas nos 10 cm centrais. Nas outras duas regiões, a aderência foi anulada por meio de graxa e camadas sucessivas de papel. Nos corpos-de-prova com pinos, foram feitos no trecho central das varetas furos de 8 mm de diâmetro para cravação dos pinos. Os pinos de aço e bambu possuíam diâmetro de 8 mm e comprimento de 50 mm. Já nos corpos-de-prova com pinos de concreto, os furos foram deixados vazios para que durante a concretagem pasta de cimento penetrasse nos mesmos e formassem um pino fictício.

Objetivando-se quantificar apenas a parcela da aderência mecânica gerada pelos pinos, corpos-de-prova com pino e sem aderência também foram feitos. Nesses, seguiu-se o mesmo procedimento anteriormente descrito; contudo, a aderência por adesão nos 10 cm centrais das varetas de bambu foi anulada por meio de graxa e camadas sucessivas de papel.

A avaliação da tensão de aderência por adesão entre o bambu e o concreto foi feita em 10 corpos-de-prova sem a presença de pinos no trecho central. Na figura 79 apresentam-se detalhes das hastes de bambu.

Os corpos-de-prova foram moldados em fôrmas metálicas e o concreto vibrado por meio de vibrador de agulha. A concretagem dos 100 corpos-de-prova foi dividida em cinco betonadas. De cada betonada, moldaram-se três corpos-de-prova cilíndricos 15 m x 30 cm para avaliação da resistência média à compressão do concreto. Durante a concretagem, discos de madeira com 15 cm de diâmetro e 1 cm de espessura, furados no centro, foram dispostos nas extremidades do moldes objetivando a centralização das hastes de bambu em relação à massa de concreto. Após a concretagem, os corpos-de-prova foram deixados nas fôrmas por um período de 24 h. Em seguida, efetuou-se a desfôrma e os corpos-de-prova foram envoltos em lona plástica onde permaneceram por mais seis dias até serem ensaiados.

Os corpos-de-prova foram nomeados de acordo com as letras iniciais das variáveis estudadas. Deste modo, os corpos-de-prova com um e dois pinos de aço e com aderência na região central das varetas foram nomeados de 1PACA e 2PACA, respectivamente; os com um e dois pinos de bambu e com aderência na região central das varetas foram nomeados de 1PBCA e 2PBCA, respectivamente; os com um e dois pinos de concreto e com aderência na região central das varetas de 1PCCA e 2PCCA, respectivamente; os sem pino e com aderência na região central das varetas de SPCA; com um pino de aço e sem aderência na região central das varetas 1PASA; com um pino de bambu e sem aderência na região central das varetas de 1PBSA; e finalmente, com um pino de concreto e sem aderência na região central das varetas de 1PCSA.

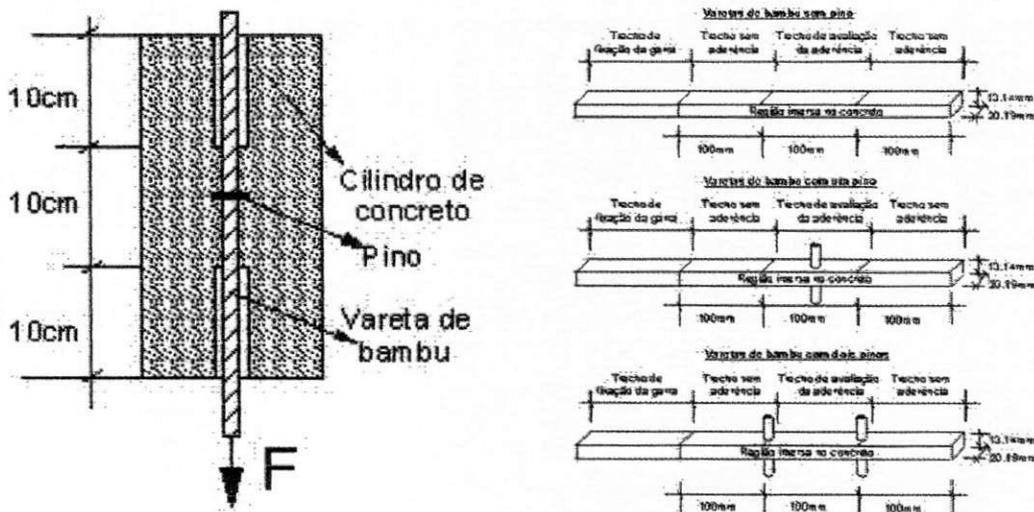


Figura 79 – Características dos corpos-de-prova

3.2.1.2. ENSAIO E INSTRUMENTAÇÃO

Os corpos-de-prova foram ensaiados em uma prensa hidráulica com rigidez elevada. Para tanto, confeccionou-se uma gaiola de reação em aço 1020 para fixação dos corpos-de-prova à prensa. Na extremidade superior da gaiola foi fixada uma célula de carga com capacidade de 100kN e na parte intermediária os cilindros de concreto. Na chapa inferior da gaiola foi feito um furo de 40 mm de diâmetro para a passagem das varetas de bambu para serem fixadas à garra ativa da prensa hidráulica. Entre a chapa inferior da gaiola e a base do cilindro de concreto foi disposta uma placa de neoprene para uma melhor distribuição das forças. Um medidor de deslocamento mecânico com sensibilidade de 0,01 mm e curso de 50 mm foi utilizado para medir os deslocamentos relativos entre o concreto e o bambu. O medidor de deslocamento foi fixado ao bloco cilíndrico de concreto por meio de uma base magnética fixada com presilhas de aço. Cuidados foram tomados para evitar qualquer contato entre o medidor de deslocamento e a gaiola metálica. Esse procedimento teve como objetivo evitar que deslocamentos parasitas, oriundos da acomodação da gaiola e do cilindro de

concreto, interferissem nas leituras dos deslocamentos. Na figura 80 apresentam-se detalhes do ensaio.

A força de arrancamento foi aplicada de modo quase estático, monotonicamente com controle de força. As leituras dos instrumentos foram realizadas manualmente a cada 0,20 mm de deslocamento. A duração média de cada ensaio foi da ordem de 10min e o ensaio era concluído quando o deslocamento relativo bambu-concreto atingia 5 mm. Após ensaio todos os blocos de concreto foram partidos ao meio por compressão diametral para análise da superfície de aderência.

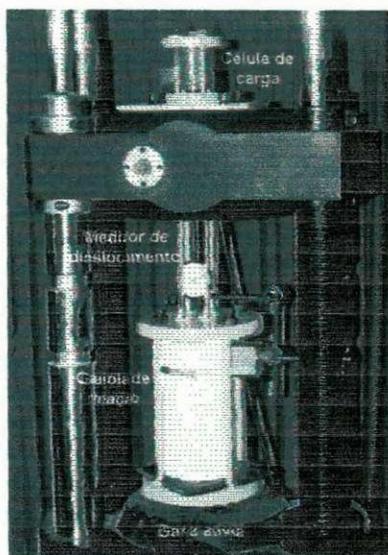


Figura 80 – Detalhes do ensaio de arrancamento

3.2.2. VIGAS REFORÇADAS COM BAMBU

3.2.2.1. CONFECÇÃO DAS VIGAS E PREPARAÇÃO DAS BARRAS

Foram utilizadas dois tipos de forma para as vigas uma de madeira que foi confeccionada em tábuas de eucalipto nas laterais e em chapa de madeira de canela no fundo e uma de aço. Ambas receberam tratamento impermeabilizante, bem como desmoldante nos dias de concretagem.

A armadura de tração foi composta de duas hastas de bambu cortadas com seção transversal de $2 \times 2 \text{ cm}^2$ e um comprimento de 260 cm. Nelas eram perfurados e encravados os diferentes tipos de pinos utilizados na pesquisa como mostra em detalhe as figuras 81, 82 e 83.

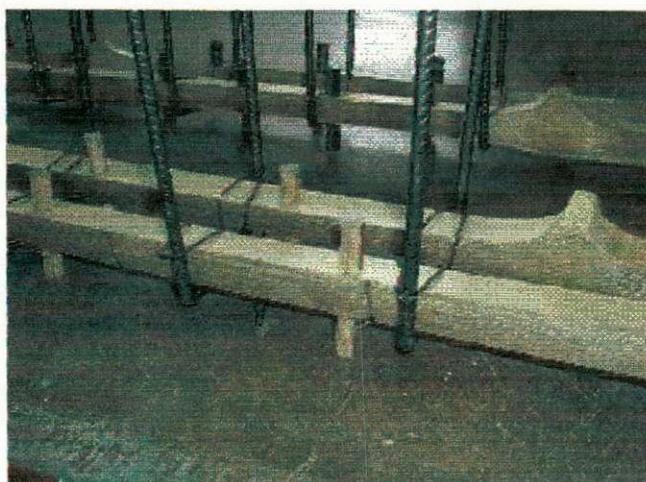


Figura 81: Detalhe dos pinos cravados na armadura de tração



Figura 82: Armadura de tração reforçada com pinos de aço e pinos de bambu.

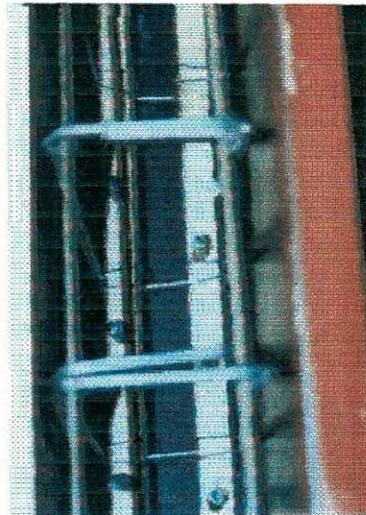


Figura 83: Armadura de tração reforçada com pinos de aço colocada na forma para ser concretada.

A armadura transversal, utilizada na montagem da viga, foi constituída por vergalhões de aço CA-50 com diâmetro de 8,0 mm, conforme dimensionamento de forma a haver ruptura por flexão. Foram utilizados em pontos específicos, estribos de 5,0 mm de diâmetro.

3.2.2.2. ENSAIO EXPERIMENTAL

Foram ensaiadas até a ruptura oito vigas de concreto armado simplesmente apoiadas caracterizadas pela presença de tiras de bambu no sentido longitudinal das vigas, e estribos de aço. Além destas, foram ensaiada duas viga de concreto armado, cuja armadura é de aço no sentido longitudinal para comparação de desempenho desta com as de bambu. Em todas as vigas foram estabelecidas as cargas de ruptura e a, carga de fissuração e obtidas as curvas carga flecha no centro do vão.

Todas as dez vigas apresentaram seção transversal retangular com 25 cm de altura, 10 cm de largura e comprimento de 260 cm e vão teórico de 250 cm. Assim, utilizaram-

se armaduras transversais compostas por estribos de dois ramos, com 5mm de diâmetro e espaçados a cada 10 cm na região de flexão pura e a cada 7 cm na região de flexão simples. Objetivando-se assim evitar a condição de colapso por esmagamento do concreto, sua resistência à compressão do concreto foi tomada como igual a 30 Mpa, já que esse valor foi o estabelecido para o concreto que seria utilizado nas vigas.

As características geométricas das vigas como indicado na figura 84 foram escolhidas de forma que a esbeltez l/h , a largura, a altura e comprimento fossem compatíveis com as das estruturas usuais e também a fim de permitir facilidade na concretagem e limitando-se as dimensões da laje de reação para ensaios do Laboratório de Modelos Reduzidos da UNIOESTE, como também dos equipamentos de aplicação de carga indicado nas figuras 85 e 86.

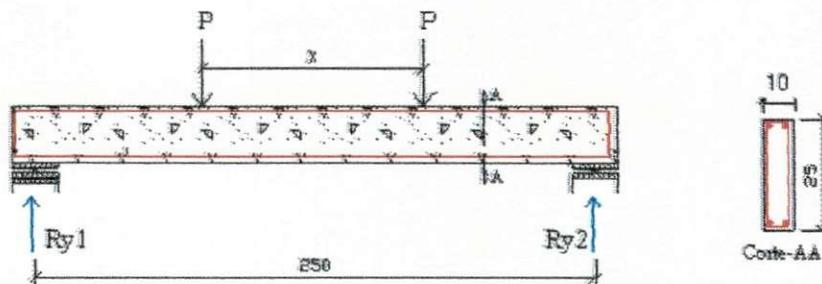


Figura 84: Geometria da viga

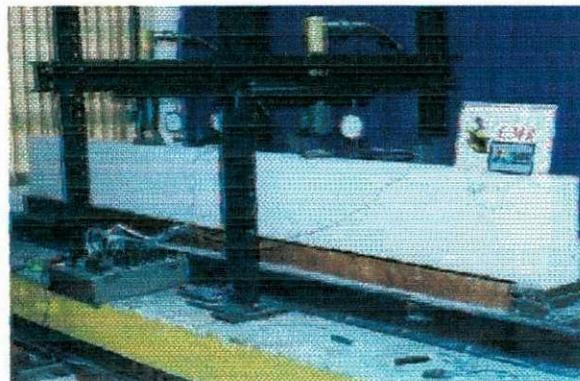


Figura 85: Laje de reação para ensaios do Laboratório de Modelos Reduzidos e equipamentos de aplicação de carga.

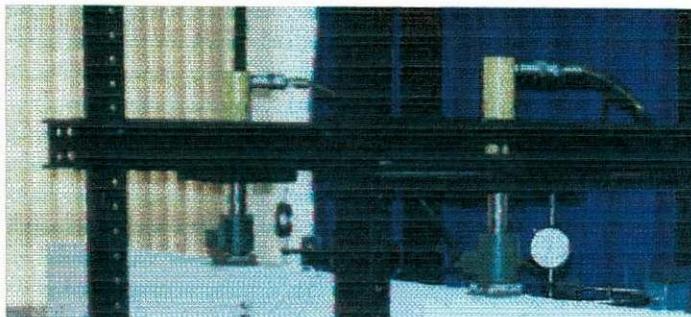


Figura 86: Detalhe dos equipamentos de aplicação de carga.

Para a preparação das armaduras das oito vigas de bambu, os colmos foram selecionados, após secagem, sendo utilizado apenas os trechos intermediários. Em seguida esses foram levados a uma marcenaria, onde foram serrados em serra circular. Foram extraídos dos colmos varas de comprimento de 2,6 m e seções transversais retangulares com largura de 2 cm e espessura aproximadamente igual a 2 cm. Após o corte, as varas foram escovadas e limpas. Em seguida, elas tiveram sua seções transversais medidas com paquímetros de 0,01 mm de sensibilidade a cada 25 cm. Com a ajuda de uma furadeira de bancada os orifícios de 8mm de diâmetro para a cravação dos pinos de bambu e de aço. Ao final desse procedimento, as barras de bambu foram selecionadas para a montagem das armaduras, tendo-se o cuidado de manter os nós em posições intercaladas. As duas vigas foram armadas com duas varas de bambu de 2 cm x a espessura; três das vigas foram armadas com duas varas de bambu de 2 cm x a espessura reforçada com 2, 3 e 4 pinos de bambu por internódio respectivamente; três das vigas foram armadas com duas varas de bambu de 2 cm x a espessura reforçada com 2, 3 e 4 pinos de aço por internódio respectivamente.

As armaduras longitudinais das vigas de referência foram calculadas de modo que apresentassem o mesmo índice de reforço das vigas de bambu. Com base nesse princípio,

adotaram-se duas barras de 8 mm compondo a armadura longitudinal das vigas de referência. Foram confeccionadas duas vigas de referência, as quais foram nomeadas de vigas 1 e 2.

As vigas foram moldadas em fôrmas metálicas e de madeira e tiveram o concreto vibrado mecanicamente por meio de vibrador de agulha. Após a concretagem, espumas molhadas foram dispostas sobre a mesma por um período de 24 h. Em seguida, as vigas foram desformadas, regadas com água e cobertas por lona plástica, permanecendo assim por 7 dias. Durante a concretagem de cada duas vigas, três corpos-de-prova cilíndricos 150 mm x 300 mm foram moldadas para avaliação da resistência à compressão. Os corpos-de-prova foram submetidos ao mesmo processo de cura das vigas. Após o processo de cura, as vigas foram preparadas para o ensaio, que ocorreu aos 7 dias após a concretagem.

Os outros instrumentos utilizados para a coleta de dados necessários à análise do comportamento dos espécimes foram: relógios comparadores, fissurômetro acompanhado de lupas com lentes de ampliação equivalente a 20 vezes, possibilitando leituras de fissuras da ordem de 0,01 mm, a figura 87 mostra o detalhe do sistema de aquisição de dados.

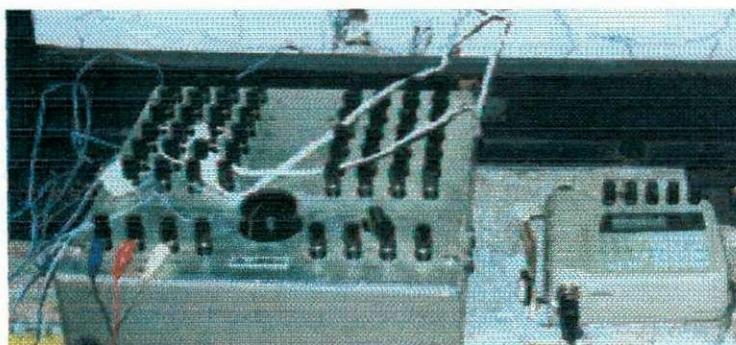


Figura 87: Detalhe do sistema de aquisição de dados

Para medição da abertura de fissuras foram utilizadas lupas com as quais eram feitas comparações entre a fissura e um gabarito, resultando no tamanho da abertura.

Foram utilizados também dois extensômetros de resistência elétrica com o objetivo de medir as deformações no concreto e na armadura longitudinal no meio do vão. Desses um foi disposto em uma das barras da armadura longitudinal e o outro disposto na face superior das vigas no concreto como indicado na figura 88..



Figura 88: Extensômetros utilizados para se obter as deformações do concreto

Resultados e Discussão

4

Capítulo

4.1. Ensaios de aderência

4.1.1. Comportamento geral

A metodologia de ensaio utilizada mostrou-se adequada, não sendo detectados deslocamentos parasitas devido à acomodação e deformações da gaiola nem do cilindro de concreto. Na grande maioria dos corpos-de-prova foi possível conduzir o ensaio até o deslocamento relativo bambu-concreto de 5 mm. Apenas em alguns corpos-de-prova com dois pinos de aço as varetas de bambu romperam à tração, quando o deslocamento relativo se aproximava daquele valor. Apesar desse fato, esses ensaios não foram comprometidos, uma vez que, os deslocamentos relativos já eram bem superiores ao valor utilizado para o cálculo das tensões de aderência, 0,1 mm. Chama-se a atenção que o que aqui se denomina tensão de aderência na realidade não passa de um valor convencional correspondendo a uma força de arrancamento dividida por uma área correspondente ao trecho central da vara de bambu imersa

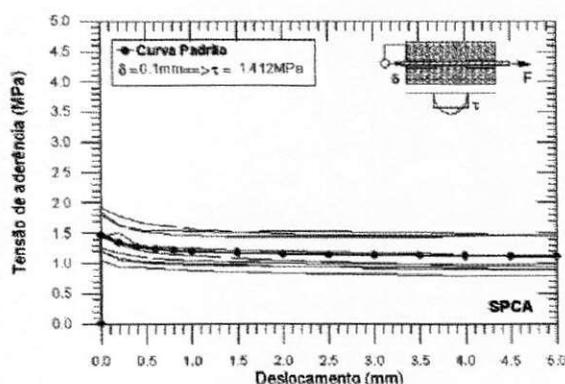
no concreto. Nesses ensaios, as curvas tensão de aderência vs. deslocamento relativo bambu-concreto foram extrapoladas por meio de polinômios obtidos por análise de regressão sobre os dados dos ensaios.

Nas figuras 89 e 90 apresentam-se as curvas tensão convencional de aderência vs. deslocamento relativo bambu-concreto para os diversos corpos-de-prova. Observa-se em cada caso uma boa uniformidade nos diagramas das 10 réplicas o que indica sempre um comportamento semelhante. Nas curvas das varetas de bambu sem pino, observa-se que o comportamento dessas são semelhantes à curva de aderência do aço liso. Inicialmente, nota-se um trecho vertical, que se caracteriza pela parcela da aderência por adesão – estágio 1; em seguida, após o estágio 1, evidencia-se um pequeno pico de tensão e o início da aderência por atrito – estágio 2. Após o ensaio, os blocos cilíndricos de concreto foram partidos ao meio por compressão diametral. Na figura 91 apresentam-se detalhes da superfície das varetas SPCA após ensaio. Constata-se que em certas regiões pasta de concreto ficou aderida ao bambu, caracterizando cisalhamento da pasta. Nos corpos-de-prova 1PACA, após o estágio 1 e 2, nota-se que o aumento da tensão de aderência devido à aderência mecânica não foi significativo. Analisando-se as varetas de bambu após ensaio na figura 91 observa-se que este comportamento foi provocado por causa do esmagamento da parede do bambu em contato com o pino de aço. Deste modo, apesar do pino de aço criar uma elevada aderência mecânica, essa não consegue se desenvolver efetivamente, uma vez que a resistência ao esmagamento da parede do furo do bambu é pequena. Nos corpos-de-prova 1PBCA, a parcela de aderência mecânica só foi evidenciada para deslocamentos superiores a 1 mm, mesmo assim, o aumento da tensão não foi significativo. Nesses corpos-de-prova, observou-se tanto esmagamento do pino de bambu quanto da parede do furo das varetas ver Figura 91. Finalmente, nos corpos-de-

prova 1PCCA, que completam a primeira série de ensaios, o comportamento geral das curvas foi semelhante as dos SPCA. Em instante algum, verificou-se nesses diagramas a parcela de aderência mecânica. Pode-se afirmar que esses pinos são ineficazes. Observa-se que os pinos de concreto cisalham logo que é vencida a aderência por adesão como indicado na figura 91.

Analisando-se os diagramas dos corpos-de-prova 1PASA, 1PBSA e 1PCSA, observa-se que os pinos sozinhos são capazes de impedir o deslocamento relativo até certo nível de carga. O comportamento geral desses corpos-de-prova foi semelhante ao dos com aderência, tanto na forma dos diagramas como nos modos de colapsos; contudo, nota-se uma queda no valor máximo correspondente ao deslocamento nulo.

Ao se comparar os diagramas 2PACA com os 1PACA, verifica-se um aumento de 60% na tensão para o ponto de deslocamento nulo, mantendo-se esse comportamento até o deslocamento de 5 mm. Para os diagramas 2PBCA e 1PBCA o comportamento foi similar aos com pinos de aço; contudo, o aumento relativo da tensão foi de aproximadamente 43%. Já para os diagramas 2PCCA e 1PCCA o aumento relativo da tensão foi insignificante. Por fim, observou-se que o modo de colapso dos corpos-de-prova com dois pinos foi semelhante aos modos apresentados na figura 91 para os corpos-de-prova com apenas um pino.



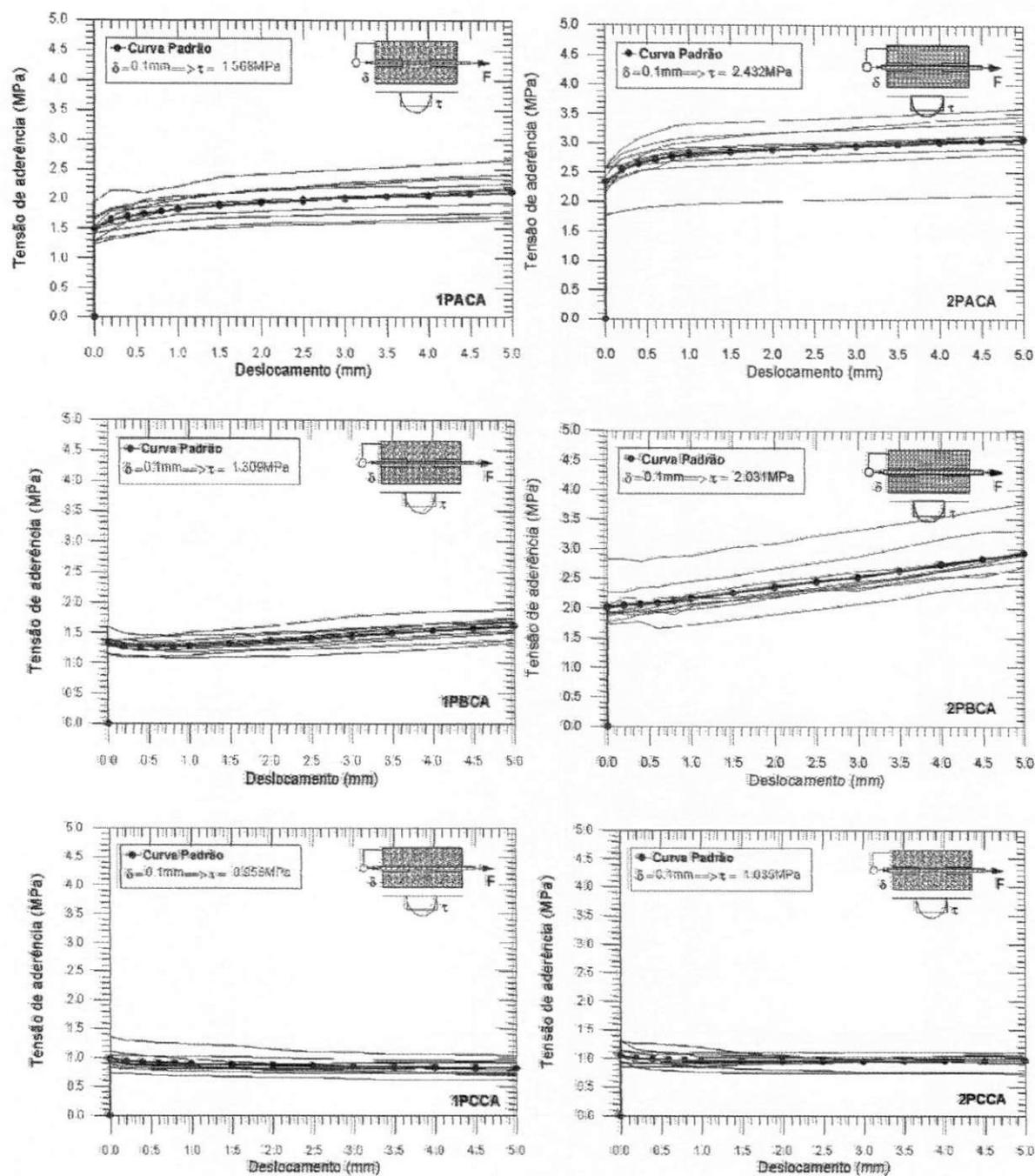


Figura 89 – Diagramas tensão de aderência vs. deslocamento relativo bambu-concreto para os diversos corpos-de-prova

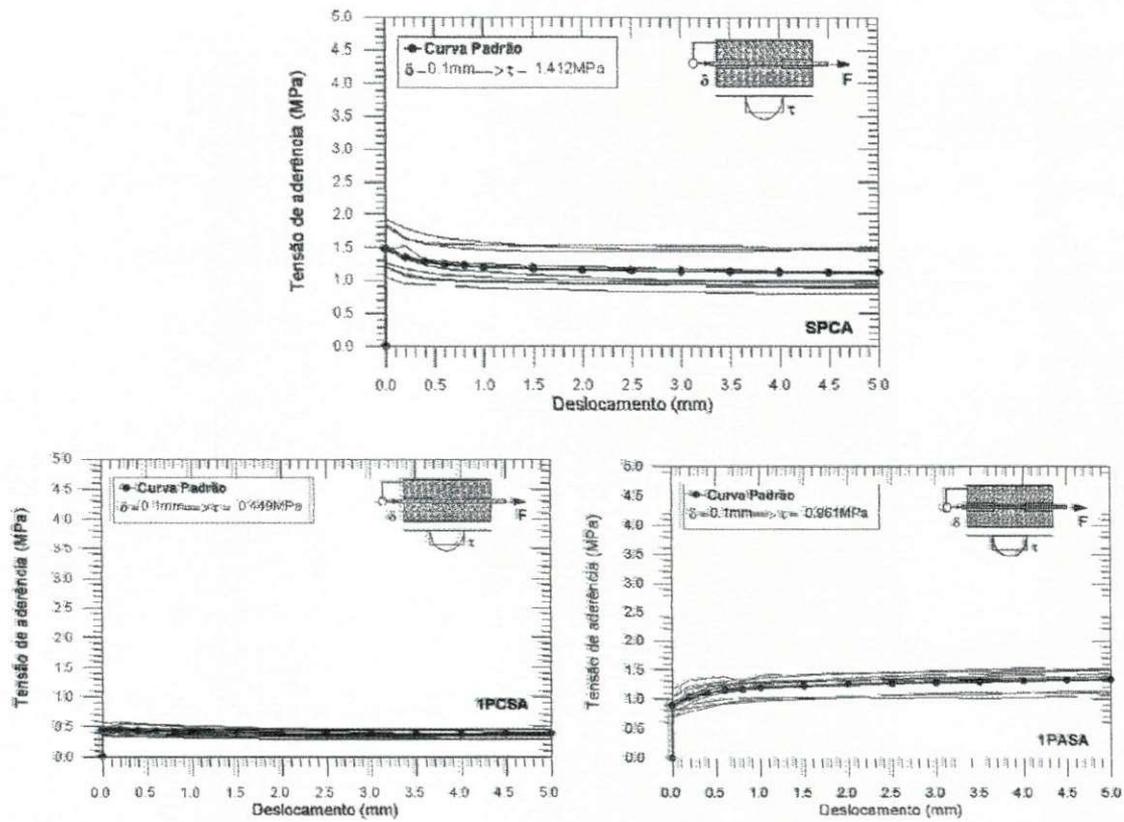


Figura 90 – Diagramas tensão de aderência vs. deslocamento relativo bambu-concreto para os diversos corpos-de-prova

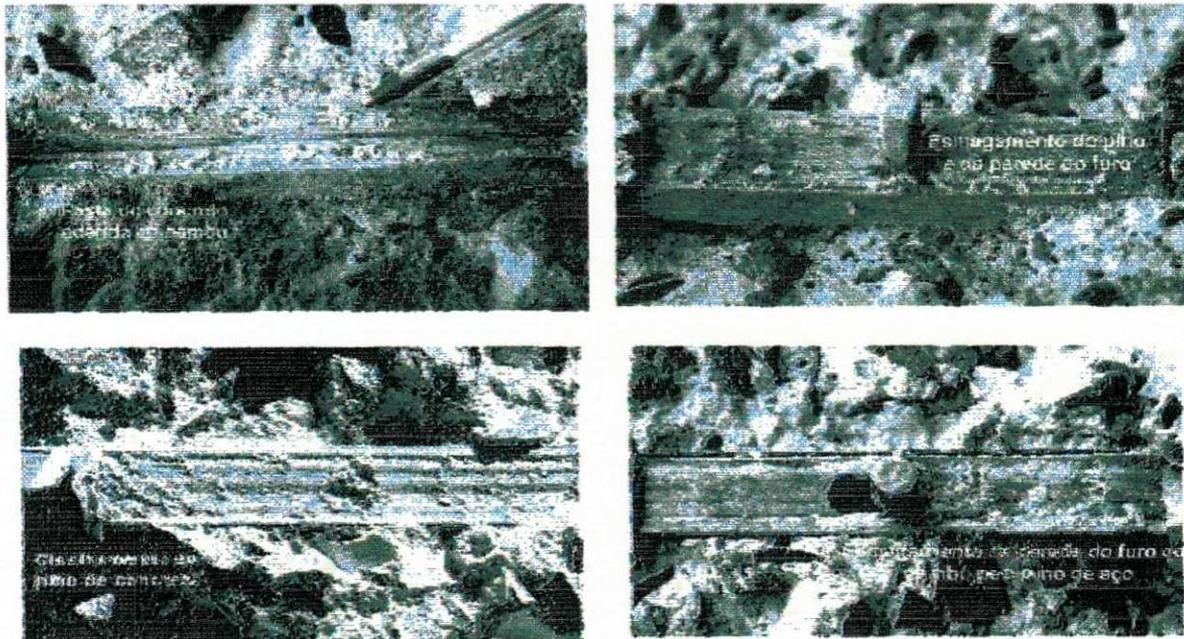


Figura 91 – Aparência das varetas de bambu após o teste de arrancamento

4.1.2. Tensão de aderência

Na tabela 3 apresentam-se as tensões de aderência para cada tipo de corpo-de-prova, calculadas com base na Eq.(1), com as respectivas tensões médias e os desvios-padrão. Czarnieski et alii ensaiou varetas de bambu utilizando a mesma metodologia do presente trabalho, nas quais a aderência por adesão ao longo dos 30 cm imersos no concreto foi eliminada por graxa e camadas de papel. Os autores em questão obtiveram tensão de aderência média de 0,07 MPa. Comparando esse valor com os resultados das varetas com pinos de aço, bambu e concreto e sem aderência, observa-se que os pinos elevaram a tensão de aderência bambu-concreto, sendo responsáveis por um acréscimo de 0,89 MPa, 0,78 MPa e 0,38 MPa, respectivamente.

Tabela 3 – Tensões de aderência dos corpos-de-prova (MPa) obtidos nos ensaios

Tipo	Corpos-de-prova										$\tau_{bm} - s$
	CP1	CP2	CP3	CP3	CP5	CP6	CP7	CP8	CP9	CP10	
SPCA	1,000	1,480	1,715	1,855	1,385	1,135	1,145	1,215	1,435	1,750	1,41-0,29
IPASA	0,800	1,005	1,130	0,750	1,240	0,920	0,850	1,100	0,830	1,005	0,96-0,16
IPBSA	0,680	1,025	0,885	0,995	0,815	0,745	0,855	0,740	0,935	0,780	0,85-0,11
IPCSA	0,425	0,435	0,465	0,405	0,570	0,510	0,470	0,345	0,370	0,490	0,45-0,07
IPACA	1,520	1,325	1,440	1,755	1,275	1,370	1,730	2,025	1,585	1,655	1,57-0,23
IPBCA	1,290	1,265	1,370	1,350	1,380	1,555	1,285	1,330	1,120	1,145	1,31-0,12
IPCCA	0,970	0,860	0,910	0,910	0,725	1,330	0,810	1,040	1,085	0,935	0,96-0,17
2PACA	2,590	1,795	2,350	2,685	2,590	2,735	2,335	2,310	2,360	2,575	2,43-0,27
2PBCA	1,913	1,740	1,920	1,935	2,820	2,265	1,793	2,107	1,890	1,920	2,03-0,31
2PCCA	1,010	1,110	1,130	1,240	0,860	0,920	0,915	0,900	1,280	0,995	1,04-0,15

OBS.: τ_m é a tensão média de aderência e s o desvio-padrão.

Subtraindo-se os valores das tensões de aderência média dos corpos-de-prova 1PACA, 1PBCA e 1PCCA da parcela de tensão gerada apenas pelos pinos (0,89 MPa, 0,78 MPa e 0,38 MPa, respectivamente), obtém-se para os pinos de aço, bambu e concreto os valores de 0,68 MPa, 0,53 MPa e 0,58 MPa, respectivamente. Esses valores de tensões correspondem à parcela da tensão de aderência por adesão mais atrito, que em média foi de 0,60 MPa. Observa-se que a diferença entre estes valores para os três pinos foi pequena, considerando-se os desvios-padrão das amostras. Os corpos-de-prova com varetas de bambu sem pinos apresentaram tensão média de aderência de 1,41 MPa, ou seja, 135% superior ao valor da tensão de aderência de adesão mais atrito obtido para os corpos-de-prova com pinos.

Ao contrário do esperado o efeito de superposição das tensões não ocorreu. Acredita-se que esse fato seja proveniente da presença do furo. Observa-se que as paredes paralelas às fibras das varetas de bambu apresentam uma permeabilidade inferior as paredes transversais. Isto faz com que haja uma maior absorção da água de amassamento do concreto na região do furo, comprometendo ainda mais a aderência bambu-concreto. Ainda, no caso dos corpos-de-prova com pinos de bambu esse efeito é mais intenso, uma vez que os próprios pinos também absorvem água.

Outro fato que merece menção é que apesar de cravados sob pressão, os pinos de bambu não apresentavam seção transversal circular uniforme, visto que foram confeccionados manualmente. Isto pode ter gerado concentrações de tensões na parede do furo e provocar acomodações dos pinos. Deste modo, sugere-se um estudo específico para avaliar o efeito da absorção de água e da variação dimensional do bambu imerso na massa do concreto.

O ganho de resistência entre os corpos-de-prova com um e dois pinos de concreto foi praticamente desprezível, devido ao fato já explicado no parágrafo anterior.

Nos corpos-de-prova com dois pinos de aço e dois pinos de bambu verifica-se que a tensão de aderência foi maior que a dos corpos-de-prova sem pinos, em média de 73% e 44%, respectivamente. Ainda, considerando-se a parcela de aderência mecânica gerada por cada pino de aço e bambu (0,89 MPa e 0,78 MPa, respectivamente) e a parcela da aderência por adesão mais atrito (0,68 MPa e 0,53 MPa, respectivamente), as tensões de aderência médias para os 2PACA e 2PBCA calculada com esses valores são 2,46 MPa e 2,09 MPa, respectivamente. Observa-se que esses valores diferem dos valores das tensões apresentadas na Tabela 3 de somente 1,23% e 2,96%.

4.1.3. Tensão de aderência de cálculo

Para calcular o valor da tensão de aderência de cálculo do bambu, inicialmente calculou-se a tensão de aderência característica. Para tanto, considerou-se uma distribuição normal dos dados e uma probabilidade de apenas 5% dos valores serem inferiores ao valor característico. Assim, a tensão característica de aderência pode ser calculada com base na Eq.(2):

$$\tau_{bk} = \tau_{bm} - \frac{p \cdot s}{\sqrt{n}} \quad \text{Eq.(2)}$$

τ_{bm} → é a tensão de aderência média,

s → é o desvio-padrão da amostra,

n → é o número de leituras e

p → é um coeficiente estatístico que para o quantil de 5% é 1,645.

Para calcular o valor da aderência de cálculo do bambu (τ_{bd}) utilizou-se o coeficiente de segurança sugerido pelo Eurocode de 2,15 para o aço-concreto.

Na tabela 4 apresentam-se os valores característicos e de cálculo da tensão de aderência para o bambu. Observa-se que a diferença entre a tensão de aderência de cálculo do bambu sem pino e o aço liso é de 30%. Observa-se que este valor de tensão de aderência de cálculo permite a utilização de varas de bambu como reforço em elementos estruturais de concreto armado. A cravação de um pino de aço e de bambu praticamente não geraram aumentos significativos na tensão de aderência de cálculo; contudo observa-se que quando 2 pinos de aço e de bambu são introduzidos ocorre uma elevação da ordem de 80% e 50% na tensão de aderência de cálculo, respectivamente, e que obtém-se valores superiores aos das barras de aço liso.

Tabela 4 – Tensões de aderência para o bambu e comparação com o aço liso (MPa)

Tipo	τ_{bm}	τ_{bk}	Tensão de aderência para		τ_{bd}/τ_{ad}
			τ_{bd}	a barra de aço lisa (τ_{ad})	
SPCA	1,41	1,26	0,59		0,70
1PACA	1,57	1,45	0,67		0,80
1PBCA	1,31	1,25	0,58		0,69
1PCCA	0,96	0,87	0,41		0,49
1PASA	0,96	0,88	0,41	0,84	0,49
1PBSA	0,85	0,79	0,37		0,44
1PCSA	0,45	0,41	0,19		0,23
2PACA	2,43	2,29	1,06		1,26
2PBCA	2,03	1,88	0,88		1,05
2PCCA	1,04	0,96	0,45		0,54

Apesar dos bons resultados observados nos corpos-de-prova com pinos de aço e de bambu, a utilização dessa técnica necessita de uma maior investigação, quando de sua aplicação em elementos estruturais de concreto armado. Isto se faz necessário, uma vez que, a introdução dos pinos reduz drasticamente a área da seção transversal resistente a esforços de tração das varas de bambu. Assim, considerando uma vara de 2cm x 1cm e furos de 8mm de diâmetro, a capacidade de carga à tração das varas é reduzida em 40%.

4.2.VIGAS DE CONCRETO-BAMBU

Na figura 93, apresentam-se os diagramas força x deslocamento das vigas de bambu e das vigas de referencia. Comparando-se os diagramas das vigas de bambu com os das vigas de referencia, constata-se que as vigas armadas com aço apresentaram maior rigidez, fato este esperado, uma vez que o modulo de elasticidade do aço é cerca de 14 vezes superior ao do bambu. Ainda verificou-se que a carga máxima de ruptura das vigas 7 e 8 foi cerca de 25% inferior em relação às de referencia, enquanto que nas vigas que continham pinos essa diferença acentuou-se, ficando as vigas com uma resistência media cerca de 30,5% menor. A resistência final foi particularmente prejudicada nas vigas que continham maior quantidade de pinos, fato esse explicado pela redução da área da seção transversal da armação provocada pela cravação dos pinos como indicado na figura 92.

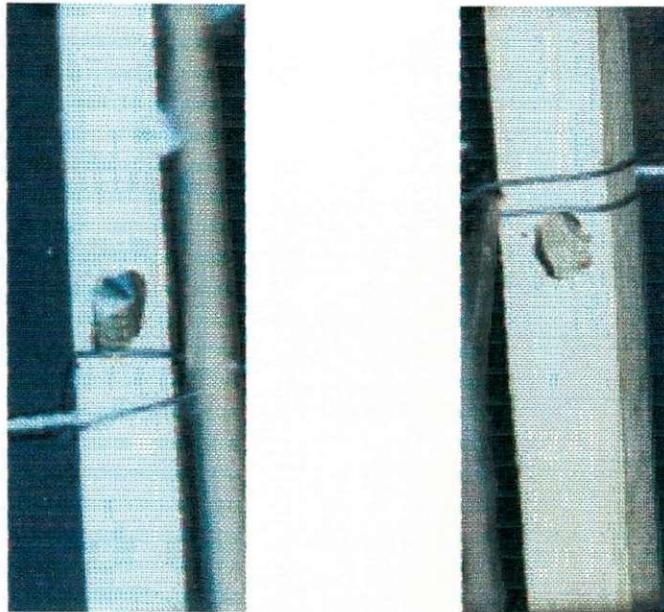


Figura 92: Redução da área da seção transversal provocada pela cravação dos pinos

Outra razão para essa redução foi o fato de ter sido utilizado no cálculo a resistência do bambu como sendo o valor médio das resistências nodal e internodal de 187 MPa, entretanto, o valor real da resistência das varas de bambu é menor que esse valor.

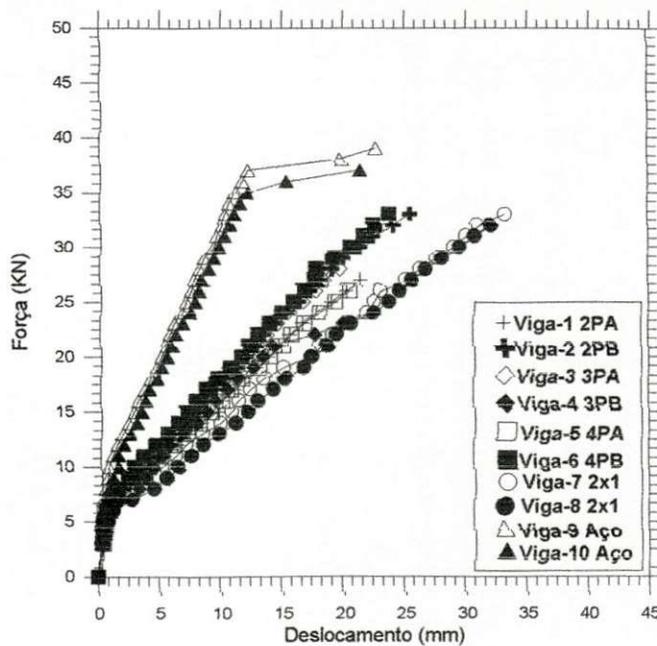


Figura 93: Gráfico força x deslocamento

Observa-se que os diagramas das vigas de referência seguiram exatamente o padrão esperado. Inicialmente, verificou-se um trecho retilíneo com grande inclinação entre o valor da força nula e de aproximadamente de 7 kN. Nesse ponto observou-se o aparecimento da primeira fissura de flexão e, conseqüentemente, a redução da rigidez viga. A partir daí, o diagrama apresentou-se linear com uma inclinação da ordem de 63% em relação ao trecho inicial. Esse segundo trecho iniciou-se com força de aproximadamente de 7 kN estendeu-se até a força de 37 kN. Para essa última intensidade de força, observou-se o início do escoamento da armadura longitudinal, caracterizada pelo trecho horizontal do diagrama força x deslocamento.

Os diagramas das vigas de concreto reforçadas com bambu também se comportaram como o previsto. Inicialmente, verificou-se um trecho retilíneo entre a intensidade de força nula e de aproximadamente 7 kN, onde iniciou-se o processo de fissuração do concreto.

Como também pode ser observado na figura 95, a cravação dos pinos provocaram um pequeno aumento na rigidez da peça, tendo os pinos de bambu produzido resultados ligeiramente superiores. Isto pode ser explicada pela existência de possíveis rachaduras produzidas na armação quando da cravação dos pinos de aço que fragilizaram ainda mais a estrutura do bambu, o que não ocorreu durante a colocação dos pinos de bambu, já que eles podiam ser facilmente ajustados aos orifícios com o auxílio de um simples estilete.

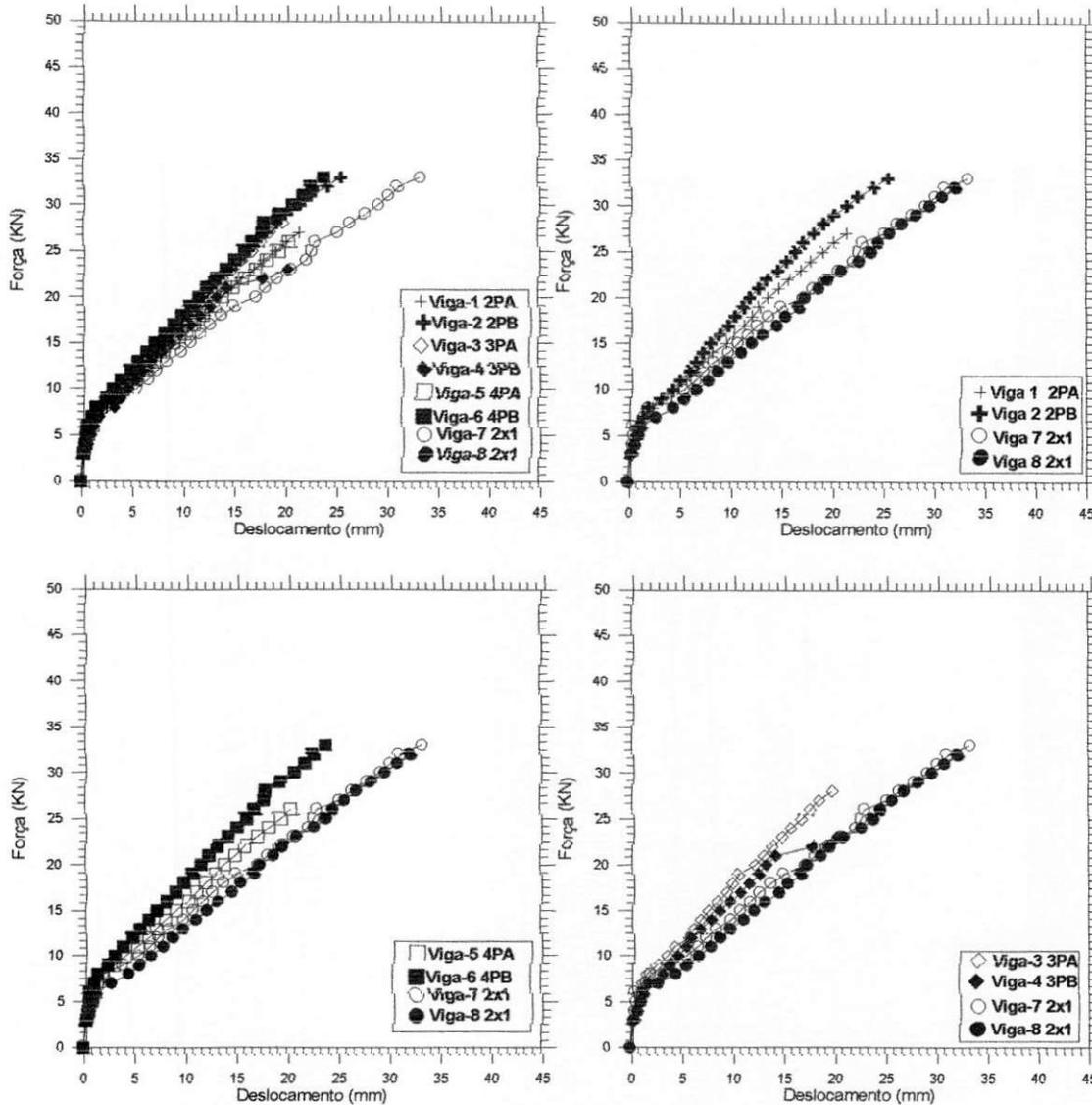


Figura 95: Aumento da rigidez com a utilização dos pinos

Embora os pinos tenham provocado um ligeiro aumento na rigidez da estrutura por outro lado provocaram uma redução na carga ultima de ruptura, já que eles causaram uma diminuição da área de bambu que efetivamente resistia à tração, fazendo com que a totalidade das vigas ensaiadas tivessem sua ruptura em regiões que continham esses pinos ou em regiões que continham nós figuras 96 e 97, já que na região nodal a resistência à tração do bambu é

sensivelmente menor. As vigas que continham maior quantidade de pinos por internódio tiveram a sua resistência final particularmente prejudicada.

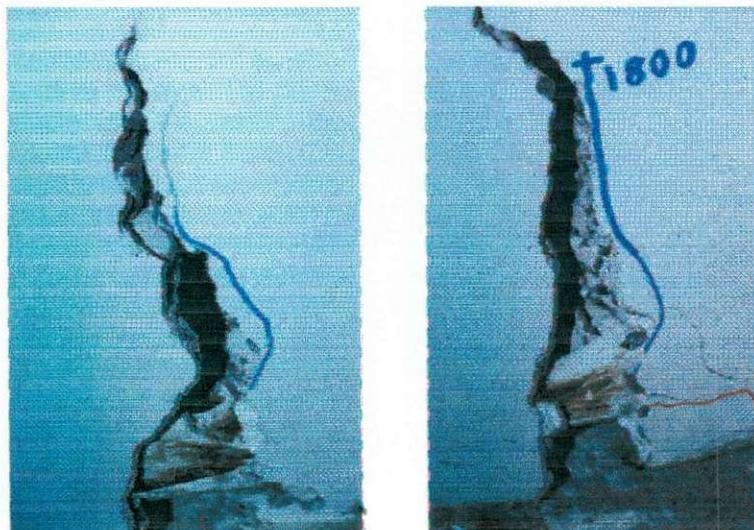


Figura 96: Colapso em regiões da viga que possuía nó



Figura 97: Colapso em regiões da viga que continha pino

Observou-se também nas vigas que continham pinos um aumento no número de fissuras em relação às vigas que não os possuíam. Os pinos de aço induziram o

aparecimento de fissuras onde eles se localizavam como indicado na figura 98. De fato, os pinos procuram impedir o deslocamento relativo da armadura nos pontos onde estão instalados e ali também ocorre fragilização da armadura devido à redução da sua seção transversal, o que a torna mais deformável.



Figura 98: Detalhe da fissuração provocada pelos pinos

COMPORTAMENTO CARGA – FLECHA

Para o cálculo das deformações teóricas das vigas ensaiadas usou-se o modelo bi-linear. De forma simplificada pode-se dizer que, após fissuração a flecha em uma seção de referência ficara situada entre a flecha δ_I obtida considerando-se toda a viga no estágio I (não fissurada) e a flecha δ_{II} obtida considerando-se toda a viga no estágio II puro, qual seja a viga fissurada desde o início do carregamento.

Assim, a flecha em uma seção de referência é dada por:

$$\delta = (1 - \eta)\delta_I + \eta\delta_{II} \dots\dots\dots \text{Eq.(3)}$$

Onde η é o coeficiente de interpolação.

A fissuração ocorre se o momento solicitante máximo M , for maior que o momento de fissuração da viga.

Desta forma considera-se, supondo que exista boa aderência

$$\eta = 0 \quad \text{se } M < M_R \dots\dots\dots \text{Eq.(4)}$$

$$\eta = 1 - \frac{M_R}{M} \quad \text{se } M > M_R \dots\dots\dots \text{Eq.(5)}$$

M_R momento de fissuração

As flechas δ_I e δ_{II} são dadas por :

$$\delta_I = \frac{23PL^3}{648K_I} \quad ; \quad \delta_{II} = \frac{23PL^3}{648K_{II}} \dots\dots\dots \text{Eq.(6)}$$

Sendo K_I e K_{II} as rigidezes à flexão no estágio I e II, respectivamente

K_I e K_{II} são obtidos a partir das equações de equilíbrio das seções nos estádios

I e II respectivamente, que no caso de armadura simples são dadas por:

$$K_I = \frac{1}{2} * E_{cs} * b * h \left[h \left(\frac{2 * h}{3} - d \right) + X_I (2 * d - h) \right] \dots\dots\dots \text{Eq.(7)}$$

Onde :

$$X_I = \frac{b * h^2 + 2 * n * A_s * d}{2(b * h + n * A_s)} \dots\dots\dots \text{Eq.(8)}$$

$$K_{II} = \frac{1}{b * E_{cs}} \left[-E_s * A_s + \sqrt{((E_s * A_s)^2 + 2 * b * E_{cs} * E_s * A_s * d)} \right] \dots\dots\dots \text{Eq.(9)}$$

Sendo:

E_{cs} – Módulo de elasticidade secante do concreto

$$E_{cs} = 5600 \sqrt{F_{ck}} \dots\dots\dots \text{Eq.(10)}$$

E_s – Módulo de elasticidade do reforço

$E_s = 210 \text{ GPa}$ para o aço

$E_s = 17 \text{ GPa}$ para o bambu

$$n = \frac{E_c}{E_{cs}} \dots\dots\dots \text{Eq.(11)}$$

b – largura da seção

h – altura da seção

d – altura útil da seção

X_I e X_{II} – posição da linha neutra nos estádios I e II

O comportamento carga – flecha depende do momento fletor que provoca a primeira fissura. Este por sua vez, é função da resistência à tração na flexão do concreto, $F_{ct,fl}$ da seguinte forma:

$$M_r = \frac{K_f * F_{ct, fl}}{E_{cs}(h - X_I)} \dots\dots\dots \text{Eq.(12)}$$

Em cada viga foi medida a resistência à compressão do concreto e as demais propriedades, módulo de elasticidade e resistência à tração na flexão, foram obtidas a partir daquela pelas expressões:

$$f_{ct,fl} = 0,21 f_c^{2/3} \dots\dots\dots \text{Eq.(13)}$$

correspondendo à resistência à tração mínima da NBR 6118 dividida por 0,7, como indicado para a resistência à flexão.

No cálculo das flechas das vigas reforçadas com bambu foi utilizado um módulo de elasticidade que correspondia a uma média dos valores encontrados experimentalmente para o módulo de elasticidade da região nodal e internodal, do bambu, apresentados na tabela 5 valor esse que ficou em torno de 17 GPa, sendo ele adotado nos cálculos

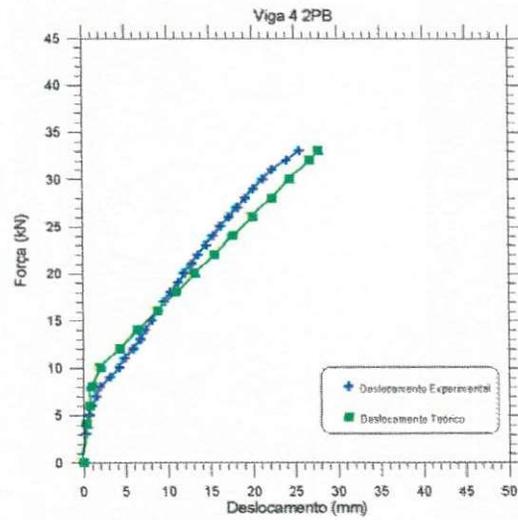
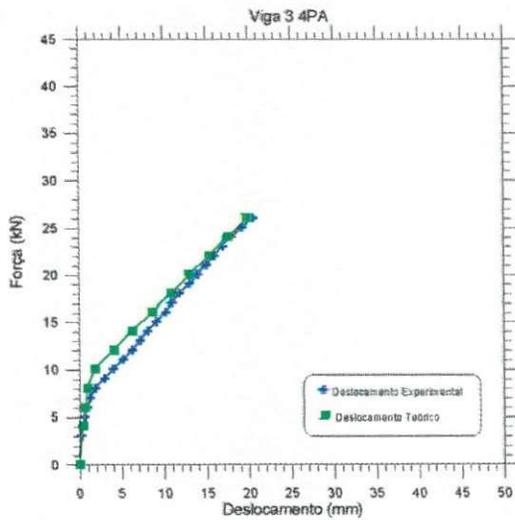
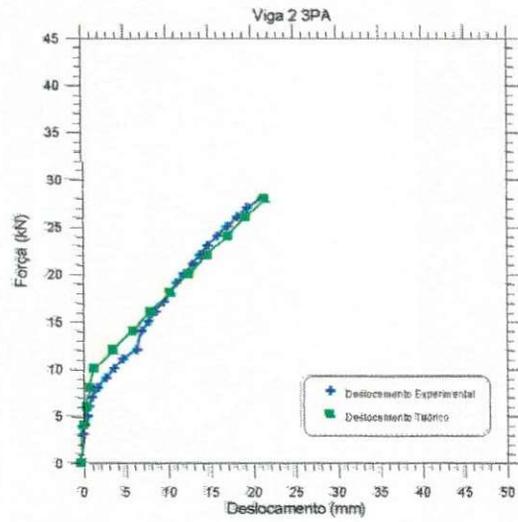
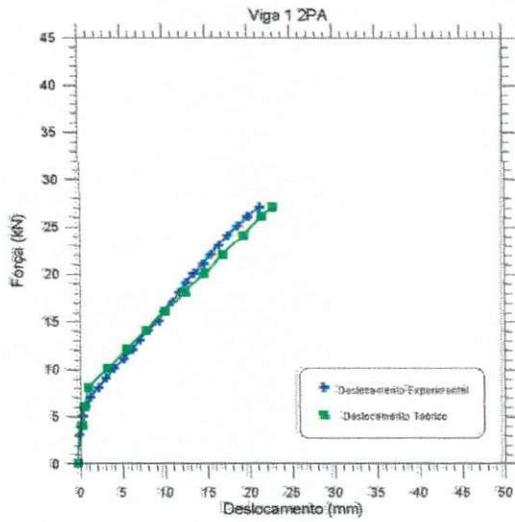
Observando-se os gráficos da figura 99, observa-se uma razoável correlação em relação aos comportamentos da flecha teórica e experimental com relação às vigas reforçadas com bambu e as reforçadas com aço.

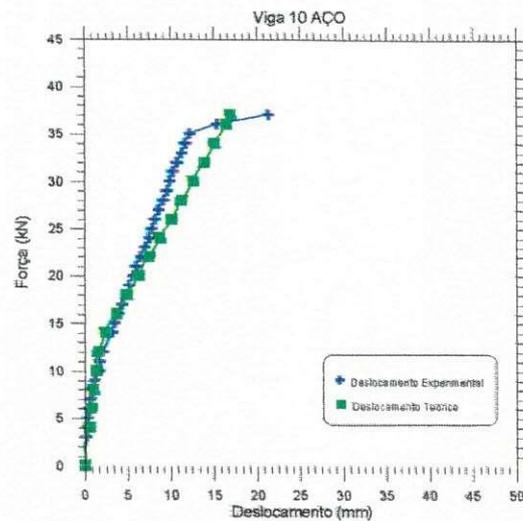
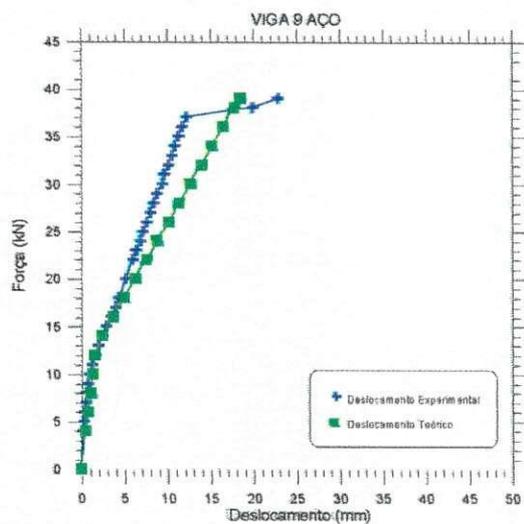
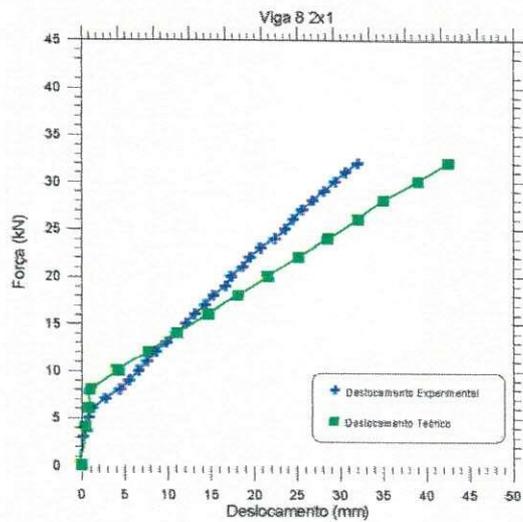
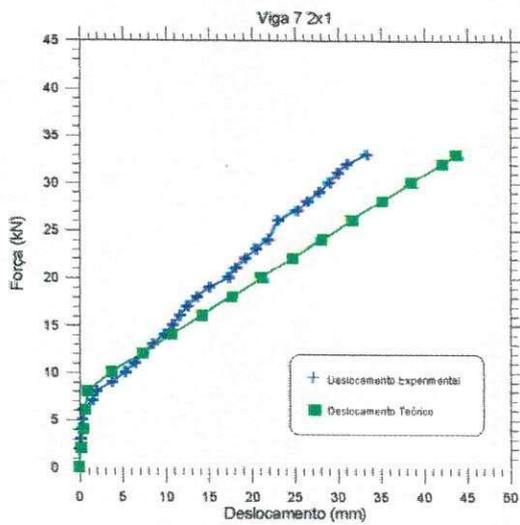
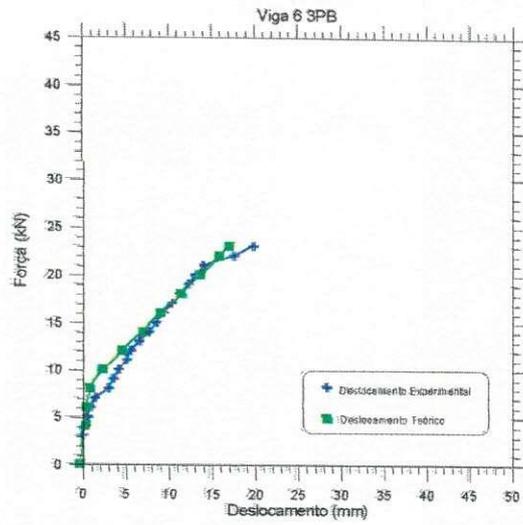
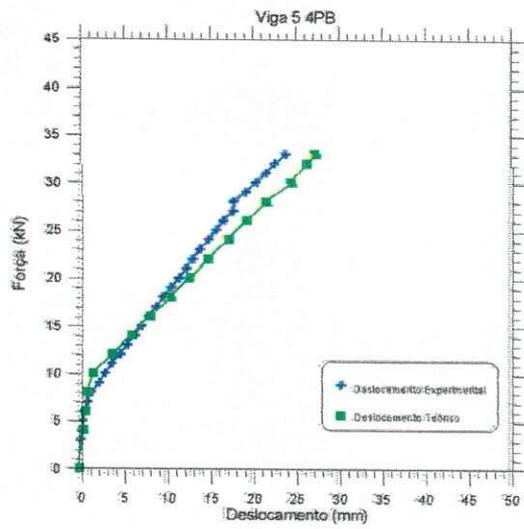
Em todos os gráficos das vigas reforçadas com bambu verificou-se a existência de três trechos bem definidos: o primeiro trecho compreendido entre os valores de carga zero até aproximadamente 7 kN, região essa caracterizada pelo fato de que toda a solicitação de tração ainda está sendo absorvida pelo concreto já que o processo de fissuração ainda não havia começado, o que propiciou um comportamento extremamente realista com relação às formulas sugeridas.

O segundo trecho presente em todos os gráficos das vigas reforçadas por bambu está compreendido entre os valores de carga de 7kN até por volta de 15 kN, região onde já se observa uma ligeira discrepância entre os valores calculados pela formulação sugerida com os valores encontrados experimentalmente. Esse trecho se caracteriza por apresentar fissuras ainda relativamente pequenas o que teoricamente deveria ainda ter pouco efeito sobre a rigidez da estrutura. Mas, como se pode observar nos gráficos, a formula utilizada leva a valores de rigidez um pouco maiores dos que os valores obtidos nos ensaios. Fato esse possivelmente explicado pela quebra da aderência por adesão, e pela mobilização da parcela de aderência relativa ao atrito que é mais efetiva que a parcela por adesão, o que resulta em maior rigidez da peça.

O terceiro trecho está compreendido entre 15 kN até o valor da carga de ruptura da peça, região essa caracterizada pela grande abertura de fissuras nas vigas o que causa uma grande redução na rigidez das peças. Neste domínio de carga, as vigas que possuíam armaduras de bambu reforçadas com pinos tiveram valores de rigidez inferiores aos dos

valores teóricos calculados. A grande abertura das fissuras nas vigas reforçadas com bambu, devido a menor aderência entre o concreto e o bambu em relação ao aço, provoca a diminuição do número de fissuras mas por sua vez deixando as fissuras existentes muito mais abertas o que diminui a rigidez das peças.





Como as cargas comuns em vigas são uniformemente distribuídas, é conveniente transformar o carregamento concentrado, num distribuído equivalente que provoque a mesma flecha na figura 100. Com base na resistência dos materiais tem-se que:

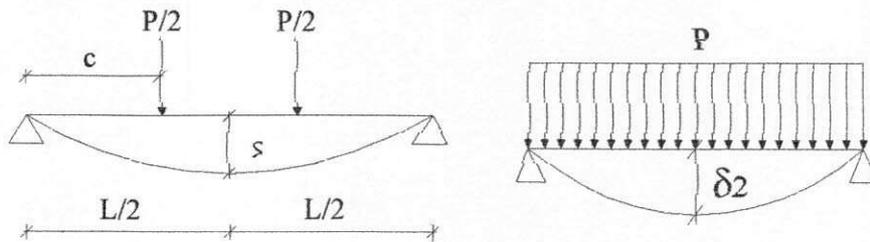


Figura 100: Carregamento pontual, transformado em um distribuído

$$\delta_1 = \frac{P_{ut} * c * (3l^2 - 4c^2)}{24EI} \dots\dots\dots \text{Eq (14)}$$

$$\delta_2 = \frac{5 * q_{ut} * l^4}{384EI} \dots\dots\dots \text{Eq (15)}$$

Igualhando-se as duas equações encontramos para o valor da carga distribuída equivalente a seguinte expressão:

$$q_{ut} = \frac{8 * P_{ut} * c * (3l^2 - 4c^2)}{5l^4} \dots\dots\dots \text{Eq (16)}$$

Onde:

$\delta_1 \rightarrow$ Flecha da viga com carregamento pontual

$\delta_2 \rightarrow$ Flecha da viga com carregamento distribuído

$P_{ut} \rightarrow$ Carga pontual aplicada pelo macaco hidráulico

$q_{ut} \rightarrow$ Carga distribuída equivalente

L → Comprimento do vão

E → Módulo de elasticidade do concreto

I → Momento de Inércia da seção

Como nos ensaios laboratoriais só se considerou o efeito de cargas de curta duração, pode-se estabelecer para comparação do desempenho das vigas o limite de L/500 para a flecha.

Os carregamentos distribuídos equivalentes às flechas de L/500, obtidos das curvas carga – flecha experimental estão indicados na tabela 5 bem como os momentos de utilização e de ruptura das vigas ensaiadas.

Tabela 5: Carregamentos distribuídos equivalentes à flecha de L/500 teóricos e momento de ruptura experimental.

Viga	q_{ut} (kN/m)	δ_1 (mm)	q_{rupt} (kN/m)	δ_2 (mm)	M_{ut} (kNm)	M_{rup} (kNm)	M_{rup}/M_{ut}
Viga 1 2PA	5,80	5,0	14,91	21,6	4,46	11,87	2,66
Viga 2 2PB	6,07	5,0	14,19	25,7	4,67	14,28	3,05
Viga 3 3PA	6,13	5,0	15,46	21,55	4,71	12,00	2,54
Viga 4 3PB	5,52	5,0	12,7	20,22	4,46	9,88	2,21
Viga 5 4PA	5,96	5,0	11,35	20,56	4,59	11,19	2,43
Viga 6 4PB	6,79	5,0	18,22	23,95	5,22	17,29	3,31
Viga 7 2X1	5,41	5,0	18,22	33,45	4,1	14	3,41
Viga 8 2X1	4,69	5,0	17,67	32,15	3,61	13,6	3,76
Viga 9 Aço	10,99	5,0	21,54	22,9	8,45	16,57	1,96
Viga 10 Aço	10,05	5,0	20,43	21,43	7,73	15,72	2,03

Como pode ser observado na tabela 5, verificou-se que as peças só romperam totalmente com valores bem superiores às cargas de utilização, garantindo com isso uma boa margem de segurança.

Como era esperado o maior valor encontrada para a relação M_{rup}/ M_{ut} foi verificado justamente nas vigas de bambu que não continham pinos (vigas 7 e 8), fato esse explicado pela menor carga de utilização das vigas sem pinos. Outro fator que acentuou ainda mais essa diferença foi o fato de que essas vigas alcançaram cargas de ruptura superiores as das outras vigas em análise, devido a não existência de furos na armadura de tração.

Outra observação interessante foi o fato de que a viga 5 como também era esperado proporcionou a menor relação M_{rup}/ M_{ut} . Isto mostra que para cargas pequenas a colocação dos pinos é benéfica, já que as tensões de aderência nas barras de bambu ainda são pequenas, confirmando desse modo o efetivo travamento produzido inicialmente pelos pinos de aço. Com o aumento progressivo de carga ocorrem concentrações de tensão nas zonas dos pinos como indicado na figura 101 e a redução de área provocada pelos furos leva a estrutura à ruptura com cargas bem inferiores as que elas poderiam absorver caso a seção das varas de bambu não tivessem sido reduzidas pela incidência dos furos como mostrado nas figura 101 e 102.

Para as demais vigas foram encontrados valores compreendidos entre esses extremos, ficando mais próximas de um ou outro valor, quanto mais significativos fosse a quantidades de pino por internódio ou redução da armação provocada por eles.



Figura 101: Concentração de tensões provocadas pelos pinos



Figura 102: Redução da secção devido a cravação dos pinos

CARGA DE PRIMEIRA FISSURA

A primeira fissura numa peça de concreto armado fletido ocorre quando a tensão na fibra inferior da seção entre as cargas concentradas $F/2$ da figura 103 supera a resistência à tração do material.

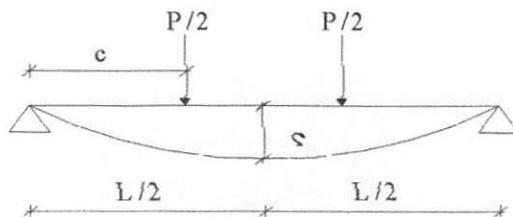


Figura 103: Modelo de carregamento aplicado nas vigas.

Tabela 6: Cargas experimentais e teóricas de fissuração

Viga	fct,fl (MPa)	Ecs (GPa)	n	X ₁	K ₁ (kNm)	Pr(teo) (kN)	Pr(exp) (kN)	Pr(teo)/ Pr(exp)
Viga 1 2PA	2,51	23,24	0,73	12,67	3,74*10 ⁷	7,88	7,0	1,12
Viga 2 2PB	2,65	26,26	0,64	12,65	4,21*10 ⁷	9,19	6,0	1,53
Viga 3 3PA	3,08	27,11	0,62	12,65	4,34*10 ⁷	9,60	6,0	1,60
Viga 4 3PB	2,77	25,10	0,67	12,66	4,03*10 ⁷	8,72	7,0	1,24
Viga 5 4PA	3,0	26,27	0,64	12,65	4,21*10 ⁷	9,36	7,0	1,33
Viga 6 4PB	3,08	27,08	0,62	12,65	4,34*10 ⁷	9,66	7,0	1,38
Viga 7 2X1	2,73	27,74	0,61	12,58	4,41*10 ⁷	8,40	6,0	1,4
Viga 8 2X1	2,66	24,39	0,69	12,60	3,89*10 ⁷	8,20	6,0	1,36
Viga 9 Aço	2,73	24,80	8,46	12,81	4,13*10 ⁷	8,96	6,0	1,49
Viga 10Aço	2,73	24,28	8,64	12,81	4,05*10 ⁷	8,98	6,0	1,49

Na tabela 6 tem-se os valores dos momentos fletores de fissuração experimentais e teóricos

Observa-se que as cargas de fissuração visível nas peças são ligeiramente inferiores as obtidas teoricamente o que indica uma boa correlação entre o modelo de calculo utilizado e os valores obtidos experimentalmente.

Mesmo tendo sido possível o aparecimento de microfissuras não detectadas, antes das cargas indicadas, esses valores não ocasionariam mudanças significativas, visto que as fissuras eram verificadas com o auxilio de lupas a cada interlavo de carga de 1 kN.

Embora a correlação entre os valores obtidos utilizando o modelo de calculo adotado e os obtidos experimentalmente tenham sido próximos para todas as vigas, foi justamente na viga 1 reforçada com dois pinos de bambu que encontrou-se a melhor entre todas as correlações, o que comprova uma razoável aderência entre o concreto e o bambu já que na elaboração o modelo leva em conta a existência de aderência entre a matriz e o reforço como foi realmente observado na verificação das vigas após ensaio como mostrado na figura 104:



Figura 104: Boa aderência entre bambu e concreto

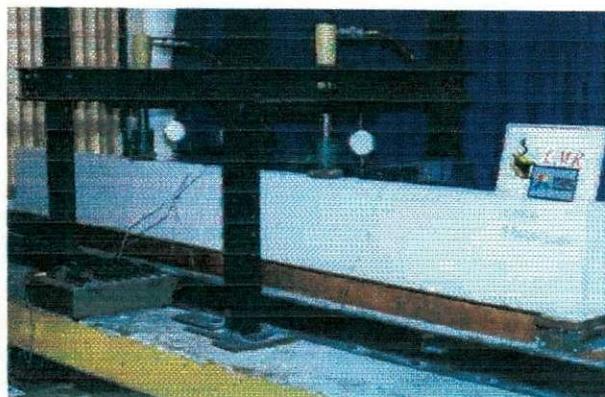


Figura 105: Início de fissuração da viga

Na tabela 7: apresenta-se os valores dos momentos de fissuração teórico e de calculo para as vigas ensaiadas.

Tabela 7: Momentos experimentais e teóricos de fissuração

Viga	fct,fl (MPa)	Ecs (GPa)	n	X ₁	K ₁ (kNm)	Mr(teo) (kN)	Mr(exp) (kN)	Mr(teo)/ Mr(exp)
Viga 1 2PA	2,51	23,24	0,73	12,67	3,74*10 ⁷	3,78	2,91	1,29
Viga 2 2PB	2,65	26,26	0,64	12,65	4,21*10 ⁷	3,83	2,5	1,53
Viga 3 3PA	3,08	27,11	0,62	12,65	4,34*10 ⁷	4,00	2,5	1,60
Viga 4 3PB	2,77	25,10	0,67	12,66	4,03*10 ⁷	3,63	2,91	1,24
Viga 5 4PA	3,0	26,27	0,64	12,65	4,21*10 ⁷	3,90	2,91	1,34
Viga 6 4PB	3,08	27,08	0,62	12,65	4,34*10 ⁷	4,00	2,91	1,37
Viga 7 2X1	2,73	27,74	0,61	12,58	4,41*10 ⁷	3,50	2,5	1,40
Viga 8 2X1	2,66	24,39	0,69	12,60	3,89*10 ⁷	3,42	2,5	1,36
Viga 9 Aço	2,73	24,80	8,46	12,81	4,13*10 ⁷	3,73	2,5	1,49
Viga 10 Aço	2,73	24,28	8,64	12,81	4,05*10 ⁷	3,74	2,5	1,50

4.2.3. COMPORTAMENTO NA RUPTURA

A figura 106 apresenta o aspecto da fissuração de uma das vigas sob níveis de cargas bem elevados. Pode-se observar claramente a enorme abertura da fissura que levou a estrutura ao colapso.

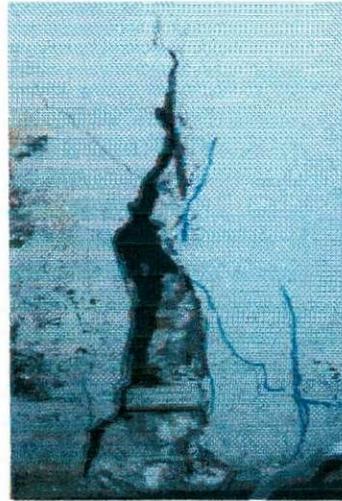


Figura 106: Detalhe da fissuração ocorrida na viga.

Todas as vigas apresentaram rupturas muito semelhantes, ocorrendo por ruptura da armadura de tração. O que caracteriza que as vigas romperam no domínio 2 onde ocorre flexão simples ou composta sem ruptura à compressão do concreto. Os domínios de estado limite último de uma seção transversal são mostrados na figura 107:

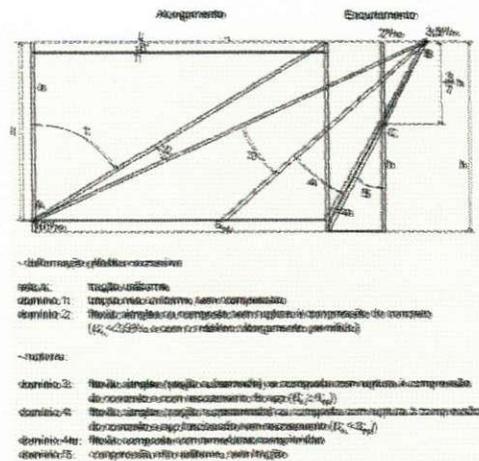


Figura 107: Domínios de estado limite último de uma seção transversal

A figura 108 mostra o aspecto das vigas após os ensaios. Nota-se que as fissuras são mais afastadas entre si que aquelas de uma peça reforçada com aço. O menor módulo de elasticidade do bambu, que é da ordem de um décimo do módulo de elasticidade do aço, provoca aberturas maiores para as fissuras. As fissuras se propagaram até quase toda a altura da peça, o que embora tenha produzido uma pequena área de compressão não foi suficiente para ocasionar a ruptura por esse motivo.

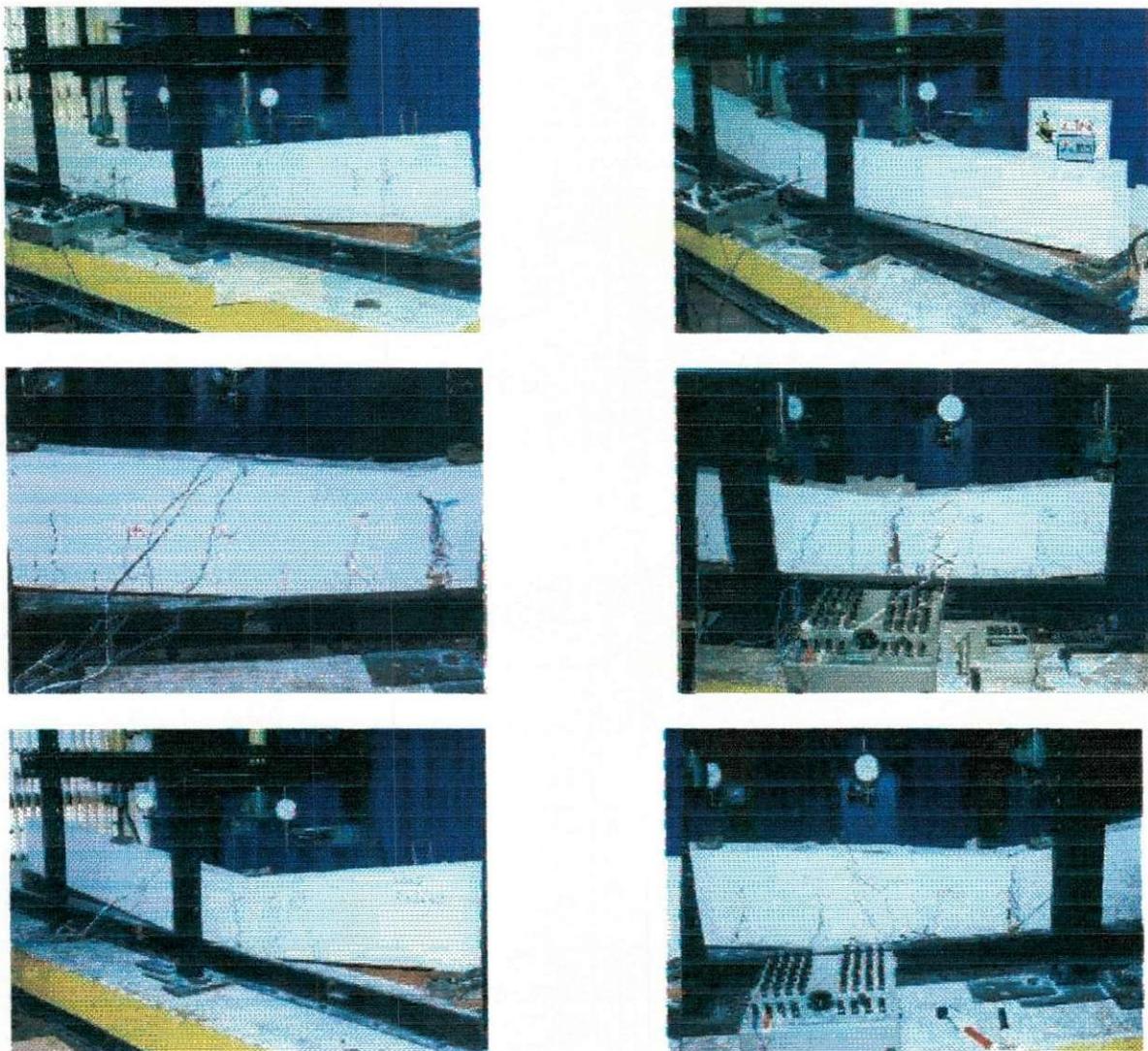


Figura 108: Aspecto das vigas após ensaio

Embora tivesse sido tomado o cuidado de se intercalar os nós e os pinos para que eles não ocorressem na mesma seção, varias fissuras provenientes dessa fragilização ainda puderam ser observadas.

Tendo em vista as tensões relativamente grandes que ocorrem no concreto por ocasião da sua ruptura, é necessário a adoção de um método de análise não linear ou inelástico. Para tanto é suposta uma distribuição linear da tensão através da seção do concreto. Para o concreto as características reais da resistência a compressão como sugeridas por (RUSCH e STOECKL) são adotadas. É suposto um comportamento linear da armação de bambu até a sua ruptura ou até o momento em que se inicia o seu deslizamento dentro da estrutura de concreto.

Pela condição de equilíbrio das tensões como ilustrado na (Figura 109) temos:

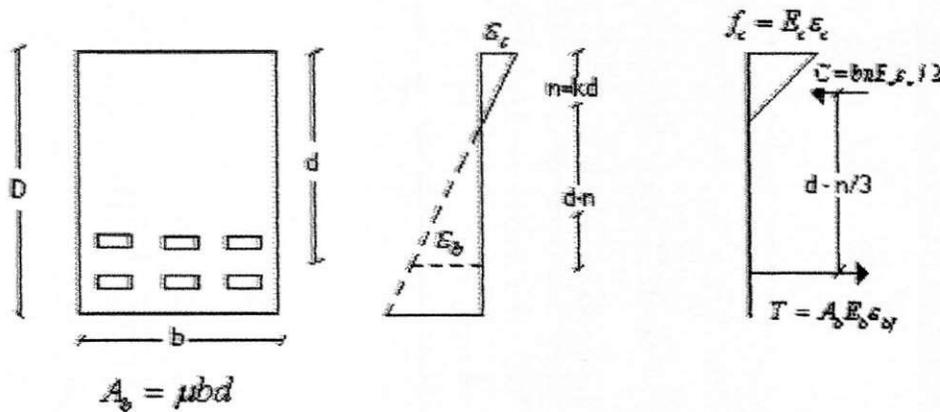


Figura 109: Modelo de calculo

$$n = \frac{\epsilon_{cf}}{\epsilon_{cf} + \epsilon_{bf}} * d \dots\dots\dots \text{Eq (17)}$$

Pela condição de equilíbrio de forças encontramos:

$$C = T \dots\dots\dots \text{Eq (18)}$$

$$\alpha f_c b n = A_b f_{bf} = A_b E_b \varepsilon_{bf} \dots \dots \dots \text{Eq (19)}$$

α → constante que serve para compatibilizar as tensões

Igualando-se as duas equações encontramos para a deformação do concreto a seguinte equação:

$$\varepsilon_{cf} = \frac{\varepsilon_{bf}^2}{\frac{\alpha f_c}{\mu E_b} - \varepsilon_{bf}} \dots \dots \dots \text{Eq (20)}$$

Na medida em que o parâmetro α depende do valor de ε_{cf} esta equação só pode ser resolvida pelo método das tentativas. Já a posição da linha neutra pode ser calculada pela equação (h). Então o momento de ruptura pode ser dado por :

$$M_f = A_b f_{bf} * (d - \beta * n) \dots \dots \dots \text{Eq (21)}$$

Embora a equação 21 represente o momento de ruptura de forma rigorosa, é provável, que para a grande maioria dos casos correntes é possível a adoção de um valor para o braço de alavanca entre 0,9 e 0,95 e calcular o momento de ruptura de forma aproximada. Já que devido ter um modulo de elasticidade baixo em relação ao concreto a linha neutra se localiza muito próximo a superfície superior da viga.

Feito essas simplificações o momento de ruptura para as peças armadas com bambu podem ser calculadas pela seguinte formula:

$$M_{f \approx apro} = (0,9 a 0,95) A_b f_{bf} d \dots \dots \dots \text{Eq (22)}$$

f_{bf} → Resistência a tração de calculo do bambu.

Esta pode ser determinada, para o bambu *Dendrocalamus Giganteus* esse valor fica em torno de 60 MPa. Correia Lima propôs uma resistência característica à tração do bambu dessa espécie de 105 MPa. Adotando-se um coeficiente de minoração de 1,8, tem-se :

$$f_{bd} = \frac{105}{1,8} \approx 58 = 60MPa \dots\dots\dots \text{Eq (23)}$$

Considerando-se um coeficiente de minoração das ações de 1,4 pode-se organizar a tabela 8. É possível verificar o carregamento distribuído que pode ser colocado na viga através da formula:

$$q = \frac{8 * M}{l^2} \dots\dots\dots \text{Eq (24)}$$

Tabela 8: Transformação das duas cargas concentradas em carga distribuida

	P_{rup}	M_{ex}	A_{efet}	d	σ	M_{rd}	M	$M_{exp}/$	q_{rup}
Viga	(kN)	p	(cm^2)	(cm)	(%)	(kNm)	(kNm)	M	(kN/m)
		(kNm)							
2PA	27,93	11,87	4,8	21,7	2,2	5,94	4,24	2,79	5,42
2PB	33,60	14,28	4,8	21,7	2,2	5,94	4,24	3,36	5,42
3PA	28,35	12,04	4,8	21,7	2,2	5,94	4,24	2,83	5,42
3PB	34,58	14,70	4,8	21,7	2,2	5,94	4,24	3,46	5,42
4PA	26,33	11,19	4,8	21,7	2,2	5,94	4,24	2,64	5,42
4PB	23,25	9,90	4,8	21,7	2,2	5,94	4,24	2,33	5,42
2X1	33,04	14,00	4,5	23,6	1,9	6,05	4,32	3,24	5,52
2X1	32,09	14,00	4,5	23,7	1,9	6,08	4,34	3,22	5,55
Aço	41,20	17,50	1,0	23,8	0,4	9,0	6,42	2,72	8,21
Aço	39,83	16,90	1,0	23,9	0,4	9,0	6,42	2,63	8,21

Considerações Finais

5 **Capítulo**

Este trabalho apresentou uma série de informações sobre o bambu, mostrando tratar-se de uma interessantíssima planta que tem imenso potencial para ser empregado nas construções.

Existem mais de mil espécies de bambu, muitas delas adequadas para uso nas engenharia.

Para as construções com bambu serem duráveis, é necessário um bom projeto e tratamentos adequados.

As propriedades mecânicas do bambu dependem da espécie. Em algumas delas essas propriedades são consideravelmente boas. A resistência à tração é sempre superior à resistência à compressão, podendo a primeira atingir valores da mesma ordem de alguns tipos de aço de construção.

Neste trabalho foi apresentado e discutido também um estudo experimental sobre a aderência entre o concreto e varetas de bambu reforçadas com pinos de aço, bambu e concreto. Com base nesse estudo pôde-se tecer as seguintes considerações:

1. A metodologia utilizada nos ensaios mostrou-se adequada, não havendo interferência de deslocamentos parasitas;
2. Os pinos de concreto são ineficazes no melhoramento da aderência bambu-concreto;
3. Observou-se que para os corpos-de-prova com pinos, o efeito da superposição das parcelas referentes à tensão de aderência mecânica gerada pelos pinos e à tensão de aderência por adesão mais atrito gerada pela superfície das varetas de bambu não é válido;
4. A tensão de aderência de cálculo do bambu sem pinos é apenas 30% inferior à das barras de aço liso;
5. A cravação de dois pinos de aço e dois de bambu nas varetas elevou a tensão de aderência em 80% e 50%, respectivamente. Os valores da tensão de aderência de cálculo para estes corpos-de-prova foram superiores a do aço liso em 26% e 5%;
6. Finalmente, estudos em elementos estruturais (como por exemplo, em vigas de concreto armado) são sugeridos para verificar a eficiência dessa técnica, uma vez que, apesar dos pinos melhorarem a aderência bambu-concreto, a sua cravação reduz consideravelmente a capacidade de carga das varas de bambu.

Já com relação aos ensaios realizado nas vidas reforçadas com bambu chegamos as seguintes conclusões:

1. Para ser usado como reforço no concreto, o bambu deve ser cortado em varas longitudinais. A interação com o concreto foi estudada e para tentar melhorá-la usaram-se diversos tipos de pinos.

2. Os pinos de concreto foram totalmente ineficazes pois pelo orifício deixado para sua formação, apenas argamassa de cimento podia penetrar.

3. Os demais pinos (de aço e de concreto) melhoraram a resistência ao arrancamento, porém apresentam o inconveniente de reduzir a seção transversal útil das varas, e em alguns casos, produzir elevadas tensões de contato que chegavam a danificar o bambu.

4. Os pinos de aço apresentaram melhor desempenho.

5. Para baixos carregamentos, as vigas com varas que continham pinos apresentaram melhor desempenho, independentemente do pino ser de aço ou do próprio bambu.

6. A expressão teórica para a flecha em que se considera uma rigidez equivalente quando a viga apresenta fissuração conduziu a maiores deformações que aquelas obtidas experimentalmente.

7. A rigidez das vigas reforçadas com bambu foi sempre inferior à das vigas de referência armadas com aço.

8. As fissuras nas vigas preferencialmente começavam a aparecer nos locais onde havia pinos ou nós.

9. No estado limite último a ruptura ocorreu por ruptura da barra em região com nó, mostrando que embora o pino tenha diminuído a seção transversal da vara, a resistência do nó lhe é inferior, sendo pois a parte crítica.

10. A contribuição do pino nas vizinhanças da ruptura não é tão significativa porque em estágios de carga elevados há o esmagamento da superfície de contato e mesmo o fendilhamento das varas.

11. A capacidade de carga das vigas de bambu testadas foi inferior a das vigas de referência. Isto era de se esperar por que as taxas de reforço usadas, considerando-se a seção útil seccionada pelos pinos foram relativamente pequenas.

TRABALHOS FUTUROS

Estudar a aderência das varas submetidas a tratamentos superficiais com epoxi ou outros adesivos.

Aumentar a taxa de reforço de 50% e mesmo 100% em relação as vigas estudadas.

Melhorar o processo de cravação dos pinos

Verificar o comportamento de vigas semelhantes às estudadas, substituindo-se a armadura de cisalhamento por varas inclinadas de bambu

Verificar o efeito de varas de diferentes espécies com diferentes internódios no comportamento das vigas fletidas

REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS

[1] ARGOLLO FERRÃO, A.M; FREIRE, W.J. “Aderência entre bambu e concreto: teste de arrancamento com taliscas de *Bambusa tuldoides*”. **In: Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira**, 5, 1995, Belo Horizonte. Anais...Belo Horizonte: IBRAMEM, v.2, p.389-398. 1995.

[2] BARBOSA, N. P.: “Materiais não convencionais na engenharia estrutural: utilização do bambu no concreto laterítico”. **Relatório de Pesquisa**, Campina Grande, PB, 1991, 17p. Departamento de Engenharia Civil, Campina Grande – PB.

[3] BERALDO www.agr.unicamp.br/bambubrasilis/

[4] BERALDO, A. L.: “Bambucreto- O Uso do Bambu como Reforço do concreto”. **in: xvi Conbea. Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola**, 16, 1987, Jundai. **Anais...** Jundai, SP, 1987, Vol. II. p. 521 –

[5] BORRALHO L “BAMBU” <http://www.plantarum.com.br/bambu.html>

[6] CHAGAS, FILHO M. B.: “Estudo de deformação, segurança e rigidez de vigas de concreto armado laterítico”. **Dissertação de Mestrado**, Campina Grande, PB, 1992, 95p. Departamento de Engenharia Civil, Campina Grande – PB.

[7] COSTA, F. S. D. : “Aplicação de compósitos com diferentes tipos de fibras em vigas isostáticas”. João Pessoa, PB, 2001, 87p. **Dissertação de Mestrado**. Departamento de Engenharia Mecânica. UFPB João Pessoa.

[8] CULZONI, R. A M.: “Características dos bambus e sua utilização como material alternativo no concreto”. Rio de Janeiro, 1986. 134 p. **Dissertação de Mestrado**. Departamento de Engenharia Civil. PUC-Rio.

[9] CZARNIESKI, C. J.; MESQUITA, L. P.; BRAGA FILHO, A. C.; WILLRICH, F. L.; LIMA JR., H. C. E BARBOSA, N. P.: “Avaliação da aderência bambu-concreto”. **XXXI Jornadas Sudamericana de Ingeniería Estructural**. Maio, 2004

[10] EUROCODE.: “Design of concrete structures: Part 1: General rules and rules for buildings”. London UK, 1992, p. 252.

[11] FIB.: “Structural concrete - Textbook on behaviour, design and performance - Updated knowledge of the CEB/FIP Model Code 1990”. Comité Euro-International du Béton, vol. 1, 1999, p. 224.

[12] FONSECA, K. S.: “Técnicas de propagação, tratamentos anti-fungos e propriedades físicas e mecânicas do bambu vulgaris”. **Relatório final de Iniciação Científica**, Campina Grande, PB, 1992, 154p, Departamento de Engenharia Agrícola, Campina Grande – PB.

- [13] GEYMAYER, H.; "COX, F. B. Bamboo Reinforced Concrete". **ACI Journal**, Vol. 67, 1970. p. 10-16.
- [14] GHAVAMI, K.: "*Application of Bamboo as low cost energy material in Civil Engineering*". **Third CIB/RILEM Symposium for Low Income Housing**, Mexico City, 1989, pp 526-523.
- [15] GHAVAMI, K.; MARINHO, A. B.: "Propriedades Mecânicas dos Colmos dos Bambus das Espécies: Mosó e Guadua angustifolia para Utilização na Engenharia". Rio de Janeiro: PUC-Rio. **Publicação RMNC-2 Bambu 02/2002**, 2002. 90 p.
- [16] GHAVAMI, K.; MARINHO, A. B.: "Determinação das Propriedades dos Bambus das Espécies: Mosó, Matake, Guadua angustifolia, Guadua tagoara e Dendrocalamus giganteus para Utilização na Engenharia". Rio de Janeiro: PUC-Rio. **Publicação RMNC Bambu 01/2001**, 2001. 53 p.
- [17] GHAVAMI, K.; TOLEDO FILHO, R. D.: "Desenvolvimento de Materiais de Construção de Baixo Consumo de Energia Usando Fibras Naturais, Terra e Bambu". **Revista Engenharia Agrícola**. Publicação Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, Vol.2, p. 1-19, 1992.
- [18] HAEMIG PD: "Pássaros e Mamíferos Associados ao Bambu na Mata Atlântica". **ECOLOGIA.INFO #5**

[19] INSTITUTO PLANTARUM <http://www.plantarum.com.br/>

[20] INTERNATIONAL NETWORK FOR BAMBOO AND RATTAN (INBAR)
www.inbar.int/

[21] JANSEN, J. J. A.: "The Mechanical Properties of Bamboo used in construction. Bamboo research in Asia". **Proceedings of workshop held in Singapore**. Ottawa, Ont, Canada, IDRC, 1980. p. 173-188.

[22] LEE, A.W.C.; BAI, X.; PERALTA, P.N.: "Selected physical and mechanical properties of giant timber bamboo grown in South Carolina". **Forest Products Journal**, Vol.44, No.9, p. 40-46, 1994.

[23] LEONHARDT, F.: "Construções de concreto - Princípios básicos do dimensionamento de estruturas de concreto armado". **Editado por Interciência LTDA, v. 1**, Rio de Janeiro, 1977, p. 305.

[24] LIMA JR, H. C.; XAVIER, A. C.; BARBOSA, N. P.; TOLEDO FILHO, R. D.: "Aderência Bambu-Concreto". **In: II Congresso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Juiz de Fora**, 1996, Juiz de Fora. v. 1, 1996, pp. 312-323.

[25] LIMA Jr. et al.: "Características Mecânicas do Bambu *Dendrocalamus giganteus*: Análise Teórica e Experimental". **Sustainable Construction into the next Millenium: Environmentally**

Friendly and Innovative Cement based Materials. **Proceedings of the International Conference**. João Pessoa, Brasil, 2000. p. 395-406.

[26] LIMA JÚNIOR, H.C.; BARBOSA, N.P; GHAVAMI, K.: “*Comportamento em serviço de lajes de concreto reforçadas com bambu*”. **Anais do V EBRAMEN**. Recife - PE 1995. Vol. II, pp 441 - 454.

[27] LISBOA, F. A. M.: “Propriedades mecânicas de compósitos com fibras de polipropileno e uma aplicação em vigas submetidas à flexão”. **Dissertação de Mestrado**, João Pessoa, PB, 1999, 64p. Departamento de Engenharia Mecânica, João Pessoa – PB.

[28] LOPES, O. H.: “Manual de Construcción con bambú”. Estudios técnicos colombianos LTDA, Universidade Nacional de Colombia, CIBAM.

[29] MACIEL, A. S.: “Análise experimental de vigas armadas de concreto de alto desempenho com diferentes tipos de fibras”. Rio de Janeiro, RJ, 2001, 81p. **Dissertação de Mestrado**. Departamento de Engenharia Civil. PUC-Rio.

[30] MARTINESI, R. A.; GHAVAMI, K.: “Alguns aspectos na utilização do bambu como material de construção”. **Relatório Interno**, Rio de Janeiro, RJ, 1985, 48p. Departamento de Engenharia Civil, PUC-Rio.

- [31] MOREIRA, L. E.: “Desenvolvimento de estruturas treliçadas espaciais de bambu”. **Dissertação de Mestrado**, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, RJ, 171p.
- [32] MOREIRA; GHAVANI: “Dimensionamento de estruturas de bambu”. Cap VII do livro **Materiais não convencionais para construções rurais**. UFPB, Campina Grande, Ed., 51p.
- [33] OHRNBERGER, D.: “The Bamboo’s on the World”. Annotated nomenclature and literature of the species and the higher and lower taxa. **Elsevier. First Edition**. 1999. 586 p.
- [34] P.R DALCANAL LIMA JR, F.L WILLRICH; BARBOSA, N. P.: “Determinação Da Resistência a Tração e do Módulo de Elasticidade Transversal do Bambu *Dendrocalamus Giganteus*”
- [35] RILEM-FIP-CEB.: “Bond test for reinforcing steel – 2. Pull–Out test”. **Matériaux et constructions**, v.6, n.32, 1973, pp. 102-105.
- [36] SALGADO, A.L. DE B.: “Resistência a la extracción de astillas de bambu enclavadas en concreto. **In: Sustainable construction into the next millenium environmentally, friendly and innovative cement based materials**”. 2000, João Pessoa. Proceedings... João Pessoa: Federal University of Paraiba and The University of Sheffield. 2000. p.407-412.

[37] SILVA, F. H. P.: “Propriedades mecânicas de compósitos com fibras metálicas e uma aplicação em vigas submetidas ao esforço cortante”. **Dissertação de Mestrado**, João Pessoa, PB, 1999, 102p. Departamento de Engenharia Mecânica, João Pessoa – PB.

[38] SIMPLÍCIO, M. A. S.: “Comportamento de vigas de concreto de alto desempenho com pequenos percentuais de armadura transversal”. **Dissertação de Mestrado**, Recife, PE, 1999, 73p. Departamento de Engenharia Civil, Recife – PE.

[39] TOLEDO FILHO, R. D.: “Utilização de materiais não convencionais nas construções rurais”. **Relatório Técnico** No.40,1800/88.1. Campina Grande, 1991. 92 p.

[40] TOLEDO FILHO, R.D.; BARBOSA, N.P.: “Aplicação de bambu e de fibras naturais nas construções rurais”. **In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola**, 19, 1987, Piracicaba. Anais... Piracicaba: SBEA, 1990, v.1, p.81-91.

[41] VASCONCELLOS, R.M.: “BAMBU BRASILEIRO” <http://www.bambubrasileiro.com/inf>