



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ARQUITETURA, ARTES E COMUNICAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESIGN

ROBERVAL BRÁZ PADOVAN

O BAMBU NA ARQUITETURA:
DESIGN DE CONEXÕES ESTRUTURAIS

Bauru
2010

ROBERVAL BRÁZ PADOVAN

O BAMBU NA ARQUITETURA: DESIGN DE CONEXÕES ESTRUTURAIS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Design da Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, campus de Bauru, como exigência para obtenção do título de Mestre em Design.

Área de concentração: Planejamento de Produto

Orientação: Prof. Dr. Marco Antônio dos Reis Pereira

Co-orientação: Prof.^a Dr.^a Paula da Cruz Landim

Bauru
2010

DIVISÃO TÉCNICA DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO

Padovan, Roberval Bráz.

O bambu na arquitetura: design de conexões estruturais / Roberval Bráz Padovan. - Bauru, 2010.
183f. : il.

Orientador: Marco Antônio dos Reis Pereira

Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação, Bauru, 2010

1.Design. 2. Bambu. 3. Conexões. I. Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação. II. Título

*Dedico esta dissertação
à minha esposa, FERNANDA,
e ao meu filho, BRUNO PADOVAN*

AGRADECIMENTOS

Ao Grande Arquiteto do Universo, que é Deus, de Quem aprendi a me dedicar a buscar a felicidade, não somente minha, mas também, a de meus semelhantes, o que verdadeiramente nos torna irmãos.

Ao meu orientador, Prof. Dr. MARCO ANTONIO DOS REIS PEREIRA.

À minha co-orientadora, Prof^a. Dr^a. PAULA DA CRUZ LANDIM.

A todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Design, da Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação da UNESP.

Aos meus irmãos e sócios, ANA MARIA e ANGELO Padovan.

RESUMO

O bambu é considerado um dos mais antigos materiais para habitações, porém, o desenvolvimento de tecnologia própria, como material de construção de qualidade, vem acontecendo somente nas últimas três décadas, quando surgiu uma discussão mundial sobre sustentabilidade. A variável ambiental passou, então, a ser considerada em qualquer projeto de desenvolvimento, uma vez que influencia tanto na disponibilidade futura de matérias-primas e energia, quanto na qualidade de vida das populações. Uma das maiores dificuldades no pleno emprego do bambu na construção civil são as conexões estruturais entre seus elementos, que não permitem o uso de tecnologia de ligações aplicada a outros materiais, como o aço e a madeira maciça, para efetuar com eficiência a transferência de esforços, inviabilizando toda potencialidade estrutural oferecida pelo bambu. Este trabalho faz uma ampla revisão dos principais aspectos da arquitetura com bambu, bem como das técnicas de construção e conexões utilizadas. A partir de uma estratégia geral de inovação, baseada no processo de desenvolvimento de produtos, foi proposto o design de uma nova conexão estrutural, com execução de protótipo e projeto arquitetônico para ilustração de sua aplicação. Esta nova ligação visou contribuir com a viabilização da utilização do bambu na construção civil, pelo incremento tecnológico do material.

Palavras-chave: Design, Bambu, Conexões.

ABSTRACT

Bamboo is considered one of the oldest materials for housing, but the development of technology as quality construction material is happening only in the last three decades when a worldwide discussion about sustainability, where the environmental variable is to be considered in any development project, since it affects the future availability of raw materials and energy, as in the quality of life of people with improved environmental conditions. One of the biggest difficulties in full employment in the construction of bamboo are structural connections between its elements, which do not allow the use of executable technology of other materials such as steel and timber, for their efficiently transfer efforts, using all structural offered by bamboo creditworthiness. This work is a comprehensive review of the main aspects of the bamboo culture, as well as construction techniques and connections used. From an overall strategy of innovation, based on the product development process to design a new connection is proposed. This rebonding aims to serve as a contribution to the process of enabling the use of bamboo in construction, by technological increment of the material

Keywords: Design, Bamboo, Connections

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	- Partes do bambu	22
Figura 2	- Rizoma paquimorfo	23
Figura 3	- Rizoma do tipo leptomorfo ou alastrante	24
Figura 4	- Variação da fração volumétrica das fibras na espessura do colmo do bambu <i>Guadua angustifolia</i>	25
Figura 5	- Detalhe dos conjuntos vasculares do bambu	26
Figura 6	- Retirada de mudas a partir de ramos laterais	27
Figura 7	- Viveiro de mudas de bambus	28
Figura 8	- Esquerda: <i>Dinoderus minutus</i> , caruncho do bambu; direita: corte transversal das células parenquimáticas dos colmos, com grãos de amido	30
Figura 9	- Método de tratamento pelo fogo	31
Figura 10	- Tratamento pelo método Boucherie	33
Figura 11	- Armazenamento correto das varas de bambu	33
Figura 12	- Compressão paralela às fibras	39
Figura 13	- Resistência à compressão em seção retangular	41
Figura 14	- Corte feito na direção longitudinal às fibras	44
Figura 15	- Representação de um sistema contínuo de tensões	45
Figura 16	- Representação de um sistema descontínuo de tensões	45
Figura 17	- Distribuição geográfica do bambu	46
Figura 18	- <i>Guadua angustifolia</i>	47
Figura 19	- <i>Guadua chacoensis</i>	47
Figura 20	- Região do Estado do Acre com áreas nativas <i>Guadua weberwarii</i>	48
Figura 21	- Plantio da empresa Itapajé de <i>Bambusa vulgaris</i>	49
Figura 22	- Jardim com bambu Mossô	49
Figura 23	- <i>Dendrocalamus asper</i>	50
Figura 24	- <i>Dendrocalamus giganteus</i>	50
Figura 25	- Casa feita de bambu pelos antepassados na Costa do Equador	54
Figura 26	- Corte boca-de-peixe	55
Figura 27	- Corte boca-de-peixe com flange e corte reto	56
Figura 28	- Corte para obtenção de ripas de bambu	57
Figura 29	- Corte com uso de barra metálica	57
Figura 30	- Tramas confeccionadas com tiras de bambu	58
Figura 31	- Confeção de cordas de tiras de bambu	58
Figura 32	- Elementos de fundação apoiados diretamente no solo	59
Figura 33	- Detalhe das amarrações de uma estrutura vernacular de paredes e vigas	60
Figura 34	- Piso de ripas de bambu	61
Figura 35	- Parede de colmos inteiros de bambu e de colmos cortados ao meio	62
Figura 36	- Painel de bambus roliços	62

Figura 37	- Painel tipo Quincha com ripas verticais	63
Figura 38	- Painel tipo Quincha com ripas horizontais	63
Figura 39	- Painel tipo Bahareque	64
Figura 40	- Janela com grade de bambu	64
Figura 41	- Porta com estrutura e fechamento de bambu	65
Figura 42	- Evolução das estruturas de cobertura Japonesas com bambu	66
Figura 43	- Estruturas de cobertura das casas de Toradja na Tailândia	66
Figura 44	- Telhas tipo capa canal	67
Figura 45	- Telhas de bambu com entalhe para fixação	67
Figura 46	- Telhas de bambu das construções tradicionais chinesas	68
Figura 47	- Casa tradicional Chenca na Etiópia	68
Figura 48	- Casa de Toradja, na Indonésia	69
Figura 49	- Palácio Taj Mahal	70
Figura 50	- Tradicional casa chinesa de bambu	71
Figura 51	- Casa de pau-a-pique	71
Figura 52	- Plana específica para ripas de bambu	73
Figura 53	- Fundações em forma de sapatas de concreto	74
Figura 54	- Sistema de apoio com incorporação do pilar à sapata de concreto	75
Figura 55	- Sequência de construção de residência com painéis pré-moldados de bambu no Equador	76
Figura 56	- Painel de bambu com janelas de vidro temperado	76
Figura 57	- Forro com tecido de bambu do aeroporto Barajá de Madri, Espanha	77
Figura 58	- Estrutura de cobertura do Centro Cultural Max Feffer, na cidade de Pardinho, SP	78
Figura 59	- Edifícios históricos de Manizales, construídos com a técnica de bahareque, com detalhes da arquitetura Francesa	79
Figura 60	- Palácio Viceroy Amat, em Lima no Peru	79
Figura 61	- Residências do Projeto Nacional de Bambu	80
Figura 62	- Corte esquemático do projeto e residências do Projeto Malabar	81
Figura 63	- Casa de bambu do programa Viviendas Hogar de Cristo, Equador	81
Figura 64	- Igreja Nuestra Señora de La Pobreza em Pereira, Colômbia	82
Figura 65	- Hotel do Frade & Golf Resort, Rio de Janeiro	82
Figura 66	- Residência, Rio de Janeiro	83
Figura 67	- Pavilhão Zeri, construído como modelo em escala real, para Expo-Hannover	83
Figura 68	- Gratting Shell	84
Figura 69	- A “Casa das Culturas” do Mundo	84
Figura 70	- Model house, de Jules Janssen, Costa Rica	85
Figura 71	- Ponte na Universidad Tecnológica de Pereira, Colômbia	85
Figura 72	- Restaurante (esquerda) e Creche Pública em Popayán, Colômbia	86
Figura 73	- Casa da árvore	86
Figura 74	- Residência de bambu e madeira em Guadalupe, México	87
Figura 75	- Bamboo Super Circle, Exposição de Hannover 2000	87

Figura 76 - Museu Nacional de Arte em Osaka, Japão	88
Figura 77 - Tjibaou Centro Cultural	89
Figura 78 - Cobertura para parque Olímpico de Montreal	89
Figura 79 - Chalé em Maui – EUA	90
Figura 80 - Protótipo de residência em São Carlos	91
Figura 81 - Atelier do artista plástico José Joaquim Sansano	91
Figura 82 - Casa de Campo em Bauru-SP	92
Figura 83 - Centro Cultural Max Feffer	92
Figura 84 - Bamboo Watch Tower	93
Figura 85 - Gazebo de Dois Andares	93
Figura 86 - Pavilhão Roberto Guimarães no Rio de Janeiro	94
Figura 87 - Protótipos desenvolvidos no Laboratório de Experimentação com Bambu da Unesp-Bauru	95
Figura 88 - Bambu laminado colado utilizado em estrutura de madeira para cobertura	96
Figura 89 - Bambu laminado colado	97
Figura 90 - Amostras de esteiras de bambu moldado sob pressão	97
Figura 91 - Inserção do bambu particulado na forma	98
Figura 92 - Painéis de partículas de bambu sem revestimento	98
Figura 93 - Painel de MDF revestido com ripas de bambu e pó de coco colado	99
Figura 94 - Ripas de bambu para reforço de concreto em Bali, Indonésia	100
Figura 95 - Blocos de Biokreto	102
Figura 96 - Corte tipo boca-de-peixe, realizado com ferramental moderno	104
Figura 97 - Derivações do corte boca-de-peixe	105
Figura 98 - Corte tipo flange	105
Figura 99 - Corte tipo flange para encaixe em perfurações	106
Figura 100 - Corte diagonal e diagonal parcial	106
Figura 101 - Conexão com pino e amarração para travamento de conexão	107
Figura 102 - Conexão por sobreposição dos colmos	108
Figura 103 - Conexão de sobreposição de meio colmo	109
Figura 104 - Conexões a topo com talas de bambu	109
Figura 105 - Conexão a topo com luvas ou tarugos de bambu	110
Figura 106 - Conexão a topo com tarugo de bambu	110
Figura 107 - Conexão a topo	111
Figura 108 - Conexão a topo com adição de amarração	111
Figura 109 - Conexão a topo com amarração e bandagem	112
Figura 110 - Foto de uma conexão com bandagem	112
Figura 111 - Conexão a topo com amarração e bandagem e pino de madeira	113
Figura 112 - Conexão a topo com entalhe reto	113
Figura 113 - Conexão a topo com entalhe reto e perfuração para cavilhas	114
Figura 114 - Conexão a topo com ripas laterais	114
Figura 115 - Conexão a topo com extensão em forma de tira	115

Figura 116 - Conexão lateral simples com acréscimo de atadura no elemento vertical	116
Figura 117 - Conexão lateral simples com sistema de chave	117
Figura 118 - Tarugamento para ligações laterais	117
Figura 119 - Tarugamento de conexão lateral com amarrações	118
Figura 120 - Conexão lateral simples com uso de cunha de madeira	118
Figura 121 - Conexão lateral dupla em ângulo reto	119
Figura 122 - Conexão lateral dupla com dobra em ângulo reto	119
Figura 123 - Conexão ortogonal lateral dupla em linha entalhe boca-de-peixe	120
Figura 124 - Conexão ortogonal lateral dupla em linha, entalhe com corte reto	120
Figura 125 - Conexão sobreposta tradicional Asiática	121
Figura 126 - Execução de console para apoio do elemento horizontal	121
Figura 127 - Conexões por sobreposição inclinadas	122
Figura 128 - Conexões diagonais	122
Figura 129 - Conexão diagonal com elemento horizontal	123
Figura 130 - Conexão diagonal com dois elementos horizontais	123
Figura 131 - Conexão diagonal com elemento horizontal em cumeeiras	
Figura 132 - Conexão diagonal com elemento horizontal em cumeeiras com cavilha	124
Figura 133 - Conexão diagonal com elementos verticais e horizontais em flexal de estrutura de cobertura	124
Figura 134 - Conexão por transpasse	126
Figura 135 - Localização das conexões próximas aos nós e uso de tarugamento	157
Figura 136 - Conexões envolvendo a seção transversal completa	128
Figura 137 - Conexões internas de elemento paralelo	128
Figura 138 - Conexões da seção transversal para elemento paralelo	129
Figura 139 - Conexões da seção transversal para elemento perpendicular	130
Figura 140 - Conexões do exterior para elemento paralelo	130
Figura 141 - Chapas de Gusset	131
Figura 142 - Chapas de ligação metálica	131
Figura 143 - Chapas de ligação metálica de Mark Mortimer	132
Figura 144 - Conexão ITCR	132
Figura 145 - Conexão de Renzo Piano	133
Figura 146 - Conexão Arce	116

Figura 147 - Inserção de peças metálicas em tarugos de madeira	133
Figura 148 - Conexão Bambutec	134
Figura 149 - Conexão de Morisco e Mardjono	135
Figura 150 - Conexão por abraçadeiras metálicas	135
Figura 151 - Conexão por rebites Herbert	136
Figura 152 - Conexão de Gutierrez	136
Figura 153 - Conexão por inserção de conectores de aço ou plástico	137
Figura 154 - Conexão por encamisamento dos conectores de plástico	137
Figura 155 - Conexão de Shoei Yoh	138
Figura 156 - Treliça espacial de dupla camada	138
Figura 157 - Teste de tração na Conexão de Trujillo	139
Figura 158 - Conexão de Tönges	140
Figura 159 - Esquema de conexão com parafuso extensor	140
Figura 160 - Conexão com parafuso extensor	141
Figura 161 - Transferência de esforços pelo eixo longitudinal do colmo, ou por chapa metálica laterais com parafusos passantes	142
Figura 162 - Transferência de esforços pelo eixo longitudinal do colmo por chapa metálica com parafusos passantes	142
Figura 163 - Transferência de esforços pelo eixo longitudinal do colmo por barra e arruelas	143
Figura 164 - Importância estrutural do diafragma em colmos injetados de argamassa	146
Figura 165 - Utilização de funil para injeção de argamassa no colmo	146
Figura 166 - Vazio ocasionado pela retração da argamassa	147
Figura 167 - Alinhamento das furações nos colmos	147
Figura 168 - Utilização de pino metálico e amarração de nylon	148
Figura 169 - Conexão de Velez e conexão de Tönges	154
Figura 170 - Conexão de Vélez	155
Figura 171 - Terminações sem afunilamento das extremidades com extensão das esperas	156
Figura 172 - Terminações de Tönges com afunilamento das extremidades	156
Figura 173 - Teste de tração da conexão de Tönges	157
Figura 174 - Arruela para fechamento da extremidade da ligação	158
Figura 175 - Ancoragem das paredes do bambu na arruela de fechamento	159
Figura 176 - Espera metálica em forma de tubo	160
Figura 177 - Instalação de grapas na espera metálica	161
Figura 178 - Projeto da nova conexão	162
Figura 179 - Detalhe da extremidade da nova conexão	163
Figura 180 - Esfera metálica para ancoragem das conexões	164
Figura 181 - Sistema de união com utilização de tarugo esférico de alumínio	164
Figura 182 - Corte em serra de bancada, próximo ao nó	165
Figura 183 - Tratamento da peça por imersão	166
Figura 184 - Limpeza do interior do colmo	166

Figura 185 - Cortes para afinilamento da extremidade da ligação	167
Figura 186 - Tubos metálicos com esfera de ligação	167
Figura 187 - Instalação de presilhas metálicas	168
Figura 188 - Conexão com o funil posicionado	169
Figura 189 - Grauteamento com utilização de funil	169
Figura 190 - Protótipo montado	170
Figura 191 - Detalhe da montagem da treliça	171
Figura 192 - Corte longitudinal do anfiteatro	172
Figura 193 - Vista lateral do anfiteatro	173
Figura 194 - Vista frontal do anfiteatro	173

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	- Dimensão das fibras celulósicas de várias espécies de bambu	26
Tabela 2	- Custo do plantio, crescimento e ciclo de produção do eucalipto e bambu	29
Tabela 3	- Resistência do bambu inteiro à compressão, módulo de elasticidade e coeficiente de Poisson em diversas partes do colmo	40
Tabela 4	- Resistência do bambu inteiro à tração, módulo de elasticidade e coeficiente de Poisson em diversas partes do colmo	41
Tabela 5	- Resistência ao cisalhamento do bambu inteiro <i>Guadua angustifolia</i>	44

LISTA DE QUADROS

Quadro 1	- Espécies prioritárias de bambu de acordo com o INBAR	51
Quadro 2	- Características das principais espécies de bambu para construção e produção de componentes	52
Quadro 3	- Características das principais espécies de bambu para construção e produção de componentes	53
Quadro 4	- Testes de tensão em conexões de bambu para o Pavilhão Zeri	144

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
2 REVISÃO DA LITERATURA	21
2.1 Aspectos botânicos	21
2.1.1 Classificação	21
2.1.2 Constituição	21
2.1.3 Estrutura anatômica do colmo	24
2.2 Cultivo	27
2.2.1 Propagação	27
2.2.2 Plantio	28
2.2.3 Colheita	28
2.3 Tratamentos	30
2.3.1 Métodos tradicionais	31
2.3.2 Métodos químicos	32
2.3.3 Tratamento sob pressão	32
2.4 Armazenamento	33
2.5 Secagem	34
2.6 Propriedades físicas	34
2.6.1 Massa específica aparente	36
2.6.2 Teor de umidade	37
2.6.3 Variação dimensional	37
2.7 Propriedades mecânicas	38
2.7.1 Compressão simples	38
2.7.2 Tração paralela	41
2.7.3 Flexão estática	42
2.7.4 Cisalhamento	43
2.7.5 Torção	45
2.8 Distribuição geográfica	46
2.9 Espécies prioritárias	46
2.9.1 Espécies para uso na construção no Brasil	52
2.10 Métodos de construção com bambu	53
2.10.1 Método vernacular e tradicional	54
2.10.2 Método contemporâneo	72
2.10.3 Método de substituição de materiais	94
2.10.3.1 Painéis de bambu	94
2.10.3.2 Compósitos de bambu	99

2.11 Conexões estruturais com bambu	102
2.11.1 Conexões tradicionais	103
2.11.2 Conexões contemporâneas	126
2.11.3 Conexões tradicionais versus conexões contemporâneas	149
2.12 Design das conexões estruturais com bambu	149
2.12.1 Design de novos produtos	149
2.12.2 Design de conexões de bambu	151
3 PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS	158
3.1 Proposta de uma nova conexão	158
3.2 Anteprojeto de uma nova conexão	162
3.3 Protótipo	165
4 PROJETO DE UM ANFITEATRO	171
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	174
REFERÊNCIAS	176
ANEXOS	182

1 INTRODUÇÃO

As pesquisas para desenvolvimento tecnológico de materiais e processos de construções sustentáveis receberam nas últimas décadas investimentos crescentes, estimulados por agências governamentais, instituições de pesquisa e pelo setor privado de diversos países, como estratégia para minimização do uso de recursos não renováveis, economia de energia e redução de perdas, visto que a indústria da construção civil – particularmente construção, operação e demolição de edifícios – é a atividade humana com maior impacto sobre o meio ambiente (INTERNATIONAL CONFERENCE BUILDINGS AND THE ENVIRONMENT, 1997).

De acordo com Sobral et al. (2002), mais de 50% da madeira produzida na Amazônia, destinada para a construção civil no Brasil, é utilizada exclusivamente em estruturas de cobertura – principalmente nas construções horizontais, ou seja, casas e pequenas edificações – e a outra metade para os demais usos, como em formas para concreto, andaimes e escoramentos (33%), portas, janelas, forros e pisos (13%) e nas casas pré-fabricadas (4%).

Durante décadas, para atender a demanda nas estruturas de madeira para coberturas, os principais centros de madeira serrada, localizados nas Regiões Sul e Sudeste, forneceram o pinho-do-paraná e a peroba-rosa, explorados nas florestas nativas dessas regiões. Com a exaustão dessas florestas, o suprimento de madeiras nativas passou a ser realizado, em parte, por países limítrofes, como o Paraguai, porém, de forma mais significativa, pela Região Amazônica (FERREIRA, 2003).

A atividade madeireira ilegal e predatória, assim como as queimadas e o desmatamento ilegal, tem provocado a destruição da Amazônia. Em menos de 50 anos, quase 20% da cobertura florestal da região já desapareceu. Até 2008, mais de 720.000 km² da Amazônia já tinham sido desmatados, uma área equivalente a quase três vezes o tamanho do Estado de São Paulo. O desmatamento da Amazônia, além de colocar em risco sua sobrevivência, contribui para fazer do país o quarto maior emissor de gases de efeito estufa do planeta, já que 75% das emissões são provenientes do uso do solo e do desmatamento de florestas brasileiras.

A utilização do bambu como material de construção, substituindo integral ou parcialmente os materiais convencionais, como a madeira, pode contribuir para a diminuição dos desmatamentos de florestas nativas. O incremento no número de espécies de plantio para uso industrial, com inserção da cultura do plantio de bambu, pode diminuir o atual sistema da monocultura no país.

O plantio do bambu possui ainda grandes potencialidades, com ciclo mais curto do que o da madeira; alta produtividade por hectare; rapidez de crescimento; baixo custo de plantio; facilidade de cultivo, com utilização de ferramentas simples para seu manuseio; e pode ainda auxiliar na revitalização de áreas degradadas e incrementar o sistema de reflorestamentos no Brasil, país que reúne grande quantidade de espécies desta planta e clima propício para seu pleno desenvolvimento.

Tradicionalmente, os países asiáticos são ligados à ampla cultura de utilização do bambu, com belos exemplos de edificações vernaculares, utilizando o material em sua forma natural. Mais recentemente, na América Latina, em países como a Colômbia, Costa Rica e Equador, observam-se projetos bem sucedidos – desde habitações populares com fins de interesse social, até prédios de grande porte como pavilhões de exposições, hotéis e edifícios verticais multi-familiares.

O objetivo brasileiro para redução da emissão dos gases do efeito estufa, oficializado no encontro de Copenhague, em dezembro de 2009, é o de reduzir entre 36,1% e 38,9% dos 2,7 bilhões de toneladas de gás carbônico que o país lançaria na atmosfera até em 2020, caso não se tomasse nenhuma medida de redução nas emissões durante o período. Essa proposta deixa claro que atitudes devem ser tomadas, não somente pelo governo, mas por toda sociedade organizada, na qual se inserem as universidades e seus pesquisadores.

O desenvolvimento de tecnologias para construções sustentáveis, pela inserção de materiais renováveis, pode colaborar com a redução dos gases do efeito estufa, diminuindo a utilização de recursos que prejudiquem o meio ambiente, como as matas nativas e todo o ecossistema nelas envolvido. O caminho para a sustentabilidade ambiental é um objetivo a ser atingido – e não como hoje é muitas vezes entendido, uma direção a ser seguida (MANZINI; VEZZOLI, 2002).

Segundo pesquisas realizadas na Costa Rica, onde 75% das habitações econômicas foram construídas com emprego do bambu, 98% dos moradores das casas do Projeto Nacional de Bambu relatam que suas casas construídas com

bambu são de igual ou melhor qualidade, em comparação com aquelas construídas com outros materiais (ADAMSON; LÓPEZ, 2001).

De acordo com Cardoso Jr. (2000), Hidalgo-López (2003) e Obermann e Laude (2008), uma das maiores dificuldades do pleno emprego do bambu, em sua forma natural, como material de construção, é a ligação entre seus elementos. Atualmente, existem vários novos ensaios e técnicas de conexões estruturais com bambu, todavia, em grande escala, nenhuma delas se estabeleceu como padrão de referência em eficiência, de modo a aproveitar plenamente toda capacidade de resistência mecânica do bambu.

A função objetiva de uma boa conexão consiste em obter uma continuidade estrutural entre elementos. Isto significa que as forças devem ser transmitidas de modo seguro e prescrito e que as deformações podem ser mantidas sob controle. Para tanto e para um bom design de uma nova proposta de conexão estrutural de bambu, é necessário superar as restrições internas e externas. Restrições internas lidam com propriedades dos materiais e sua forma (o bambu é um material ortotrópico, oco, variável no tamanho e espessura) e as restrições externas, com as dificuldades de maximização, necessidade de simplicidade de construção, boa durabilidade, adaptabilidade para um sistema modular, previsão de resistência mecânica mínima e eficácia de custos.

A ausência de uma conexão padronizada e eficiente, que garanta estabilidade às edificações remonta à carência e ao desenvolvimento de pesquisas na área, visto que as conexões tipo Vélez, mais utilizadas atualmente, possuem resistência às forças admissíveis menores que alcançam o potencial do bambu.

A busca do bem-estar humano, em um ambiente com edificações sustentáveis, é um objetivo que, para ser plenamente implantado, carece de qualidade nos materiais e métodos de construção, resultado obtido principalmente pelas pesquisas e experimentações para obter-se domínio tecnológico, incentivadas e divulgadas com a confiabilidade inerente às universidades brasileiras.

Desta forma, o objetivo geral desta pesquisa foi incrementar novas tecnologias de utilização do bambu como material de construção de qualidade, por meio do exercício de design de uma nova conexão estrutural para ligações eficientes de peças de bambu para uso na construção civil.

Para tal, definiu-se como objetivos específicos:

- ✓ contribuir com a viabilização da utilização do bambu na construção civil, pelo incremento tecnológico do material.
- ✓ desenvolver um projeto e um protótipo de uma nova conexão;
- ✓ realizar um projeto arquitetônico, ilustrando a aplicação da nova conexão em uma estrutura de cobertura.

Para atingir os objetivos da presente dissertação, adotou-se a metodologia de pesquisa experimental, com a proposta de design de uma conexão que pudesse potencializar soluções para suprir as deficiências das atuais ligações entre peças de bambu em sua forma natural.

Para tanto, realizou-se uma revisão minuciosa da literatura, com ênfase no conhecimento das conexões vernaculares ou tradicionais e das conexões contemporâneas, avaliando-se suas virtudes e limitações para apresentar-se uma proposta inovadora.

Com base nesses conhecimentos adquiridos, traçou-se o planejamento do produto, que culminou com a elaboração de um projeto de uma nova conexão.

Na seleção de materiais e na confecção do protótipo, utilizaram-se colmos de bambu da espécie *Dendrocalamus giganteus*, da coleção existente no Laboratório de Experimentação com Bambu, do Departamento de Engenharia Mecânica da UNESP de Bauru.

Neste trabalho, com base em princípios de desenvolvimento de novos produtos, utilizou-se a técnica MESCRAI, sigla para “Modifique, Elimine, Substitua, Combine, Rearranje, Adapte, Inverta”, que busca conhecer as restrições, deficiências e virtudes do objeto de pesquisa, que neste estudo são as conexões estruturais existentes. Nesse procedimento, o mais importante é a seleção das ideias que possam elencar todas as possíveis soluções e então escolher a melhor delas.

Para melhor entendimento do tema, a estrutura da dissertação foi dividida em capítulos, organizados da seguinte maneira:

A delimitação do objeto de estudo, contextualização e definição dos objetivos da pesquisa, nesta Introdução.

A seguir, apresenta-se uma revisão da literatura que abrange considerações sobre os aspectos botânicos da planta, suas propriedades físicas e mecânicas, com exemplos de sua utilização na arquitetura. Também efetuou-se um

levantamento minucioso das conexões tradicionais e contemporâneas, com análises de suas virtudes e defeitos, visando elucidar o estado da arte em que se encontram as tecnologias de construção que utilizam essas ligações. Esse capítulo ainda descreve os procedimentos para desenvolvimento de novos produtos.

No capítulo seguinte, apresenta-se a parte experimental da pesquisa: desenvolvimento do projeto da nova ligação, ilustrado por desenhos com dimensionamentos sugeridos para a construção do protótipo e realização de um projeto arquitetônico ilustrativo da aplicação da conexão, em uma estrutura de cobertura em arcos treliçados.

Finalmente, apresenta-se as considerações finais e recomendações para futuros trabalhos, relacionados ao tema desta dissertação.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Aspectos botânicos

2.1.1 Classificação

Bambu é o nome que se dá às plantas da subfamília *Bambusoideae*, da família das gramíneas. Essa subfamília se subdivide em duas tribos, a *Bambuseae* que são os bambus chamados de lenhosos e a *Olyrae*, os bambus chamados de herbáceos (HIDALGO-LÓPEZ, 2003). Trata-se, portanto, de uma gramínea gigante, tal como o milho, a cevada, o trigo, a cana-de-açúcar, entre outras, não sendo uma árvore, como é comumente caracterizada pela maioria das pessoas.

Pelas características de seu colmo, é considerada uma planta lenhosa, classificada como angiosperma, pois tem as sementes protegidas e produz frutos, e monocotiledôneas, que são as plantas que possuem raízes fasciculadas.

2.1.2 Constituição

Embora seja uma gramínea, os bambus, da mesma forma que as árvores, são constituídos por uma parte aérea – colmo, folhas e ramificações – e outra subterrânea, composta pelo rizoma e raiz. Porém, pela estrutura do tecido celular lignificado e propriedades tecnológicas similares às da madeira, o bambu pode ser chamado também de madeira (DUNKELBERG, 1996).

Os colmos apresentam forma muito próxima à cilíndrica e suas dimensões variam muito de acordo com a espécie: alguns podem ter alguns centímetros de comprimento e poucos milímetros de diâmetro, como os do gênero *Arundinaria* e outros como o *Dendrocalamus giganteus*, que alcançam até 40 metros de altura e diâmetro de 30 centímetros em média. O colmo é dividido por diafragmas que conferem grande rigidez, flexibilidade e resistência, aparecendo externamente como nós, de onde saem os ramos e folhas (Figura 1).

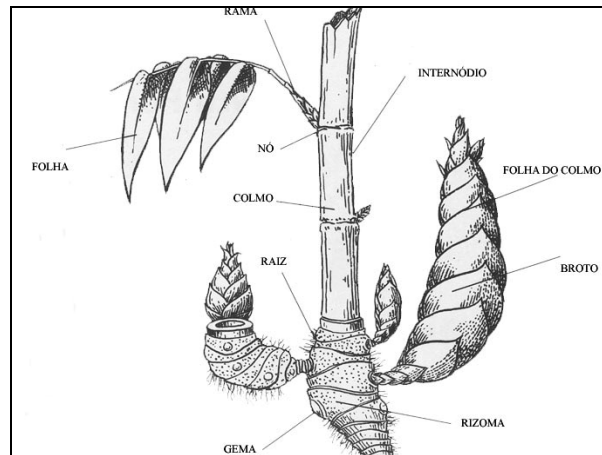


Figura 1- Partes do bambu

Fonte: NMBA (2004, p. 24)

Pereira e Beraldo (2007) comentaram que os bambus nascem com o diâmetro que terão por toda a sua vida. Este diâmetro é maior perto da base e vai diminuindo, com a altura, em direção à ponta (ou seja, o bambu é geometricamente um tronco de cone), mas nunca aumenta com o passar dos anos, o que ocorre normalmente com as espécies arbóreas. Atinge o seu diâmetro máximo por volta do quarto ou quinto ano após o plantio: maior perto da base, diminuindo com a altura em direção à ponta. O comprimento de seus internós aumenta da base até o meio do colmo, diminuindo daí em direção ao topo, tendo em média de 20 a 35 cm, na maioria das espécies.

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

Após o período inicial de crescimento, o colmo começa o período de amadurecimento, que dura cerca de três a quatro anos para a maioria das espécies, quando então suas propriedades de resistência mecânica se estabilizam (PEREIRA; BERALDO, 2007). A vida útil dos colmos varia de acordo com a espécie; aos 12 anos, em média, o colmo morre, ficando seco e esbranquiçado como, por exemplo, a espécie *Guadua angustifolia*, que inicia sua diminuição de resistência mecânica no

período entre sete e oito anos, recomendando-se assim, que não seja usada a partir do sexto ano (HIDALGO-LÓPEZ, 2003).

O rizoma é um caule subterrâneo, que se desenvolve paralelamente à superfície do solo, muitas vezes confundido com raízes. Possui como funções a armazenagem de nutrientes para a planta e a propagação por ramificações, de forma assexuada. Existem basicamente dois tipos de formação dos rizomas:

- a) **Grupo paquimorfo, simpodial ou entouceirantes**, que se desenvolve no espaço de forma aglutinada, formando moitas, com raízes na parte inferior. Denominam-se paquimorfos, por serem curtos e grossos; possuem gemas laterais que se desenvolvem em novos rizomas ou novos colmos (Figura 2). São espécies de zonas tropicais, compreendendo, entre outros, os gêneros *Bambusa*, *Dendrocalamus*, *Gigantochloa* e *Guadua*;

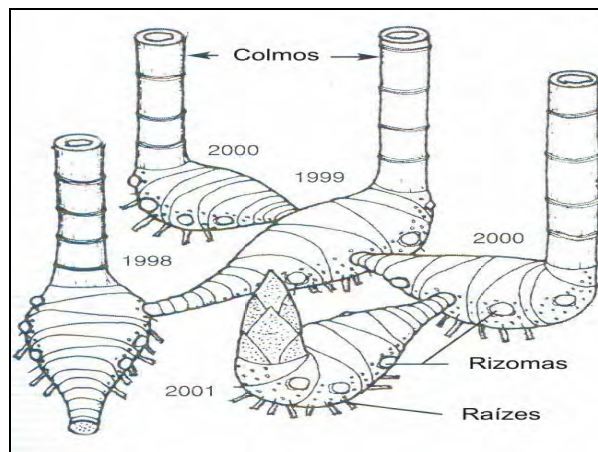


Figura 2 – Rizoma paquimorfo
Fonte: HIDALGO-LÓPEZ (2003)

- b) **Grupo leptomorfo, monopodial ou alastrante**, se desenvolve no espaço de forma isolada e difusa, por rizomas cilíndricos, com uma gema em seus nós que, uma vez ativada, produz um novo colmo ou um novo rizoma. Ramificam-se lateralmente, percorrendo distâncias consideráveis e formando espessas redes que, segundo Pereira e Beraldo (2007), chegam a percorrer uma distância de um a seis metros em um ano, formando uma teia que pode atingir de 50 a 100 mil metros lineares por hectare. Desenvolvem-se melhor em zonas

temperadas, compreendendo, entre outros, os gêneros *Arundinaria*, *Phyllostachys*, *Sasa*, *Semi-arundinaria*, *Shibatae* e *Sinobambusa* (Figura 3).

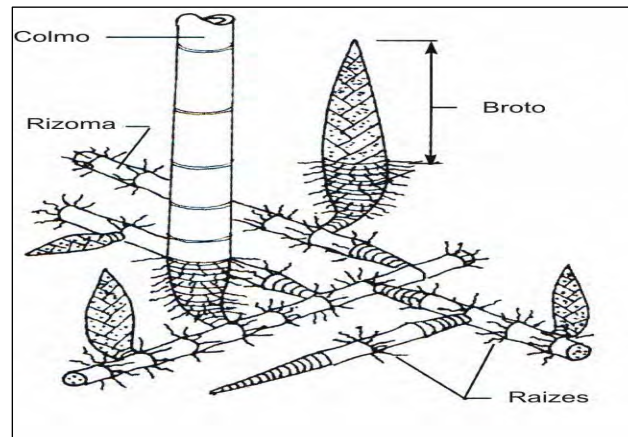


Figura 3 – Rizoma do tipo leptomorfo ou alastrante
 Fonte: HIDALGO-LÓPEZ (2003)

2.1.3 Estrutura anatômica do colmo

A estrutura anatômica do colmo é a base do entendimento das propriedades físicas e mecânicas do bambu e de seu comportamento estrutural (HIDALGO-LÓPEZ, 2003). O colmo é constituído externamente por duas camadas de células epidermes, cobertas por uma camada cutinizada, com concentração de sílica, material que confere muita resistência ao colmo e lhe serve de proteção, na natureza, contra os ataques de animais e exposição mecânica. Isso, porém, é prejudicial a ferramentas de corte, por desgastá-las com facilidade (JANSSEN, 2000).

Externamente, o bambu possui uma camada de cera e, internamente, possui uma camada espessa lignificada – com numerosas células esclerenquimáticas (feixes de fibras), dispostas na direção longitudinal – que impede a movimentação de fluídos lateralmente, assim constituída:

- a) **Parênquima:** é o tecido básico do colmo; representa de 40% a 60% de sua composição e sua distribuição, no eixo do colmo, tem concentrações diferentes: 60% encontram-se na base e 40% na parte

apical, com função de estocar nutrientes e água, podendo armazenar quantidades significativas de amido.

- b) **Fibras:** são as principais responsáveis pela resistência mecânica dos colmos; nos internós, estão orientadas axialmente, paralelas ao eixo de crescimento, e representam de 40% a 50% do tecido total do colmo e 60% a 70% de sua massa. Na direção vertical, a quantidade de fibras aumenta da base ao topo.

Na Figura 4, observa-se a disposição dos feixes de fibras na cor escura, concentradas transversalmente – mais na parte externa da parede do colmo – na região da casca, conferindo maior resistência a esta área; e, na cor clara, as células de parênquima, mais próximas ao centro do colmo, proporcionando menor resistência. Segundo Janssen (2000), na maioria das espécies, as fibras concentram-se na proporção de 60% na região próxima à casca e 10% na área interna do colmo.

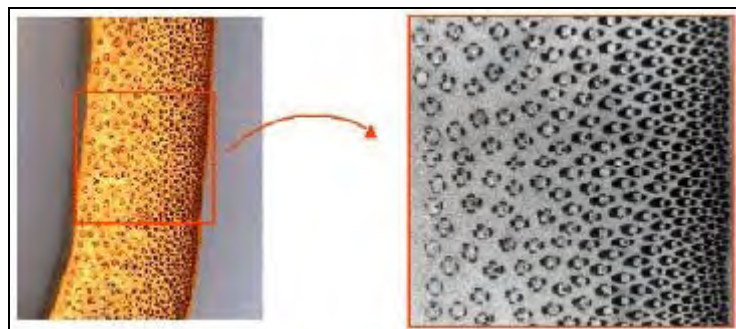


Figura 4 – Variação da fração volumétrica das fibras na espessura do colmo do bambu *Guadua angustifolia*

Fonte: Ghavami e Marinho (2005)

Geralmente, o comprimento das fibras aumenta da periferia para o centro do colmo e diminui daí até a parte interna, estando as mais curtas situadas sempre perto dos nós e as mais longas no meio dos internós. Portanto, quando o colmo é submetido a esforços de tração paralela, a área dos nós tende a romper-se mais facilmente que a dos internós. O comprimento médio das fibras varia entre 1,65 mm a 3,43 mm, conforme Tabela 1, ocupando uma posição intermediária entre as fibras de eucalipto, com 1 mm, consideradas curtas, e as do pinus, com 3 a 4 mm, consideradas longas (PEREIRA; BERALDO, 2007).

Tabela 1 – Dimensão das fibras celulósicas de várias espécies de bambu

Espécies	Comprimento (mm)	Dimensões das fibras	
		Largura/lúmen (mícron*)	Espessura (mícron*)
<i>Bambusa vulgaris</i>	3,43	15,41	3,73
<i>B. vulgaris v. vitatta</i>	2,98	16,21	3,43
<i>B. oldhami</i>	1,92	16,97	3,17
<i>B. nutans</i>	2,29	16,97	2,77
<i>B. tulda</i>	2,15	17,33	2,34
<i>B. beecheyana</i>	1,93	17,2	3,58
<i>B. stenostachya</i>	2,23	15,49	2,9
<i>B. tuldoides</i>	1,89	18,21	3,83
<i>B. textilis</i>	2,04	16,78	3,02
<i>B. ventricosa</i>	1,90	14,38	3,31
<i>B. maligensis</i>	2,07	14,79	3,45
<i>B. dissimulator</i>	2,32	15,89	3,38
<i>Dendrocalamus asper</i>	2,32	17,89	3,97
<i>D. strictus</i>	2,44	17,06	3,44
<i>D. latiflorus</i>	2,22	18,17	4,33
<i>D. giganteus</i>	3,08	19,10	5,66
<i>Guadua amplexifolia</i>	1,69	14,47	3,28
<i>G. superba</i>	1,94	14,22	2,14
<i>G. spinosa</i>	1,65	14,57	3,10
<i>G. andustifolia</i>	1,93	16,04	2,12

Fonte: Pereira e Beraldo (2007, p. 66)

- c) **Vasos condutores ou feixes vasculares:** são os principais vazios, portanto, tornam-se pontos de menor resistência mecânica dos colmos, representando aproximadamente 10%. Encontram-se em maior quantidade na parte interna do colmo, seu número diminui da base para o topo do colmo, porém, sua densidade aumenta. A Figura 5 mostra imagens dos conjuntos vasculares dos bambus, adquiridas num microscópio eletrônico de varredura (MEV), obtidas por Liese (1980).

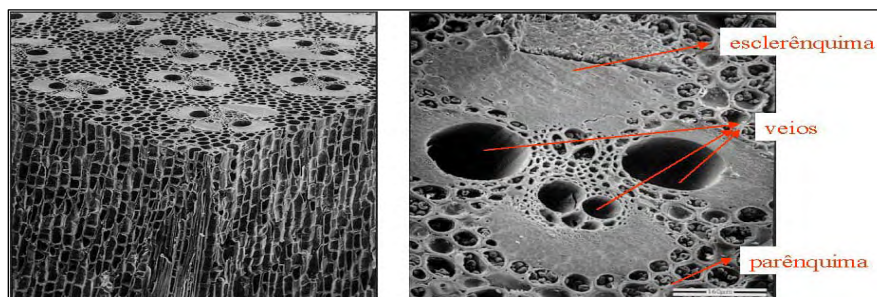


Figura 5 – Detalhe dos conjuntos vasculares do bambu

Fonte: Ghavami e Marinho (2005)

2.2 Cultivo

2.2.1 Propagação

Segundo Hidalgo-López (2003), a propagação do bambu pode ser realizada por dois métodos: de maneira assexuada e/ou sexuada, esta sendo pouco utilizada, devido às dificuldades de obtenção de sementes produzidas em florescimentos dos tipos esporádicos (irregulares) e gregários (periódicos), o que geralmente ocorre em intervalos muito longos, de acordo com a espécie, podendo variar de 4 a 120 anos nas espécies *Phyllostachys bambusoides* e *Phyllostachys nigra henonis*, nativas da China e Japão.

De acordo com Pereira e Beraldo (2007), os métodos utilizados na propagação assexuada do grupo paquimorfos são: o transplante total; transplante parcial da planta, constituído por parte do colmo com raízes e rizomas; por pedaços de colmo, contendo gemas brotadas (presença de ramos) ou não brotadas (gemas solitárias); por pedaços de rizoma, contendo raízes; e, por ramos laterais que contenham duas ou três gemas, conforme Figura 6. A propagação assexuada dos grupos leptomorfos é feita por transplante total ou parcial ou por enraizamento de rizomas.



Figura 6 – Retirada de mudas a partir de ramos laterais

A formação das mudas se desenvolve melhor em abrigos da insolação direta, de preferência em viveiros cobertos por sombrite, que permita passagem parcial de luz, exigindo regas frequentes (Figura 7).



Figura 7 – Viveiro de mudas de bambus

Fonte: Gielis e Oprins (2008)

2.2.2 Plantio

O espaçamento médio para o plantio de bambus de grande porte – como *Dendrocalamus*, *Guadua*, *Bambusa vulgaris* e *Phyllostachys bambusoides* – é de 10 m x 5 m; para bambus de menor porte, como *Bambusa tuldoides*, usam-se espaçamentos menores, de 5 m x 3 m. Após o plantio, inicia-se o manejo: as moitas devem estar sempre limpas, arejadas e sadias, os colmos defeituosos devem ser retirados, promovendo-se a adubação anual com correções do pH e irrigações quando necessário.

De acordo com Cussack (1999 citado por PEREIRA; BERALDO, 2007), a planta está desenvolvida entre cinco e sete anos, isto é, quando o bambu atinge as dimensões características de sua espécie, como diâmetro, espessura da parede e altura do colmo.

2.2.3 Colheita

Normalmente, a primeira colheita de colmos de espécies de grande porte inicia-se no quarto ano após o estabelecimento da plantação, com a retirada dos colmos nascidos no primeiro ano; no quinto ano retiram-se os nascidos no segundo ano e assim sucessivamente, portanto, em intervalos de dois a quatro anos,

aproximadamente 30% dos colmos maduros serão colhidos da touceira (DUNKELBERG, 1996).

Para uso na construção civil, os colmos devem estar maduros, isto é, possuir sua máxima resistência. A identificação das idades dos colmos na plantação deverá ser efetuada por meio de marcações, visto se realizada de forma visual, que a diferenciação das idades é muito imprecisa.

O corte deverá ser efetuado à altura do segundo nó, logo acima do diafragma, para evitar o acúmulo de água, o que acarretaria apodrecimento da raiz. As melhores épocas para o corte, nas regiões tropicais, são as estações secas e o inverno nas regiões subtropicais, épocas com menores concentrações de água e amido nos colmos, o que reduz o ataque de insetos e fungos, além da menor deformação das peças quando estas forem processadas.

De acordo com Dunkelberg (1996), após três anos de rotatividade, a produtividade alcançada pelo bambu fica entre 3.000 e 15.000 colmos por hectare, o que corresponderia entre 7,5 t/ha a 38 t/ha, de acordo com a espécie e de características diversas, como solo, chuvas, temperatura, entre outros. Na Alemanha, o abate anual de madeira tem uma produtividade de somente 3,5 m³/ha o que corresponde a 1,4 t/ha após a secagem.

No Brasil, os valores observados para a espécie *Bambusa vulgaris*, seriam da ordem de 10 t/ha (GOMIDE et al., 1988). Hidalgo-López (1974) apresentou dados da ordem de 31 t/ha para o *Guadua angustifolia*, obtidos na Colômbia.

Quanto ao custo de plantio, crescimento e ciclo de produção do bambu, comparando-se com a madeira de eucalipto, segundo Migliari (2000 citado por KAMEGASAWA, 2004), o bambu apresenta uma excelente relação com benefícios em todos os aspectos estudados de custo de plantio, crescimento e rendimento pelo período, conforme Tabela 2.

Tabela 2 – Custo do plantio, crescimento e ciclo de produção do eucalipto e bambu

Material	Custo do plantio por hectare	Rendimento	Período de produção
Eucalipto	US\$ 300-400	12 a 16 t/ha/ano umidade de 6%	20 anos (aprox. 3 cortes)
Bambu	US\$ 200-250	20 a 30 t/ha/ano	60 a 120 anos

Fonte: Kamegasawa (2004)

2.3 Tratamentos

A necessidade de investimentos em tratamentos é uma questão técnica comum a diversos outros materiais naturais utilizados na construção civil, como as madeiras, com sistemas apropriados de secagem e preservação; o aço, que necessita de uma camada protetora superficial para evitar sua oxidação; o concreto, com sua impermeabilização, evitando a exposição às intempéries que quimicamente o agredem, entre outros materiais que, em sua forma natural, teriam uma vida útil muito limitada.

De acordo com Liese (1998), uma parte das células denominadas de parênquima possui como fonte de reserva, polímero de amido, que se torna um grande atrativo ao caruncho e aos fungos após o corte do colmo, como mostra a Figura 8. O tratamento do bambu é, portanto, fundamental para garantir sua durabilidade e prolongar sua vida útil.

Segundo Janssen (2000), o bambu não tratado pode apresentar uma vida útil entre um e três anos quando utilizado em áreas abertas; em contato com o solo, de quatro a seis anos quando em áreas cobertas e de livre de contato com solo; e entre 10 e 15 anos, quando utilizado em áreas cobertas em excelentes condições. Quando os bambus são tratados, a vida útil pode se estender por vários anos, como ocorre com as madeiras de reflorestamento.



Figura 8 – Esquerda: *Dinoderus minutus*, caruncho do bambu; direita: corte transversal das células parenquimáticas dos colmos, com grãos de amido em seu interior

Fonte: Liese (1998)

Logo após a colheita, os colmos de bambu devem ser submetidos a algum tipo de tratamento, com objetivo de torná-los menos vulneráveis ao ataque de fungos e insetos. Os métodos de tratamentos preservativos mais comuns são:

2.3.1 Métodos tradicionais

- a) **Cura na touceira:** após o corte, deixa-se o bambu na própria moita, afastado do solo por quatro semanas, com suas ramas e folhas. Esse processo permite uma diminuição do teor de amido, pela assimilação da seiva pelas folhas. Após esse período, cortam-se as folhas e ramas e efetua-se a secagem em área coberta e ventilada.
- b) **Cura pela imersão em água:** em contato com a água, procura-se reduzir ou eliminar o amido, por meio da fermentação biológica anaeróbica (ausência de ar), por um período de quatro a sete semanas, preferencialmente submergindo os colmos em água corrente.
- c) **Cura pela ação do fogo:** consiste em submeter os colmos recém-cortados ao aquecimento direto pelo fogo, para eliminar a seiva por exsudação e alterar quimicamente o amido, tornando-o menos atrativo aos insetos. Neste processo, ocorre o derretimento da cera existente na camada superficial do bambu, criando uma coloração marrom característica nos móveis e varas de pesca em bambu (Figura 9).

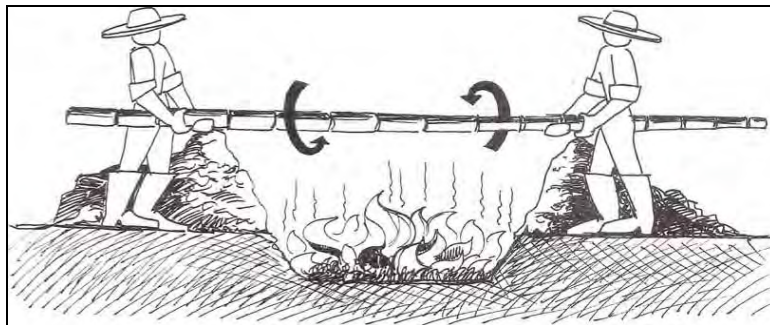


Figura 9 – Método de tratamento pelo fogo

Fonte: Morán (2003)

- d) **Cura pela ação da fumaça:** pela ação da fumaça, ocorre a degradação do amido, culminando por tornar os colmos menos atraentes ao caruncho; possui a desvantagem de ocorrerem rachaduras no colmo, além de tornar a superfície enegrecida e provavelmente tóxica.

2.3.2 Métodos químicos

- a) **Imersão em solução de sais hidrossolúveis:** deve-se imergir totalmente os colmos secos na solução preservativa, a qual poderá ser composta por um dois ou mais sais hidrossolúveis. Uma formulação recomendada (kg de sal/litro de solução) é: sulfato de cobre (1%) + dicromato de sódio (1%) + ácido bórico (1%). Após o tratamento, as peças devem ser armazenadas em local protegido, por vários dias, para que ocorra a dispersão do produto, em duas a quatro semanas em temperatura ambiente.
- b) **Substituição da seiva por sais hidrossolúveis através da transpiração:** Colocam-se os colmos com dimensões não maiores que 2,50 m, dispostos verticalmente em um tambor, submersos 0,80 m em uma solução que pode ter a mesma formulação descrita acima, por um período aproximado de sete dias; logo após, devem ser invertidos, permanecendo por igual período. Após o tratamento, os colmos devem ser empilhados à sombra durante 30 dias, protegidos da chuva.

2.3.3 Tratamento sob pressão

- a) **Autoclave:** utiliza-se o mesmo equipamento para tratamento de madeiras usuais; no caso do bambu, deverá estar previamente tratado para evitar o ataque de insetos durante a secagem, assim como perfurado em seus internós para saída do ar durante a execução do vácuo. Esse método tem sido utilizado com grande sucesso em ripas e taliscas de bambus.
- b) **Método Boucherie modificado:** é considerado o método mais eficiente para tratamento de colmos de bambu. A seiva ainda líquida do colmo recém-colhido é retirada por pressão (de 7 mca) e em seu lugar é colocado um produto preservativo, CCB (borato de cobre cromatado), por exemplo, na concentração de 6%, que apresenta ação inseticida e fungicida (Figura 10).



Figura 10 – Tratamento pelo método Boucherie

2.4 Armazenamento

O armazenamento do bambu deverá ocorrer em local preferencialmente coberto, protegido do sol e da chuva, com as varas dispostas em camadas, com espaçamentos que permitam a circulação de ar entre as peças, colocadas afastadas do solo aproximadamente 15 cm, para que não tenham contato com a umidade (Figura 11).



Figura 11 – Armazenamento correto das varas de bambu
Fonte: Dunkelberg (1996).

2.5 Secagem

A secagem dos colmos, dependendo da utilização a que se destina, é um aspecto relevante na qualidade do produto final. Conforme Hidalgo-López (2003), o uso de peças de bambu nas estruturas e construções, sem a devida secagem, acarreta retração das peças após as montagens, ocasionando a falha da estrutura. A secagem após a cura pode ser realizada de duas maneiras:

- a) **Secagem ao ar:** os colmos são empilhados horizontalmente, em local coberto e bem ventilado, por 2 meses ou mais, conforme a umidade relativa do ar, variando assim de uma região a outra. Na espécie *Bambusa arundinacea* foram constatados teores de umidade, quando verde, na ordem de 48,5%, 38,5%, 31,6%, na base, meio e topo respectivamente, e após secos ao ar foram obtidos 15,7%, 15,6% e 15,2%, respectivamente, demonstrando a eficácia do sistema (HIDALGO-LÓPEZ, 2003);
- b) **Secagem em estufa:** pode-se utilizar os mesmos equipamentos empregados para madeiras convencionais, controlando-se a temperatura, umidade e velocidade do ar em contato com o bambu. Recomenda-se, porém, utilizar somente em réguas de bambu ou taliscas, pois a rápida secagem dos colmos ocasiona fissuras e até o colapso da peça. Este sistema resulta em melhor qualidade e rapidez de secagem, porém necessita de maiores investimentos em instalações, energia e equipamento.

2.6 Propriedades físicas

Os bambus têm diminuição gradual, na direção da base para o topo, do diâmetro do colmo e da espessura da parede, variáveis nas diversas espécies, características que devem ser previamente conhecidas pelos usuários da construção civil, como engenheiros e arquitetos, com objetivo de selecionar os bambus com as dimensões necessárias para um determinado projeto (GHAVAMI; MARINHO, 2005).

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

A combinação dessas características resulta em baixo custo de produção, facilidade de transporte e trabalhabilidade, aspectos que se revertem em diminuição nos custos das construções (GHAVAMI, 1989; MOREIRA; GHAVAMI, 1995 citados por PEREIRA; BERALDO, 2007).

Uma das maiores dificuldades para a utilização do bambu na construção civil é a falta de normatização do material. Na maioria dos casos, os ensaios são efetuados utilizando-se diferentes metodologias, muitas vezes análogas às de madeiras maciças, dificultando a comparação de resultados e tornando difícil extrapolar os dados e a sua utilização para diferentes localidades e espécies. A idade do colmo é o principal fator de distorção nos resultados (OBERMANN; LAUDE, 2008).

Com base em resultados obtidos com pesquisas sobre bambu durante as duas últimas décadas, em várias partes do mundo, inclusive no Brasil, foi possível criar as primeiras normas para sua utilização. Sabendo que o conhecimento das normas é importante não apenas para o uso seguro, mas também para a divulgação de um material, o *International Network for Bamboo and Rattan* – INBAR (1999) usou os resultados dessas pesquisas mundiais e propôs normas para os ensaios de caracterização das propriedades físicas e mecânicas dos bambus.

As normas propostas foram analisadas pela *International Conference of Building Officials* (ICBO) e publicadas no relatório AC 162: *Acceptance Criteria for Structural Bamboo*, em março de 2000 (ICBO, 2000). No entanto, ultimamente, para ensaios com bambu na sua forma natural (cilíndrica), tem sido recomendada a utilização das normas ISO N 313 (*Bamboo Structural Design*), ISO 314 (*Physical and Mechanical Properties*) e ISO 315 (*Testing Material*) (GHAVAMI; MARINHO, 2005).

Hidalgo-López (2003), comentou que os pesquisadores fazem menção às diferenças de resistência mecânica nas diversas partes do colmo, as quais devem ser consideradas em qualquer estudo.

- a) **Resistência no colmo inteiro:** as propriedades mecânicas variam da base para ao topo do colmo. Se a altura útil do colmo for dividida em três partes, na maioria dos casos a parte superior é a mais resistente em compressão e flexão do que a mediana e a inferior. A parte central, onde ocorrem os internós mais longos, é a mais resistente em tração, enquanto que a parte inferior do colmo apresenta, geralmente, menores valores de resistência mecânica.
- b) **Resistência nos internós:** nos internós, as fibras situadas próximas aos nós são mais curtas e, no centro, mais longas, conseqüentemente, o centro do internó é mais resistente.
- c) **Resistência na parede do colmo:** a resistência da parede, em tração e em compressão, aumenta da parte interna para a parte externa, em razão da maior quantidade de fibras.
- d) **Resistência nos nós:** a densidade nos nós, devido a menor ocorrência de células parenquimatosas, é mais elevada do que aquela obtida nos internós, porém, sua resistência à tração, flexão, compressão e cisalhamento são menores, devido à descontinuidade da seção e aos desvios dos feixes de fibras.

As propriedades físicas do bambu, de grande interesse na engenharia de estruturas, são: massa específica, umidade natural, absorção de água, variações dimensionais e coeficiente de dilatação. Estas propriedades alcançam melhores condições de resistência quando utilizados colmos maduros e secos.

2.6.1 Massa específica aparente

A massa específica aparente é importante para se avaliar o peso próprio das estruturas de bambu. Dentre as muitas qualidades estruturais do bambu, a relação entre sua massa específica aparente pela resistência e a massa específica aparente pela dureza demonstra as inúmeras possibilidades de aplicação desse material na construção civil - integralmente ou em conjunto com outros materiais já comumente utilizados, como concreto - tornando-os mais leves, sem perder a resistência necessária final pretendida.

Janssen (2000) afirmou que a mais importante propriedade mecânica do bambu é sua massa específica pela unidade de volume, ou a densidade, expressa em kg/m^3 , que varia entre 700 kg/m^3 e 800 kg/m^3 , de acordo com a qualidade do solo, a espécie, posição no colmo, etc. O autor demonstrou que o bambu, na relação resistência e dureza com relação à massa específica, é inferior apenas ao aço.

O tamanho, a quantidade e a distribuição dos feixes de fibras ao redor dos vasos determinam também a massa específica aparente do bambu, que é mais pesado perto da casca, pelo fato de existirem feixes vasculares menores e mais densos, com menor quantidade de células parenquimáticas e maior quantidade de fibras.

A massa específica varia também na direção do comprimento do colmo, aumentando da base para o topo. Em estudos com a espécie *Dendrocalus Strictus*, Liese (1961 citado DUNKELBERG, 1996) obteve resultados de densidades de 570 kg/m^3 na base e 760 kg/m^3 no topo.

2.6.2 Teor de umidade

Segundo Vijay Raj (1991 citado por FERREIRA, 2002), o teor de umidade do colmo recém-cortado é de cerca de 80%; após o corte, torna-se necessário um período de um a quatro meses de secagem ao ar para que o colmo atinja uma umidade entre 12% a 20%. Colmos de bambu da espécie *Dendrocalamus strictus*, com 2,5 anos de idade, podem absorver entre 51 e 55% de água depois de quatro dias de imersão em água e entre 57 e 64%, depois de sete dias de imersão.

Quando em contato com a água, o bambu demonstra grande fragilidade, tanto na questão da conservação quanto na sua resistência, merecendo cuidados na associação com outros materiais como o concreto, ou na exposição à chuva e à umidade.

2.6.3 Variação dimensional

Por ser um material higroscópico, ocorrem variações dimensionais no bambu, devido à rápida absorção e posterior liberação de água. O bambu pode se

contrair aproximadamente 12% de seu diâmetro e 16% de sua espessura, quando tem seis meses de idade, porém, na idade adulta, reduz sua contração para 4% a 7% do diâmetro e 3% a 7% na espessura da parede do colmo (VIJAY RAY, 1991 citado por FERREIRA, 2002).

Segundo Lima Jr et al. (1995), esta propriedade faz com que o bambu, quando em contato com o concreto fresco, absorva parte da água de amassamento e aumente suas dimensões. Após o endurecimento do concreto, o bambu vai liberando gradativamente a água absorvida e retorna às suas dimensões iniciais. Com isso, a interação entre os dois materiais fica comprometida.

Quando os corpos-de-prova são cilíndricos, pode-se considerar apenas duas variações lineares.

- a) **Varição linear longitudinal axial:** ocorre na direção do eixo vertical do colmo de bambu; a exemplo das madeiras, essas variações são desprezíveis, na casa de 0,5%.
- b) **Varição radial:** refere-se à movimentação na direção interior-casca. Geymayer e Cox (1970 citados por FERREIRA, 2002), verificaram que a variação dimensional linear no colmo nessa direção é de aproximadamente 5%.

Pereira e Beraldo (2007) constataram que, de maneira semelhante às madeiras, as ripas de bambu têm uma variação dimensional linear no sentido radial na ordem de 3%; na direção tangencial, de 5 a 6%; praticamente desprezível na direção axial, e uma variação volumétrica média da ordem de 9%.

2.7 Propriedades mecânicas

2.7.1 Compressão paralela às fibras do bambu

As características mecânicas do bambu são influenciadas por diversos fatores: espécie, idade, tipo de solo, condições climáticas, época de colheita, teor de umidade das amostras e sua localização em relação ao comprimento do colmo, presença ou ausência de nós nas amostras testadas e tipo de teste aplicado

(GHAVAMI, 1989 citado por GHAVAMI; MARINHO, 2005). Deve-se considerar também, sua secção circular e cônica com dimensões irregulares e a direção das forças que serão aplicadas, se paralelas ou perpendiculares às fibras (DULKELBERG, 1996).

Segundo Pereira e Beraldo (2007), normalmente os testes de compressão em colmos de secção circular utilizam as normas de estudo das argamassas e concreto: a medida da altura dos corpos-de-prova confeccionados tem o dobro da medida do diâmetro (Figura 12). Porém, quando são utilizados colmos de pequeno diâmetro, as dificuldades obrigam a realização de teste com amostras contendo mais de dois nós, quando o ideal é utilizar corpos-de-prova com um nó em cada extremidade. Outra dificuldade encontrada para a realização de ensaios com o bambu é a heterogeneidade entre as espécies e as variações das espessuras das paredes das amostras, aspectos que afetam os resultados dos ensaios.



Figura 12 – Compressão paralela às fibras

Fonte: COMBAM (2009)

Nos testes de compressão, os nós têm influência maior quando as cargas são concentradas na direção perpendicular às fibras do colmo, ampliando a resistência em 45%, em relação às seções sem nós. Se uma carga de compressão é aplicada paralelamente à fibra, os valores da resistência das seções do colmo, incorporando os nós, são cerca de 8% superiores às seções sem os nós (DULKELBERG, 1996).

Ghavami e Marinho (2005) realizaram testes com colmos inteiros, da espécie *Guadua angustifolia*, obtendo resultados para resistência à compressão,

módulo de elasticidade e coeficiente de Poisson, das partes basal, central e topo (Tabela 3). Observaram que a resistência à compressão é, em geral, três vezes menor que a resistência à tração. A resistência média foi de 29,48 MPa, aumentando da base para o topo. O valor máximo da tensão ocorreu na parte do topo, sendo igual a 34,52 MPa para o corpo-de-prova sem nó e de 29,62 MPa com nó. Na base, este valor caiu para 25,27 MPa no corpo-de-prova com nó e 28,36 MPa sem nó. A média do módulo de elasticidade longitudinal às fibras foi de 12,58 GPa, variando de 9,00 GPa na base a 15,80 GPa na região do topo, ambos em corpos-de-prova com nó. O coeficiente de Poisson médio obtido no ensaio de resistência à compressão foi de 0,34.

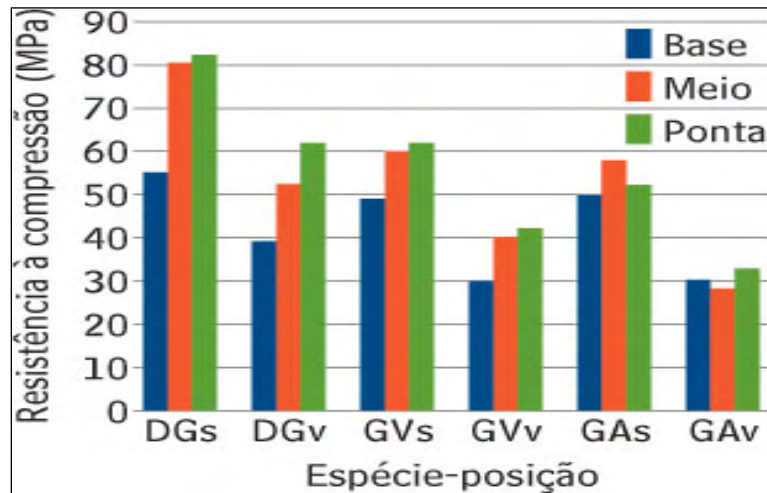
Tabela 3 – Resistência do bambu inteiro à compressão, módulo de elasticidade e coeficiente de Poisson em diversas partes do colmo

Parte do bambu	Resistência à compressão σ_t (MPa)	Módulo elasticidade-E (GPa)	Coef. Poisson μ
Base sem nó	28,36	14,65	0,27
Base com nó	25,27	9,00	0,56
Centro sem nó	31,77	12,25	0,36
Centro com nó	28,36	12,15	0,18
Topo sem nó	25,27	11,65	0,36
Topo com nó	31,77	15,80	0,33
Valor médio	29,48	12,58	0,34
Variação	25,27-34,52	9,00-16,80	0,18-0,56

Fonte: Ghavami e Marinho (2005)

Beraldo (1987) encontrou valores de 55 MPa e 65 MPa para amostras cilíndricas das espécies *Phyllostachys sp* e *Phyllostachys purpuratta*, resultado que, segundo Pereira e Beraldo (2007), apesar de muito variável, em função das espécies estudadas pelos diferentes autores, são muito superiores ao concreto convencional, da ordem de 15 a 20 MPa.

Testes de compressão em amostras de seção retangular apresentaram, conforme Pereira e Beraldo (2007), uma resistência à compressão situada na faixa de 20 a 120 MPa e o módulo de elasticidade variou entre 2,6 e 20 GPa, ambas as resistências determinadas conforme a espécie e teor de umidade e região do colmo analisada. Apresenta-se, na Figura 13, a relação da resistência à compressão com a espécie de bambu e posição do teste no colmo.



DG=*Dendrocalamus giganteus* GV=*Gigantochloa verticillata* GA = *Guadua angustifolia*

Figura 13 – Resistência a compressão em seção retangular

Fonte: Techne (2006)

2.7.2 Tração paralela

Ghavami e Marinho (2005), em ensaios realizados com colmos inteiros, obtiveram resultados de resistência à tração, módulo de elasticidade e coeficiente de Poisson da parede do colmo do bambu *Guadua angustifolia* (Tabela 4). Observaram que o bambu atinge uma resistência média à tração de 86,96 MPa e que, no geral, a parte central apresenta maior resistência; 95,80 MPa no corpo-de-prova sem nó e 82,62 MPa no corpo-de-prova com nó.

Tabela 4 – Resistência do bambu inteiro à tração, módulo de elasticidade e coeficiente de Poisson em diversas partes do colmo

Parte do bambu	Resistência à tração	Módulo Elasticidade-E	Coef.
	σ_t (MPa)	(GPa)	Poisson μ
Base sem nó	93,38	16,25	0,19
Base com nó	69,88	15,70	-
Centro sem nó	95,80	18,10	0,25
Centro com nó	82,62	11,10	-
Topo sem nó	115,84	18,36	0,33
Topo com nó	64,26	8,0	-
Valor médio	86,26	14,59	0,26
Variação	64,26-115,84	8,0-18,36	0,19-0,33

Fonte: Ghavami e Marinho (2005)

Conforme o referido autor, nas regiões com nó, a resistência diminui devido à descontinuidade das fibras nesses pontos, seguindo a direção do nó. Como ocorrido também em outros ensaios, os corpos-de-prova sempre rompem no nó ou bem próximo a ele. A região do topo, sem nó, apresentou maior resistência à tração, 115,84 MPa; porém, no corpo-de-prova com nó, obteve-se menor resistência, 64,26 MPa.

No bambu em estudo, o módulo de elasticidade longitudinal às fibras variou de 8,0 GPa a 18,36 GPa, com valor médio de 15,11 GPa e com os maiores valores obtido sempre nos corpos-de-prova sem nó. O coeficiente de Poisson médio foi de 0,26, aumentando da base para o topo.

A resistência à tração na espécie *Guadua angustifolia Kunth*, em experimentações com réguas de bambu, alcançou o valor máximo de 350 MPa e mínimo de 180 MPa. Sua resistência à tração é considerada como sendo da ordem de quatro vezes aquela obtida em ensaios de compressão. Isso torna o uso do bambu atrativo como substituto do aço, especialmente se for considerada a razão entre sua resistência à tração e sua massa específica aparente (PEREIRA; BERALDO, 2007).

O módulo de elasticidade do bambu, também em réguas, apresentou um valor máximo de 31 GPa e mínimo de 14 GPa em pesquisas com a espécie *Guadua angustifolia Kunth* (GARZON; DÍAZ, 2007), valores muito próximos àqueles citados por Pereira e Beraldo (2007), que apresentam o módulo de elasticidade raramente superior a 20 GPa.

Tal fato indica que, quando muito, esse uso particular do bambu poderia substituir o aço CA 25 (tensão de ruptura de 250 MPa), porém, obviamente, os resultados se encontram muito distantes daqueles obtidos com aços convencionais de uso da construção civil (CA 50 e CA 60).

2.7.3 Flexão Estática

Beraldo (2003 citado por PEREIRA; BERALDO, 2007), comentou que o comportamento à flexão do bambu inteiro ou de seus segmentos é muito importante para efetuar a análise estrutural. Destacou também, que vários trabalhos experimentais estão sendo desenvolvidos para estabelecer este tipo de resistência e

que, embora seja um ensaio de execução mais simples para o caso das madeiras, quando se trata do bambu encontram-se inconvenientes, principalmente se o objetivo for ensaiar diretamente um colmo.

Os resultados dos testes à flexão estática são muito variáveis, em razão de diversos fatores: a posição dos corpos-de-prova para ensaios; sua forma irregular próxima a troncos de cone; a espessura não uniforme das paredes; a variação na orientação das fibras na região dos nós; a presença do diafragma, atuando como estribos em uma armação de ferragem; o esmagamento prematuro das paredes do colmo pela compressão do cutelo, antes do rompimento da peça como um todo, e a metodologia aplicada aos testes.

Janssen (2000) comentou que, em colmos inteiros, foram encontrados valores oscilando entre 170 MPa e 62 MPa e o módulo de elasticidade variou entre 6 GPa e 14 GPa.

2.7.4 Cisalhamento

O bambu apresenta limitada resistência ao cisalhamento na direção paralela. Isso se deve ao fato de as fibras serem unidas umas às outras unicamente por elementos naturais colantes e o descolamento das fibras iniciar-se mesmo com baixos valores de tensão.

O aparecimento de fissuras, que surgem pelo cisalhamento, pode ser um problema sério em estruturas de bambu. Além de surgirem preocupações quanto à queda de resistência da estrutura, o aparecimento de fissuras também serve de local de entrada de água e penetração de insetos, fatores que podem diminuir a vida útil do bambu.

Usando-se apenas um facão e um martelo, é possível dividir um bambu perfeitamente ao meio, colocando-se o facão paralelo às fibras e aplicando-lhe golpes com o martelo: as fibras se separam sem muito esforço. Este é um conceito importante, pois tal procedimento facilita muito a confecção de algumas conexões que precisam de corte paralelo às fibras (Figura 14).



Figura 14 – Corte feito na direção longitudinal às fibras

Fonte: Marçal (2008)

Os resultados médios da resistência ao cisalhamento interlaminar, encontrados por Ghavami e Marinho (2005), para os corpos-de-prova localizados na base, centro e topo do bambu *Guadua angustifolia*, são apresentados na Tabela 5. Os valores foram obtidos a partir da média de três ensaios. Observa-se que eles aumentam da base para o topo e, no topo, a resistência ao cisalhamento foi de 2,42 MPa para o corpo-de-prova sem nó e 2,11 MPa para o corpo-de-prova com nó. Na base, esses valores foram 2,20 MPa sem nó e 1,67 MPa com nó, respectivamente. Observa-se que, nos corpos-de-prova sem nó, a resistência é maior e se mantém quase uniforme nas três partes do comprimento do colmo; já nas partes com nó, a resistência é menor e os valores variam muito.

Tabela 5 – Resistência ao cisalhamento do bambu inteiro *Guadua angustifolia*

Parte do colmo		Tensão de cisalhamento τ (MPa)
Base	sem nó	1,67
	com nó	2,20
Centro	sem nó	1,43
	com nó	2,27
Topo	sem nó	2,11
	com nó	2,42
Valor médio		2,02

Fonte: Ghavami e Marinho (2005)

Beraldo et al. (2003) afirmaram que a resistência ao cisalhamento transversal às fibras do bambu situa-se em torno de 30% de sua resistência à flexão,

ou seja, em torno de 32 MPa (variação entre 20 MPa e 65 MPa), e sua resistência ao cisalhamento longitudinal às fibras situa-se em torno de 15% de sua resistência à compressão, ou seja, em torno de 6 MPa, com variação de 4 MPa a 10 MPa.

2.7.5 Torção

A seção circular é a única seção ou arranjo geométrico possível, capaz de abarcar o máximo de conteúdo com o mínimo de perímetro ou superfície. Devido ao seu formato cilíndrico, o bambu possui boas propriedades quando submetido a forças de torção. Fazendo-se uma analogia com uma fila de pessoas, em formato circular, a força que uma pessoa exerce sobre a outra é passada adiante, já que não existe espaço para onde a força se desloque (Figuras 15 e 16).

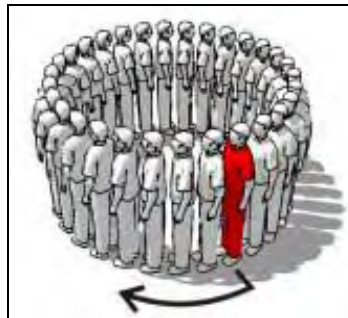


Figura 15 – Representação de um sistema contínuo de tensões

Fonte: Marçal (2008)

Contudo, as fibras do bambu são facilmente descoladas e esse deslocamento pode ser muito prejudicial ao sistema de tensão, causando-lhe uma descontinuidade, que tende a diminuir as resistências à torção da vara.

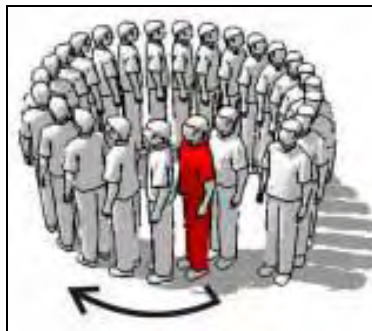


Figura 16 - Representação de um sistema descontínuo de tensões

Fonte: Marçal (2008)

2.8 Distribuição geográfica

Geograficamente, as espécies de bambus nativos estão distribuídas nas regiões tropicais e subtropicais do planeta, com exceção da Europa, na proporção aproximada de: 67% na Ásia e Oceania, 30% nas Américas e 3% na África (HIDALGO-LÓPEZ, 2003).

A Figura 17 apresenta a distribuição geográfica da incidência de bambus, nas 1.250 espécies classificadas botanicamente.

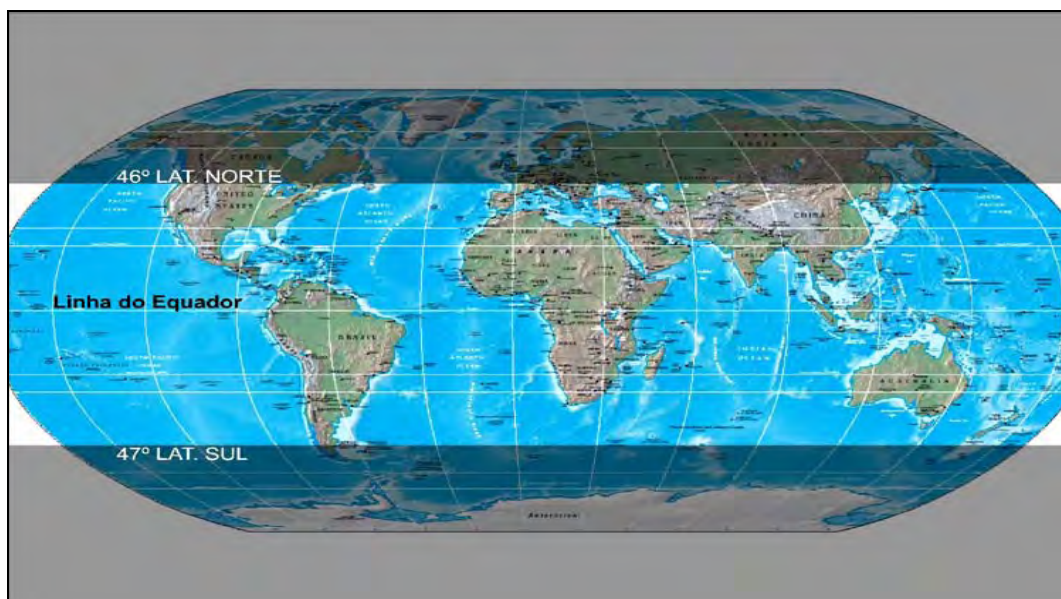


Figura 17 - Distribuição geográfica do bambu
Fonte: Hidalgo-López (2003)

2.9 Espécies prioritárias

No Brasil, de acordo com Filgueiras e Gonçalves (2004), as espécies nativas são, em sua maioria, enquadradas na categoria ornamental e estão associadas a um meio ambiente específico – como a Floresta Atlântica, com 65%; Amazônia, com 26% e 9% nos Cerrados – possuindo 34 gêneros e 232 espécies de bambus nativos (174 espécies são consideradas endêmicas).

Dentre os bambus lenhosos, o Brasil possui seis gêneros com 129 espécies endêmicas, destacando-se os gêneros: *Merostachys*, com 53 espécies; *Chusquea*, com 40 espécies; e, *Guadua*, com 16 espécies (Figuras 18 e 19). Entre as espécies introduzidas, destacam-se aquelas pertencentes aos gêneros: *Bambusa*

(espécies: *blumeana*, *dissimilator*, *multiplex*, *tulda*, *tuldoides*, *ventricosa*, *vulgaris*, *beeheyana*), *Dendrocalamus* (espécies: *giganteus*, *asper*, *latiflorus*, *strictus*), *Gigantochoa*, *Guadua*, *Phyllostachys* (espécies: *áurea*, *purpuratta*, *bambusoides*, *nigra*, *pubescens*), *Pseudosasa*, *Sasa* e *Sinoarundinaria*.



Figura 18 - *Guadua angustifolia*



Figura 19 - *Guadua chacoensis*

A maioria das espécies plantadas no Brasil é originária dos países orientais, com exceção do gênero *Guadua*, que tem sua origem na América, possuindo várias espécies nativas no Brasil, com existência de aproximadamente sete milhões de hectares, no Estado do Acre, da espécie *Guadua weberwarii*, indicadas em vermelho na Figura 20.



Figura 20 - Região do Estado do Acre com áreas nativas de *Guadua weberwarrii*
 Fonte: Berndsen (2007)

Comercialmente, no Brasil, o Grupo Industrial João Santos, por meio da Indústria Itapagé, produz sacos para embalagem de cimento Portland com celulose de bambu. Sabe-se de dois plantios de grande porte da espécie *Bambusa vulgaris*, para fabricação de papel: um no Maranhão, no município de Coelho Neto, com 20.000ha e outro em Pernambuco, no município de Palmares com 16.000ha (Figura 21).

Pequenos plantios da espécie *Phylostachys aurea* (cana-da-índia), utilizados para construção de móveis e varas de pescar, são frequentes no sul da Bahia, em Minas Gerais, Rio de Janeiro e no interior de São Paulo. A espécie *Phylostachys pubescens* (bambu mossô), trazida ao Brasil pelos imigrantes japoneses, no princípio do século passado, é muito encontrada no interior do Estado de São Paulo, onde se instalaram suas colônias. É dessa espécie que são retirados os brotos de bambu, muito utilizados na culinária japonesa e também plantas para paisagismo (Figura 22).



Figura 21 – Plantio Itapagé de *Bambusa vulgaris*
Fonte: Pereira e Beraldo (2007)

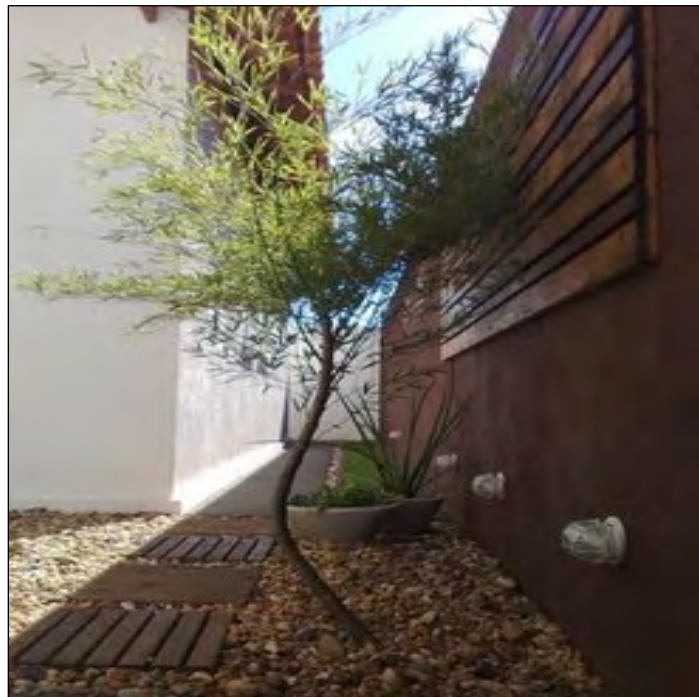


Figura 22 – Jardim com bambu Mossô

Originário da Ásia, o *Dendrocalamus asper* (Figura 23) é encontrado no Rio de Janeiro (RJ) e em Campo Grande (MS). Esta espécie costuma ser chamada de "bambu-balde", pela grande diâmetro do colmo, podendo chegar a 25 cm de diâmetro e cerca de 25 m de altura. Seus brotos são comestíveis e, quando jovens, apresentam penugem áspera, marrom, quase dourada.

O maior bambu de todos é o da espécie *Dendrocalamus giganteus* (Figura 24), que pode chegar a uma altura superior a 35 m e diâmetro de até 35 cm.



Figura 23 - *Dendrocalamus asper*



Figura 24 - *Dendrocalamus giganteus*

Segundo Pereira e Beraldo (2007), organismos internacionais ligados à cultura do bambu (INBAR, 1994) recomendaram a introdução e a experimentação de 19 espécies, consideradas como prioritárias, com base em critérios relacionados à

sua utilização, cultivo, processamento e produtos, recursos genéticos e características edafoclimáticas (Quadro 1). Muitas das espécies de bambu já foram introduzidas no Brasil e encontram-se adaptadas às condições locais de clima e solo.

Quadro 1 – Espécies prioritárias de bambu de acordo com o INBAR

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

Legenda	
* espécies existentes no Brasil	
Valor:	C = Potencial para comercialização RI = Indústria Rural ++ (alto); + (médio); - (baixo) E = Regenerador ambiental
Manejo:	D = Domesticado W = Selvagem
Clima e Ecologia:	CL = Clima: h (trópicos úmidos); d (trópicos secos); st (subtropicais); s (semi-árido); t (temperado) SL = Solo: r (rico); m (médio); p (pobre)
Recursos genéticos:	D = Desgaste genético S = Necessidade de pesquisas sobre armazenamento de sementes IV = Necessidade de pesquisas sobre reprodução em vitro T = Necessidade de maiores transferências F = Necessidade de levantamentos futuros H (alto) – M (médio) – L (baixo)

Fonte: Pereira e Pereira Neto (1996)

2.9.1 Espécies para uso nas construções no Brasil

De acordo com Toledo Filho e Barbosa (1990), no Brasil, as espécies de bambu mais encontradas e adequadas para construção são: *Bambusa vulgaris* (de maior ocorrência, mas muito susceptível ao ataque de insetos); *Dendrocalamus giganteus* (bambu gigante); *Bambusa tuldoides* e *Bambusa arundinacea*. A espécie *Gradua angustifolia*, apesar de ser praticamente desconhecida no Brasil (maior ocorrência na região Norte do país), representa um dos maiores potenciais para uso na construção (Quadros 2 e 3).

Quadro 2 – Características das principais espécies de bambu para construção e produção de componentes

Nome científico	Origem (principal)	Comprimento (m)	Diâmetro (cm)	Características e usos
<i>Arundinaria sp.</i>	Índia e Nepal	3,00~10,00	1,50~4,30	Trançados para painéis de casas; cobertura e ligações.
<i>Bambusa arundinacea</i>	Índia	25,00~30,00	15,00~20,00	Paredes grossas; formas um pouco torcidas; forte e muito duradoura; presença de espinhos.
<i>Bambusa balcooa</i>	Índia	15,20~21,30	7,60~15,20	Muito adequado para diversas aplicações em construções.
<i>Bambusa blumeana</i>	Malásia, Java, Índia, Sumatra, Borneo, Índia e Filipinas	9,10~18,20	7,60~15,20	Paredes grossas; componentes construtivos de modo geral.
<i>Bambusa multiplex</i>	China	9,10	2,50	Entrenós longos e paredes finas; resistente ao ataque de insetos; revestimento para coberturas e painéis.
<i>Bambusa nutana</i>	Índia	10,00~15,00	4,00~8,00	Paredes muito grossas; entrenós de 35~45cm; substância lenhosa forte; peças retílineas, dura e muito apreciada; uso geral na construção.
<i>Bambusa polymorpha</i>	Índia, Paquistão, Birmânia e Tailândia	15,20~24,30	7,60~15,20	Considerado um dos melhores bambus para painéis, pisos e coberturas.
<i>Bambusa textilis</i>	China	14,10	5,00	Entrenós longos com capa lenhosa bastante delgada; trançados para painéis.
<i>Bambusa tuldoides</i>	China, Brasil, Malásia e El Salvador	19,10	5,00	Uso geral na construção.
<i>Dendrocalamus asper</i>	Malásia, Indonésia, Filipinas e Tailândia	30,50	15,20~20,30	Entrenós curtos, paredes muito grossas na região basal do bambu.
<i>Dendrocalamus giganteus</i>	Índia, Tailândia e Birmânia	24,30~30,50	20,30~25,40	Uso geral na construção.

Fonte: Toledo Filho e Barbosa (1990)

Quadro 3 – Características das principais espécies de bambu para construção e produção de componentes

Nome científico	Origem (principal)	Comprimento (m)	Diâmetro (cm)	Características e usos
<i>Dendrocalamus latiflorus</i>	Tailândia, Taiwan e Filipinas	25,00	20,00	Espessura das paredes: 0,5~3,5 cm; entrenós: 20,00~70,00 cm; uso geral na construção.
<i>Dendrocalamus strictus</i>	India, Tailândia e Birmania	5,00~15,00	5,00~8,00	Bambu muito forte, frequentemente maciço; uso geral na construção.
<i>Bambusa aculcata</i>	México ao Panamá	22,80	12,70	Entrenós relativamente curtos; substância lenhosa de espessura mediana; uso geral na construção.
<i>Bambusa amplexifolia</i>	Venezuela a México	18,20	10,10	Entrenós relativamente curtos; colmos inferiores semi-maciços.
<i>Bambusa angustifolia</i>	Brasil, Peru, Equador, Colômbia, e Argentina ao Panamá	27,40	15,20	Entrenós relativamente curtos; espessura de até 2cm; utilizado em quase todos os componentes das casas. Muito resistente ao ataque de fungos e insetos.
<i>Bambusa superba</i>	Brasil	22,8	12,7	Uso geral na construção.
<i>Melocanna baccifera</i>	India, Paquistão e Birmânia	15,20~21,30	3,80~7,60	Entrenós de 30,48~50,80cm; peças retilíneas, paredes delgadas, porém forte e duráveis. Material principal para construção de casas populares.
<i>Phyllostachys bambusoides</i>	China e Japão	22,80	15,20	Peças retilíneas; substância lenhosa de espessura mediana, mas de excelente qualidade; uso geral na construção.
<i>Phyllostachys edulis</i>	Taiwán	4,0~20,0	5,0~18,0	Uso geral na construção.
<i>Thyrsostachys siamensis</i>	Tailândia e Birmânia	7,60~14,10	3,80~7,60	Paredes grossas; entrenós 15,24~30,48cm; muito resistente e retilíneo.

Fonte: Toledo Filho e Barbosa (1990)

2.10 Métodos de construção com bambu

A classificação por métodos de construção é uma forma de análise das edificações, sob o prisma de como se pode construir com bambu, e não do tipo de construção – como casas, pontes, escolas, etc. Método é constituído por uma série

de passos codificados que se tem de tomar, de forma mais ou menos esquemática, para atingir um determinado objetivo (WIDYOWIJATNOKO; TRAUTZ, 2008).

Nesta ótica, neste trabalho, classificou-se os métodos de construção com bambu em: vernacular ou tradicional, contemporâneo e substitutivos parcial ou integral dos materiais de construção usuais pelo bambu em suas diversas formas.

2.10.1 Método vernacular e tradicional

Denomina-se construção vernacular todo tipo de arquitetura em que se empregam materiais e recursos do próprio ambiente onde a edificação é construída; refere-se às estruturas feitas pelos construtores de modo empírico, sem a intervenção dos engenheiros ou arquitetos profissionais. É a maneira mais simples e generalizada para construir (Figura 25). Desse modo, ela apresenta caráter local ou regional (ARBOLEDA, 2006 citado por WIDYOWIJATNOKO; TRAUTZ, 2008).



Figura 25 - Casa feita de bambu pelos antepassados na costa do Equador
Fonte: Hidalgo-López (2003)

Construções vernaculares e tradicionais têm estreita ligação: as construções tradicionais também podem incluir edifícios que ostentam elementos de design requintado; templos e palácios, por exemplo, que normalmente não seriam incluídos sob o título de "vernáculo" (BRUNSKILL, 2000).

Suas construções descrevem métodos originais não escritos, estipulados e acordados, geralmente, em uma comunidade, com materiais locais, de fácil

utilização e reposição, cujos tipos de construções não se limitam apenas a residências, mas a todo tipo de edificações necessárias à convivência dessa comunidade.

Em regiões onde o bambu cresce naturalmente, ele foi o primeiro material de construção usado desde os primórdios da humanidade, em razão da disponibilidade e facilidade de uso.

Nas construções tradicionais, o bambu é utilizado em sua maneira mais simples de aplicação, com utilização de colmos inteiros, régua sem aparelhamentos, bambu trançado, cordas de bambu e argamassa adicionada de fibras naturais, utilizando-se métodos e ferramentas muito simples e acessíveis até mesmo para os jovens e para os não qualificados (JAYANETTI; FOLLET, 1998).

Os materiais utilizados em construções tradicionais são:

a) Colmos inteiros de bambu

Remontam das construções empíricas e são, até hoje, a base da maioria das construções com bambu; possuem a especificidade do uso material, com carpintaria particular, não repetida com outros materiais, como os encaixes de boca-de-peixe (Figura 26), boca-de-peixe com flanges dobradas e corte reto com abas (Figura 27).



Figura 26– Corte boca-de-peixe



Figura 27 – Corte boca-de-peixe com flange e corte reto

As peças de bambu são cortadas nas proximidades das construções, geralmente com facão ou machadinha, com imediata utilização para as diversas finalidades, sem prévio tratamento, recebendo, em alguns casos, apenas limpeza superficial e lixamento dos colmos, o que caracteriza sua baixa durabilidade, pela ausência de acabamento superficial.

b) Ripas de bambu

É obtido de maneira tradicional, por meio da divisão dos colmos, com uso de ferramentas simples como um facão. O corte é comumente iniciado com este instrumento, para depois introduzir-se uma madeira rígida ou cunha (Figura 28); é possível utilizar também uma barra metálica ou de madeira para essa função, após a prévia abertura do colmo (Figura 29). Após a obtenção das ripas, retira-se a parte branca interna, para evitar o ataque de insetos, assim como as partes do diafragma.

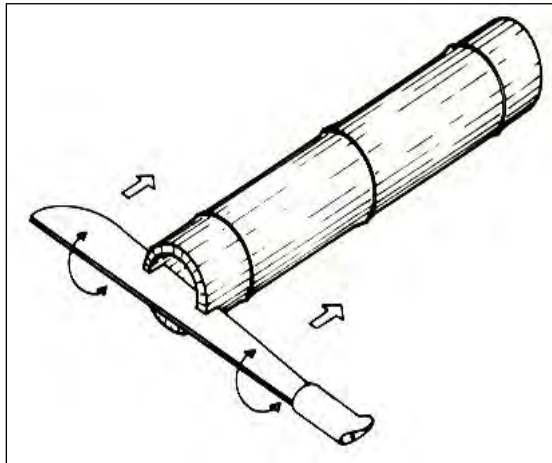


Figura 28 – Corte para obtenção de ripas de bambu
 Fonte: Hidalgo-López (2003)

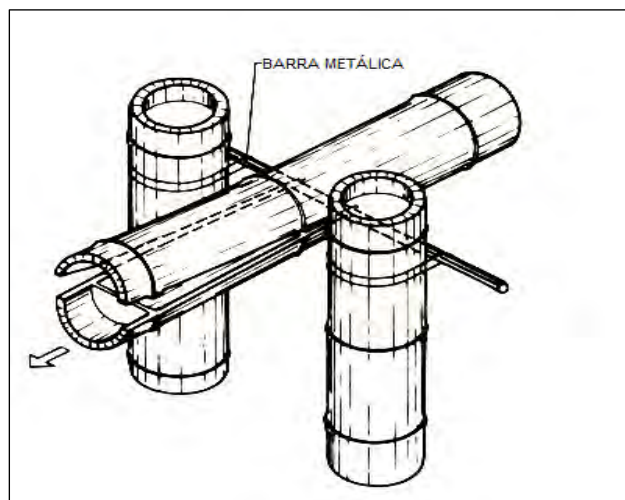


Figura 29 – Corte com uso de barra metálica
 Fonte: Hidalgo-López (2003)

A facilidade com que o bambu pode ser dividido ao longo do seu eixo longitudinal oferece vantagens, se comparada ao uso de serrotes, pois, durante a divisão, os feixes das fibras são apenas separados uns dos outros axialmente, enquanto o serrote vai cortar muitas fibras (DUNKELBERG, 1996).

c) Tiras

Utilizadas para confecção das diversas tramas, (Figura 30); são retiradas pela divisão tangencial das ripas de bambu, com auxílio de ferramentas manuais, como facas largas, separando-se para uso somente a casca do colmo. A resistência destas tiras é proporcionada pela direção longitudinal das fibras na casca do bambu.



Figura 30 – Tramas confeccionadas com tiras de bambu

Fonte: Hidalgo-López (2003, p. 243)

d) Cordas com fibras de bambu

São consideradas as mais antigas formas de realizar as conexões de bambu; circulam e atravessam as junções, criando atrito entre as partes. São obtidas pela subdivisão da casca de bambu em tiras finas, posteriormente trançadas (Figura 31). Na maioria dos casos, para fazer uma conexão forte de corda, as peças de bambu têm de ser previamente encaixadas e, em seguida, amarradas de diversas maneiras, diferenciadas pelas culturas que utilizaram essa técnica. Normalmente, as construções evitam as conexões submetidas à tração, pois amarrações não oferecem resistência a este tipo de esforço (DUNKELBERG, 1996).

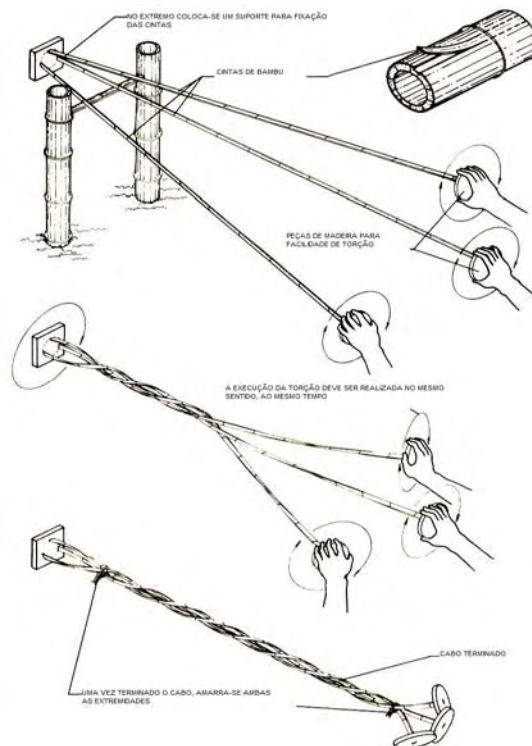


Figura 31 – Confeção de cordas de tiras de bambu

Fonte: López (2003,)

e) Argamassas

Servem para vedação dos painéis de ripas ou de tecidos de bambu e enchimento dos vãos, quando utilizado o sistema de paredes duplas. Possui como componente principal o barro, adicionado de diversos materiais naturais para dar liga, como estrume de animais, palha de fibras naturais, entre outros.

Apresenta-se a seguir, os métodos que tradicionalmente utilizam o bambu em todos os componentes de uma edificação:

a) Fundações

As fundações são o fator determinante para o curto prazo de utilização das edificações construídas pelo método tradicional: quando não são tomadas as medidas preventivas contra a umidade proveniente do contato do bambu com o solo, ocorre rápida deterioração e falência estrutural da edificação. Segundo Jayanetti e Follett (1998), a durabilidade dessas fundações varia de seis meses a dois anos.

Na Ásia, as fundações das construções vernaculares são apoiadas diretamente no solo (Figura 32); quando muito, utilizam-se rochas sob os pilares de sustentação, característica que determinava o uso temporário da edificação, desvalorizando-a. Segundo Hidalgo-López (2003), alguns países do sudeste da Ásia não utilizam o bambu em suas estruturas por causa da cultura remanescente da baixa durabilidade do material.



Figura 32 – Elementos de fundação apoiados diretamente no solo
Fonte: Dunkelberg (1996)

b) Estrutura

Basicamente, as estruturas das edificações tradicionais utilizam colmos de bambu com diversos tipos de entalhes ou cortes e encaixes. Estas conexões, geralmente, são somente encaixadas ou amarradas por cordas de bambu, tornando o sistema estrutural muito flexível e leve com grande absorção de energia sísmica (DUNKELBERG, 1996).

As estruturas de apoio para os pisos são elevadas do solo sobre pilotis, em uma altura média de 50 cm, distanciando, desta forma, a edificação da umidade e do ataque de insetos rasteiros e animais, permitindo também a manutenção e limpeza (JAYANETTI; FOLLET, 1998). Esta estrutura é formada por colmos robustos e, sobre estes pilares, desenvolve-se um tablado, montado com colmos inteiros amarrados com cordas de tiras de bambu, para receber os pisos (Figura 33).

Os quadros de sustentação das edificações são formados por vigas e pilares de colmos inteiros de bambu, que apóiam as paredes e a estrutura de cobertura, distribuindo as cargas na estrutura dos pisos e estes nos pilares de sustentação, respectivamente. Em alguns casos, utilizam-se peças diagonais ou cordas, com função de contraventamento, para uma melhor estabilidade do sistema estrutural.

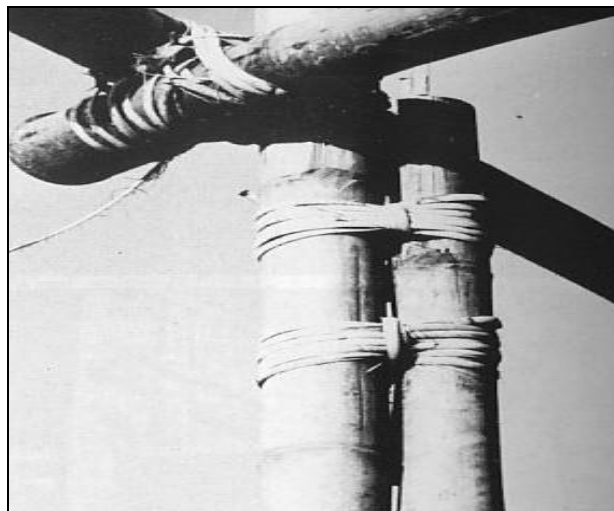


Figura 33 – Detalhe das amarrações de uma estrutura vernacular de paredes e vigas

Fonte: Dunkelberg (1996)

c) Pisos

Nas construções mais rudimentares, os pisos das residências são de terra compactada, o que acarreta problemas de higiene, saúde e segurança. Como solução, na Ásia, as residências elevaram-se, para proteção dos moradores contra animais, insetos, água proveniente das chuvas e umidade natural do solo (DUNKELBERG, 1996).

Os pisos podem ser compostos por colmos de bambu inteiros, colmos cortados ao meio, ripas de bambu (Figura 34), tiras de bambu trançadas ou pranchas de madeiras locais. Em todos os exemplos, os elementos que compõem a estrutura e a superfície dos pisos são simplesmente amarrados com cordas de tiras de bambu.

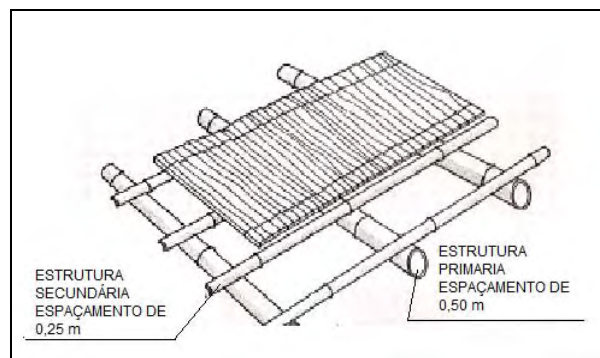


Figura 34 – Piso de ripas de bambu

Fonte: Jayanetti e Follett (1998)

d) Paredes

O clima nas diversas regiões onde são construídas as edificações é um fator muito importante na escolha do tipo de fechamento escolhido. Nos trópicos, as residências possuem paredes com características que proporcionam, além da proteção contra animais e insetos, chuvas e insolação, uma boa ventilação frente às altas temperaturas na região (DUNKELBERG, 1996).

Na Ásia, são utilizadas paredes compostas de colmos inteiros –dispostos verticalmente, lado a lado – painéis de bambus cortados ao meio (Figura 35), painéis de ripas de bambu trançadas e painéis de tiras de bambu trançadas (tecidos), todos amarrados com cordas de bambu. Estes dois últimos exemplos podem receber uma argamassa de revestimento para vedação, utilizada comumente em altitudes cujas

temperaturas são mais baixas, compostas de barro e fibras vegetais, como palha de arroz, sem alisamentos no acabamento da superfície externa e interna.

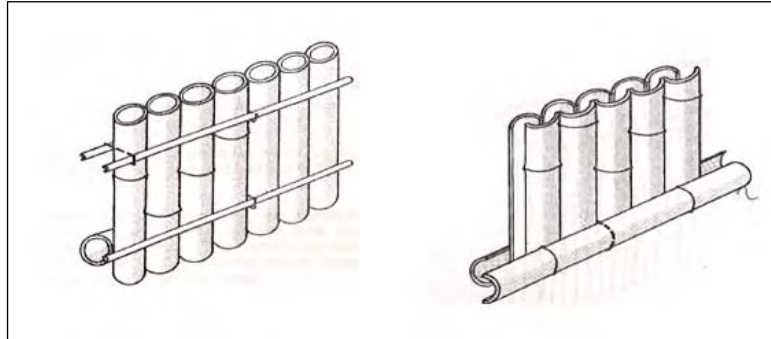


Figura 35 – Paredes de colmos inteiros de bambu e de colmos cortados ao meio
 Fonte: Jayanetti e Follett (1998)

No Japão, em construções de habitação de alto padrão, ainda se utiliza o sistema tradicional de taipa de mão, composto basicamente de bambus em tiras e roliços de pequenas dimensões, com estrutura principal em madeira. A interface da taipa com estrutura de madeira é executada com o auxílio de um tecido de juta fixado por um baguete de madeira, para se evitar fissuras entre a madeira e o barro (Figura 36).



Figura 36 – PAINEL DE BAMBUS ROLIÇOS
 Fonte: Cortez (1986)

Muito comum no Peru, Chile e partes da Índia, as paredes denominadas *Quincha* (Figuras 37 e 38) caracterizam-se pelos trançados de ripas de bambu na direção horizontal ou vertical, entre colmos de pequeno calibre. Estes painéis são

montados em quadros de colmos robustos e amarrados, com posterior aplicação de argamassa, constituída de barro com adição de fibras vegetais, preenchendo os vazios. O acabamento das superfícies pode ser realizado na própria argamassa de preenchimento ou com argamassa de regularização aplicada sobre a primeira camada.

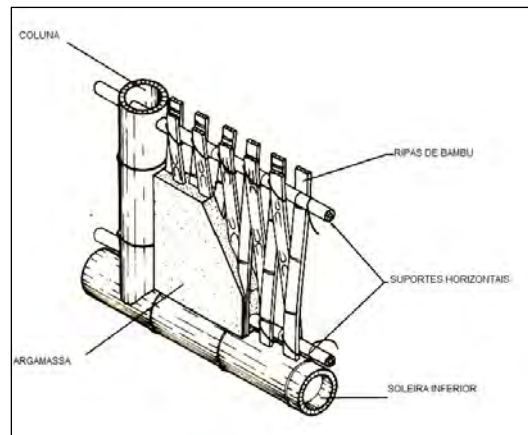


Figura 37 – Painel tipo *Quincha* com ripas verticais
 Fonte: López (2003)

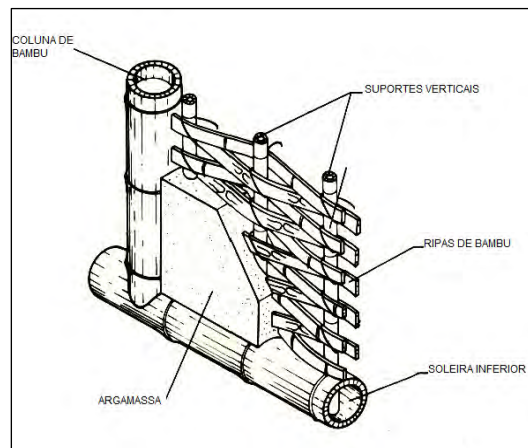


Figura 38 – Painel tipo *Quincha* com ripas horizontais
 Fonte: Hidalgo-López (2003)

O tipo de parede *Bahareque* é comumente utilizado em diversos países da América Latina e a Colômbia é o principal expoente nesta técnica, que consiste de bambus cortados ao meio (ou meia cana), dispostos horizontalmente em duas camadas, envolvendo a estrutura de sustentação. O vão é preenchido com barro e fibras vegetais, revestidos e alisados com o mesmo material (Figura 39).

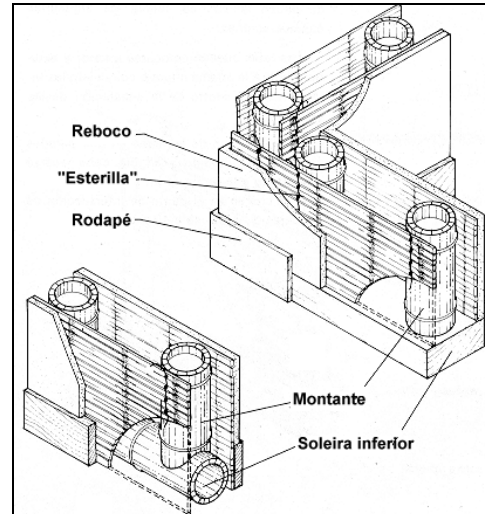


Figura 39 – Painel tipo *Bahareque*

Fonte: Hidalgo-López (2003)

e) Portas e janelas

Nas edificações tradicionais, as portas e janelas são construídas de maneira muito simples, com a montagem de colmos de pequeno diâmetro amarrados, formando painéis revestidos de tecidos de tramas de tiras de bambu. Em algumas culturas, esses painéis podem possuir uma grade paralela, para proteção contra animais e invasores, ou tramas com pequenas aberturas para que, mesmo fechadas, impeçam a entrada de insetos e permitam a circulação de ar (Figuras 40 e 41).



Figura 40 – Janela com grade de bambu

Fonte: Cortez (1986)

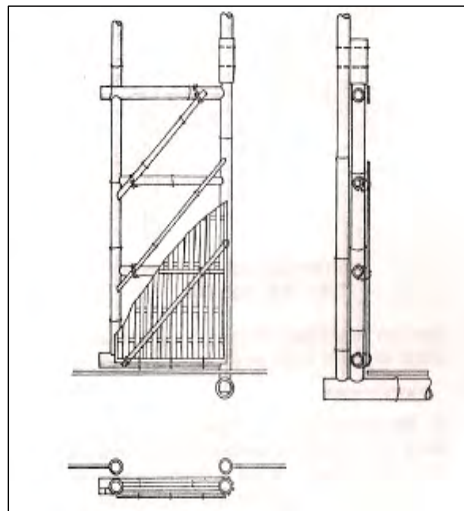


Figura 41 – Porta com estrutura e fechamento de bambu

Fonte: Jayanetti e Follett (1998)

f) Forros

A instalação de forros de bambu melhora a temperatura ambiente, criando um colchão térmico entre as telhas de cobertura e o ambiente. Este colchão geralmente possui fechamentos nas laterais, com trançados de ripas de bambu para circulação de ar e troca de calor. São confeccionados com tiras de bambu trançadas, formando tecidos com os mais variados desenhos, apoiados em semi-estrutura quadriculada de bambus de pequeno diâmetro, fixados na estrutura das paredes ou do teto por meio de cordas.

g) Estruturas de cobertura

As estruturas de cobertura são o elemento determinante das formas arquitetônicas nas diversas culturas de construção com bambu. A forma básica de cobertura, precursora das tecnologias que se sucederam, é o simples empilhamento, em forma cônica, de varas de bambu ou madeira, com prolongamento da cobertura até o solo, criando um fechamento lateral utilizado como parede, que remonta às cabanas de tribos indígenas em diversas regiões do planeta.

Historicamente, os japoneses iniciaram suas primeiras estruturas de coberturas de bambu com formas cônicas apoiadas em troncos de madeira, que evoluíram para a forma conhecida atualmente de suas construções tradicionais (Figura 42).

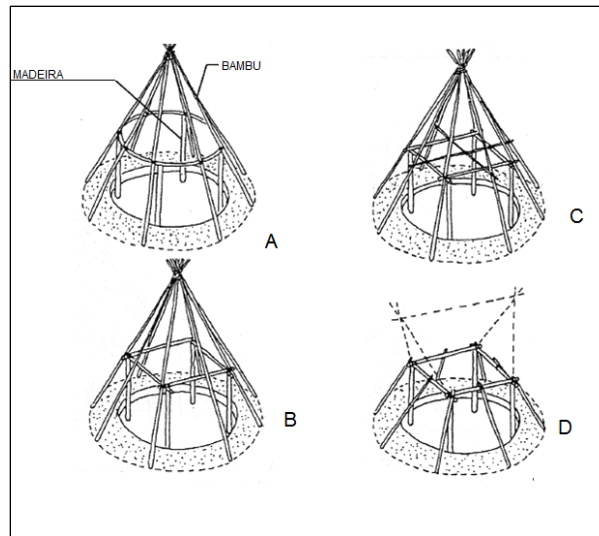


Figura 42 – Evolução das estruturas de cobertura Japonesas com bambu
 Fonte: Hidalgo-López (2003)

A cultura local influi diretamente no modo de se construir com o bambu. Segundo Hidalgo-López (2003), em diversos países e ilhas do sudoeste da Ásia, algumas edificações podiam ser construídas também em madeira, com sua estrutura de cobertura realizada em bambu. Como exemplo desta característica, o autor cita as coberturas tradicionais da Indonésia, com exemplo da casa Toradja (Figura 43), que tinham forte influência, na carpintaria de sua cobertura, das tradições navais da região, resultando em um aspecto arquitetônico original.

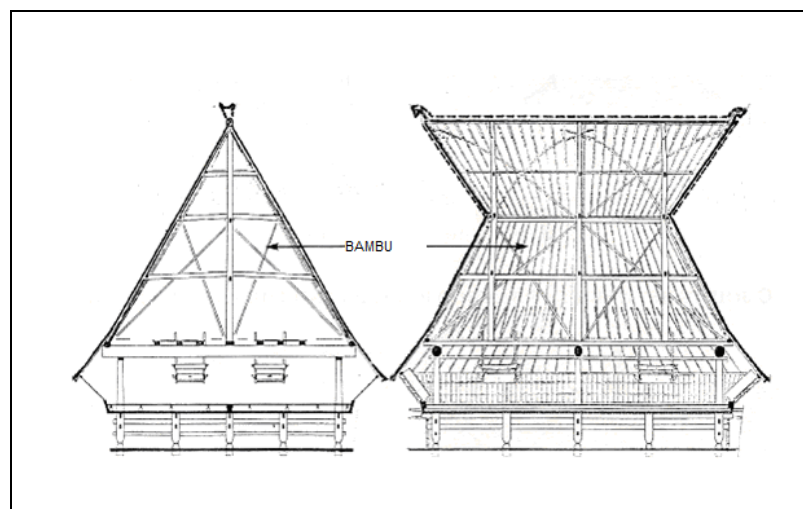


Figura 43 – Estruturas de cobertura das casas de Toradja na Tailândia
 Fonte: Dunkelberg (1996)

h) Cobertura

O telhado de um edifício é indiscutivelmente o componente mais importante de uma edificação, caracterizando a edificação como um abrigo. Deve oferecer proteção contra intempéries, como chuva, sol e vento. Os modelos mais comumente utilizados nas coberturas tradicionais na Ásia são os que utilizam colmos inteiros cortados ao meio, dispostos da maneira capa-canal (Figura 44), ou os que utilizam peças formadas pela retirada da casca de bambu (*Shingle Tiles*), com aproximadamente 3 cm de largura por 40 cm de comprimento, com um entalhe na parte posterior para fixação nas ripas de bambu, espaçadas, no máximo, 15 cm (Figura 45) (JAYANETTI; FOLLETT, 1998).



Figura 44 – Telhas tipo capa canal

Fonte: bambubrasileiro.com

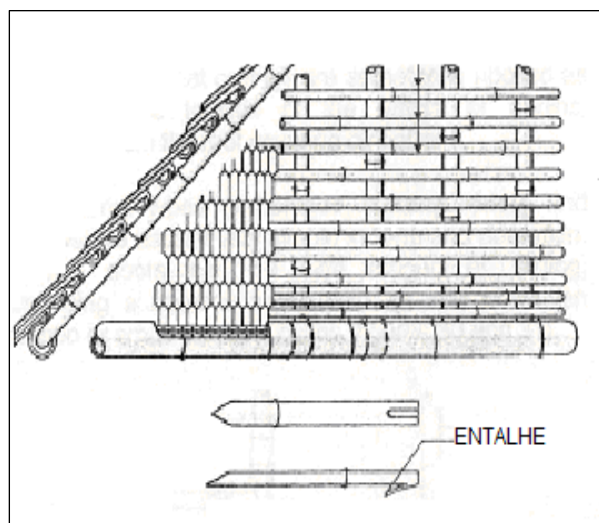


Figura 45 – Telhas de bambu com entalhe para fixação

Fonte: Jayanetti e Follett (1998)

Na China, as construções tradicionais utilizavam colmos de grandes diâmetros cortados ao meio, com o comprimento de um internó como telhas tipo capa-canal (Figura 46), determinando o aspecto visual tradicional das coberturas chinesas. Seu design é repetido nos dias de hoje, com as telhas de barro nas mesmas proporções das telhas de bambu (HIDALGO-LÓPEZ, 2003).

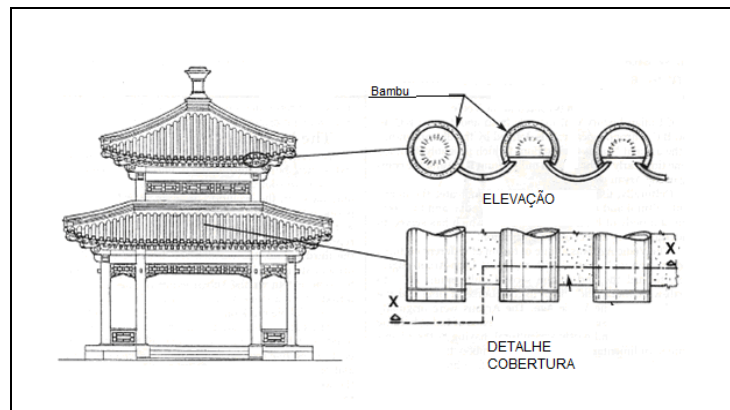


Figura 46 – Telhas de bambu das construções tradicionais chinesas
 Fonte: Hidalgo-López (2003)

Algumas coberturas tradicionais utilizam tramas de tecidos de bambu sobre estrutura de colmos em duas camadas sobrepostas, que se desenvolvem desde a cobertura até as laterais, formando paredes, como nas comunidades tribais da África, com o método de construção denominado de *Chenca* ou *Sidamo*. Pelo trançado extremamente estreito, este tipo de cobertura torna-se impermeável, não necessitando de nenhum tipo de vedação extra para garantia de estanqueidade (Figura 47).



Figura 47 – Casa tradicional Chenca na Etiópia
 Fonte: Stamm (2007)

As construções tradicionais com bambu possuem vários exemplos de edificações que serviram de base e inspirações para o desenvolvimento tecnológico de construções contemporâneas, utilizando o bambu como material de construção.

Na Indonésia, 35% das casas são construídas de maneira tradicional, exclusivamente com bambu, e 35% com bambu e madeiras nativas, como os belos exemplos das casas *Toradja* (Figura 48). Em Bangladesh e Burma, 60% das construções são feitas com bambu e, nas Filipinas, 90%, em sua maioria no meio rural, em razão da grande disponibilidade do material (DUNKELBERG, 1996).



Figura 48 – Casa de Toradja, na Indonésia

Fonte: calphotos.berkeley.edu

Na Índia, as raízes da arquitetura atual são baseadas na civilização dos Vedas, que se estendeu de 1500 a.C. até 600 a.C.. Apesar de ser uma cultura rural, possuíam casas muito bem acabadas; foram os pioneiros na construção de pórticos de bambu em suas casas – com coberturas em forma de arcos e abóbodas de diferentes desenhos – e na utilização de vigas duplas, denominadas posteriormente de *Vierendel*.

O Palácio Taj Mahal tem sua cúpula, em forma de bulbo da flor de lótus, de grande simbologia na Índia, construída originalmente em estrutura de bambu, curvado com a tecnologia herdada dos arcos da civilização Veda (Figura 49).



Figura 49 – Palácio Taj Mahal
Fonte: Dunkeberg (1996)

Segundo Hidalgo-López (2003), os chineses ostentam uma arquitetura tradicional requintada, em edificações com diversas divisões de cômodos, utilizando ripas de bambu para composição de painéis trançados para paredes externas e tecidos de tramas de tiras de bambu nas paredes internas, com diversos desenhos. Diferentemente das habitações de bambu das Américas, ficam expostas, exibindo toda a complexidade das estruturas e dos tecidos dos trançados das paredes (Figura 50).

As estruturas são compostas de colmos inteiros de bambu gigante, apoiadas em fundações de pedras, e as sofisticadas estruturas de cobertura, também de colmos inteiros, vencem grandes vãos. De acordo com o mesmo autor, os chineses são considerados os inventores das vigas duplas tipo Vierendel e das estruturas espaciais.



Figura 50 – Tradicional casa chinesa de bambu
Fonte: Liu (2009)

Os chineses desenvolveram, além de uma arquitetura própria com bambu, as melhores técnicas de construção de pontes tradicionais, com vãos de até 100 m, utilizando cordas trançadas de bambu de até 30 cm de diâmetro para sustentação de pontes suspensas.

No Brasil, as construções vernaculares e tradicionais com bambu, pela ligação direta com os povos indígenas e as populações mais pobres, geralmente nativos, carregaram o símbolo de miséria e escravidão, com exemplos de construções recentes que remontam à mesma tecnologia de construção, materiais e deficiências dos tempos da escravidão.

Conhecido como a madeira dos pobres, discriminado culturalmente durante décadas – não somente pela população de leigos, mas também pelos técnicos da área de construção civil – como material sem valor econômico, o bambu no Brasil tem estreita ligação cultural com as casas de pau-a-pique dos usuários do meio rural (Figura 51).



Figura 51 – Casa de pau-a-pique
Fonte: Dunkeberg (1996)

A técnica vernacular de construção do pau-a-pique constitui-se em barro aplicado sobre uma trama de bambu, que utiliza como estrutura peças maiores de bambu ou madeira, postas verticalmente nos vértices e, horizontalmente, formando grandes quadrados. É recomendado que a fundação seja de tijolo ou de pedra e que suba pelo menos a 30 cm do solo para evitar umidade. Peças de madeiras bem dimensionadas permitem a construção de um segundo pavimento.

2.10.2 Método contemporâneo

Atualmente, em razão dos desmatamentos e da redução na oferta de madeiras, o bambu vem assumindo um novo valor no mercado dos materiais alternativos sustentáveis para construção civil. Sua utilização em edificações de uso simples, como casas populares, ou de alta tecnologia, como grandes estruturas de cobertura, requerem pesquisas como base de avaliação do material em seus diversos usos.

O método contemporâneo de construção com bambu é baseado nos métodos tradicionais, com acréscimo da tecnologia dos novos materiais e técnicas, fundamentadas em cálculos e normas científicas para construção civil, criadas e implantadas por profissionais como engenheiros e arquitetos.

As pesquisas científicas possibilitaram o acréscimo de novas tecnologias aos materiais tradicionais, que adquiriram novas características de uso, novos requisitos de resistência e de durabilidade, ampliando as possibilidades de utilização do bambu nas construções. Os principais materiais utilizados nas construções convencionais modernas são:

a) Colmos de bambu inteiros

Os tratamentos contra o ataque de fungos e insetos, secagem, e armazenamento com métodos aprovados cientificamente, ampliaram a vida útil deste material básico para as construções com bambu. A injeção de argamassas nos internós dos colmos, melhorando sua resistência ao esmagamento e tração à compressão perpendicular, utilização de esperas metálicas nas extremidades de ligação e o uso de modernas máquinas e equipamentos para confecção de cortes e encaixes precisos resultaram em melhorias da qualidade dos projetos, facilidade de

execução e ampliação das possibilidades de utilização do colmos de bambu para uso na construção.

b) Ripas de bambu

A utilização de máquinas modernas para a obtenção de ripas proporciona grande uniformidade às peças, possibilitando padronização, rapidez de processamento e maiores volumes de produção, fatores necessários nos diferentes usos das ripas para composição de diversos materiais, como painéis e chapas (Figura 52).



Figura 52 – Plaina específica para ripas de bambu

c) Tiras

A cultura dos teares, com utilização de tramas tradicionais, é mantida e pode ser realizada de forma artesanal ou mecanizada, com acréscimo de tratamentos contra fungos e insetos nas tiras e nos painéis já tecidos.

d) Argamassas

O grande diferencial das argamassas nas construções tradicionais foi a utilização do cimento Portland e da cal adicionados à areia, em substituição às fibras naturais, melhorando o aspecto final, com acabamento alisado, além de proporcionar a aderência e resistência às régua de bambu, quando aplicado nas paredes tipo *bahareque* ou *quincha* modernizadas.

Com a utilização dos modernos materiais de construção baseados no bambu, os elementos das construções tradicionais foram incrementados pelos técnicos, arquitetos e engenheiros, com finalidade de atender os usuários com construções de qualidade estrutural e estética.

Os componentes das construções convencionais modernas são:

a) Fundações

Nas construções modernas, geralmente as fundações passaram a ser realizadas em concreto armado, na forma de blocos salientes do solo, para um distanciamento da estrutura de bambu da umidade proveniente do solo ou das chuvas (Figura 53).



Figura 53 – Fundações em forma de sapatas de concreto

Fonte : Koolbambu (2009)

b) Estrutura

Segundo Jayanetti e Follett (1998), as estruturas de apoio nas fundações de concreto podem ser realizadas de acordo com as necessidades projetuais, podendo ser simplesmente apoiadas, permitindo a movimentação do sistema – muito utilizado em países com histórico de abalos sísmicos – ou incorporadas ao concreto, conferindo rigidez à estrutura (Figura 54).

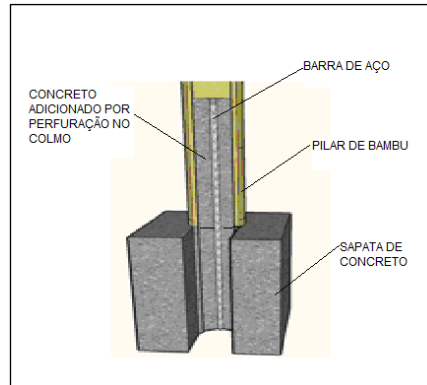


Figura 54 – Sistema de apoio com incorporação do pilar a sapata de concreto

Fonte: Marçal (2008)

As estruturas dos pilares e vigas de bambu receberam novas conexões, permitindo uma melhor transferência de esforços, com usos de argamassa de grauteamento, parafusos de fixação e esperas metálicas que fazem ligações por diversas técnicas.

c) Pisos

Os materiais para utilização nos pisos tradicionais receberam alteração em seu método de fixação, utilizando atualmente, parafusos, pregos e amarrações com arames. A superfície final, em muitos tipos destes pisos, compreensivelmente, não é satisfatória para as atuais necessidades de salubridade, com dificuldade de limpeza. As aplicações de uma camada de argamassa de cimento e areia melhoram as condições de higiene e conforto (JAYANETTI; FOLLETT, 1998).

d) Paredes

O sistema contemporâneo de construção de paredes de bambu é baseado nas formas tradicionais – como o *Bahareque* Colombiano e a *Quincha* Peruana – incrementado tecnologicamente pela montagem de painéis pré-moldados, realizados por meio de projetos de engenheiros e arquitetos e produzidos industrialmente de maneira seriada, largamente utilizado nas construções de conjuntos de habitações populares na Costa Rica, Colômbia e Equador.

Outro salto tecnológico na construção de paredes de bambu deu-se com o uso do cimento Portland e cal nas argamassas de revestimento, uso de régua aparelhadas, parafusos, pregos e arames nas amarrações, assim como a adição de pinturas, resultando em um acabamento similar às edificações convencionais de

alvenaria. Segundo Hidalgo-López (2003), por questões culturais, os ocidentais – diferentemente dos asiáticos – não gostam de ver expostas as estruturas de bambu, pois somente as populações mais pobres não possuem suas casas rebocadas (Figura 55).



Figura 55 – Sequência de construção de residência com painéis pré-moldados de bambu no Equador

Fonte: Botero (2005)

e) Portas e janelas

As portas e janelas tiveram seu acabamento melhorado em razão do aperfeiçoamento das máquinas e equipamentos de processamento do bambu, uniformizando e aparelhando as peças de bambu, bem como pela utilização de projetos mais sofisticados, com novos encaixes e colocação de ferragens e vidros. O emprego de vernizes e tintas finaliza o acabamento e proporciona maior durabilidade às esquadrias (Figura 56).



Figura 56 – Pannel de bambu com janelas de vidro temperado

Fonte: Koolbambu (2009)

f) Forros

Nos forros, utilizam-se painéis pré-fabricados de tecidos de bambu, que podem ser estruturados com réguas de madeira ou metal e fixados com fios de arame de aço. Como proteção e melhores efeitos estéticos, recebem camadas de verniz impermeabilizante (Figura 57).

Os painéis trançados com máquinas já eram realizados em 1972 e indicavam possibilidades de produção em série, aplicando-se resinas a quente, em média a 140 °C, sob pressão de aproximadamente 30 kgf/cm², com fenol-formaldeído e melamina-formaldeído, contendo 15% de resina. Também se utilizam colas de caseína e uréia-formaldeído. Este processo fornece ao bambu uma considerável resistência a insetos e às intempéries (NAÇÕES UNIDAS, 1972, citado por CORTEZ, 2003, p.61).



Figura 57 – Forro com tecido de bambu do aeroporto Baraja de Madri, Espanha
 Fonte: Hoepers (2007)

g) Estruturas de cobertura

A evolução e aplicação da engenharia nas estruturas de cobertura com bambu ampliaram suas possibilidades de aplicação, sendo utilizadas até mesmo em grandes vãos, com a segurança necessária a qualquer estrutura das edificações atuais. As inúmeras possibilidades de formas criadas por arquitetos e engenheiros dão margem à criação de uma arquitetura própria para o material.

As novas tecnologias de cobertura com bambu deixam em evidência a preocupação com a utilização de beirais de grandes dimensões, recurso utilizado

para o afastamento das estruturas de bambu das chuvas e sol, os quais acarretam deterioração do material (Figura 58).



Figura 58 – Estrutura de cobertura do Centro cultural Max Feffer, na cidade de Pardinho, SP

h) Coberturas

As coberturas das edificações com materiais modernos são geralmente utilizadas em construções de bambu – com aplicação de telhas muito leves, como as de aço galvanizado, alumínio, policarbonato ou mesmo com telhas mais pesadas como as cerâmicas ou fibras – visto que a exposição direta das telhas de bambu, em sua forma natural ou tratada, não resiste às intempéries, excluindo o bambu desta categoria de materiais para construção no método moderno.

Uma das maiores demonstrações de incremento tecnológico se realizou na Colômbia, com a reconstrução da cidade de Manizales – exemplo de construção moderna e contemporânea de bambu – após o grande incêndio em 1926, aproveitando a prosperidade e o auge econômico que vivia com o comércio e exportação do café (VÉLEZ, 2002).

A miscigenação das culturas indígenas de construção com bambu e as novas tecnologias, com influências européias trazidas pelos arquitetos e engenheiros que retornaram de seus estudos no exterior, criaram uma bela arquitetura com bambu em diversos edifícios de usos variados. Entre as novas tecnologias, destaca-se a argamassa de cimento Portland no revestimento das paredes de régua dupla de bambu, batizado de *Bahareque* Modificado, e nas ornamentações das molduras, que remontam às edificações francesas (Figura 59).



Figura 59 – Edifícios históricos de Manizales, construídos com a técnica de *bahareque*, com detalhes da arquitetura Francesa
 Fonte: Vélez (2002)

No Peru, este tipo de desenvolvimento tecnológico pode ser observado no Palácio de Viceroy Amat, em Lima, construído em 1938, com a utilização da técnica de construção de paredes denominada *Quincha* Moderna, que utiliza argamassa de cimento Portland no fechamento das paredes de tramas de bambu, assim como no reboco de acabamento nas molduras e ornamentações. Segundo Hidalgo-López (2003), todas as paredes, forros e estruturas de cobertura do Palácio são feitos em bambu (Figura 60).



Figura 60 – Palácio Viceroy Amat, em Lima no Peru
 Fonte: Lucius (2003)

A utilização do bambu em programas de habitação popular é um exemplo de aplicação das técnicas modernas para fins de diminuição do déficit habitacional,

em diversos países da América Latina, com diversas tecnologias construtivas e resultados satisfatórios relatados pelos usuários.

Pesquisas realizadas na Costa Rica indicam que 98% dos consumidores de habitação em bambu consideram que suas casas são de igual ou melhor qualidade em comparação com as construídas com outros materiais. Quando questionados sobre o preço e vida útil, 100% dos consumidores relataram que era de menor preço, com igual ou maior vida útil. E, ainda, 100% dos consumidores acreditam que a casa tem a mesma aparência ou ainda melhor que as casas convencionais (ADAMSON; LOPÉZ, 2001, citado por DANTAS et al., 2005).

Entre os exemplos de programas de habitação popular cita-se o Projeto Nacional de Bambu, na Costa Rica, ao qual se refere a pesquisa referida anteriormente. Patrocinado pelas Nações Unidas, iniciou-se em 1986, sob a direção da arquiteta Ana Cecília Chaves, com a construção de 400 unidades habitacionais com área de 45 m², construídas com painéis pré-fabricados de madeira, com estrutura interna de colmos de bambu inteiros e fechamento duplo de ripas de bambu, revestidas com argamassa de cimento e areia em ambos os lados da parede (Figura 61). Realizada a primeira etapa e comprovada a viabilidade deste material para as comunidades, a demanda foi aumentada para 1.500 casas por ano (CARDOSO JR., 2000).

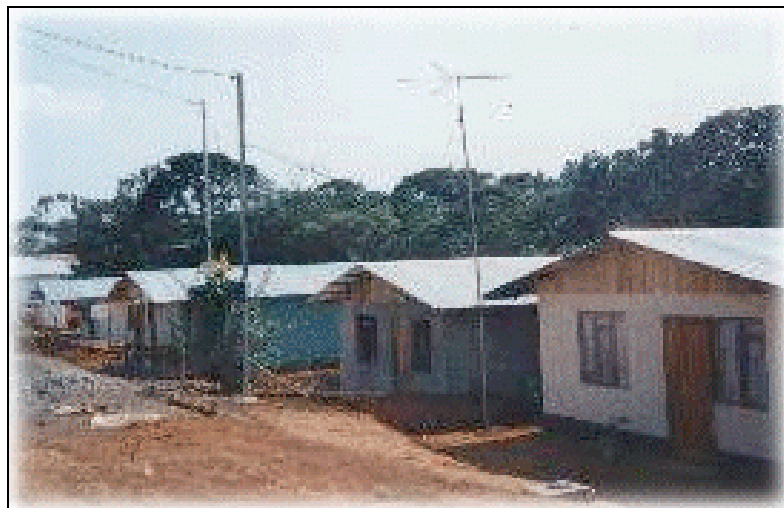


Figura 61 – Residências do Projeto Nacional de Bambu

Fonte: Funbambu (1992)

Outro exemplo de programa habitacional é o Projeto Malabar (Figura 62), na cidade de Manizales, Colômbia, de autoria dos arquitetos Jorge Humberto Arcila

e Gustavo Gusmán, com unidades de até 59 m², construídas também com sistema pré-fabricado de *Bahareque* moderno (CARDOSO JR, 2000). No Equador, na cidade de Guayaquil, visando diminuir o grande déficit habitacional no país, realizou-se a construção de residências de 36 m², também em construção pré-fabricada, o que ofereceu grande rapidez de execução, utilizando-se painéis de bambu montados pelos próprios moradores, após prévio treinamento.



Figura 62 – Corte esquemático do projeto e residências do Projeto Malabar
 Fonte: Hidalgo-López (2003)

Com sede na cidade de Guayaquil, Equador, o projeto *Viviendas del Hogar de Cristo* construiu, nos últimos 28 anos, casas para 270.000 famílias, com oferecimento de casas modulares, com estrutura de madeira e fechamento de bambu, normalmente de 4,8 m x 4,9 m (INBAR, 2001) (Figura 63).



Figura 63 – Casa de bambu do programa Viviendas Hogar de Cristo, Equador
 Fonte: INBAR (2001)

A partir dos anos 1980, a arquitetura com bambu teve grande desenvolvimento com as obras do arquiteto colombiano Simón Vélez, que utilizava o concreto armado e madeiras para suportar enormes estruturas de cobertura em bambu, com belos exemplos em diversas edificações espalhadas pelo mundo. Entre as mais significativas cita-se a igreja de Pereira, na Colômbia (Figura 64), uma obra provisória, que já foi desfeita; o complexo hoteleiro, em Guang-Zhou, na China; algumas pontes na China e Colômbia e diversas residências e hotéis nos Estados Unidos e no Brasil (Figuras 65 e 66).



Figura 64 – Igreja *Nuestra Señora de la Pobreza*, em Pereira, Colômbia
Fonte: Téchne (2006)



Figura 65 - Hotel do Frade & Golf Resort, Rio de Janeiro
Fonte: Marquez (2006)



Figura 66 – Residência, Rio de Janeiro
 Fonte: Marquez (2006)

O Pavilhão Zeri, uma das maiores e mais importantes obras de Simón Vélez, possui estrutura de cobertura de bambu em forma de polígono decágono, com 30,50 m de vão, montada inicialmente na Colômbia para testes estruturais realizados por técnicos da Universidade de Stuttgart, da Alemanha, que após sua aprovação foi finalmente construído para a Exposição de Hannover, em 2000 (Figura 67), posteriormente desmontado.



Figura 67 – Pavilhão Zeri, construído como modelo em escala real, para Expo-Hannover
 Fonte: Teixeira (2006)

Outro expoente colombiano na construção moderna com bambu é o professor de arquitetura da *Universidad del Valle*, em Cali, o arquiteto Carlos Vergara, projetista da grande sala de jantar do *Cañas Gordas Country Club* de Cali, em 1987, com dimensões de 25 m x 25 m em vão livre, a maior área construída de

cobertura com bambu da Colômbia até os dias atuais.

Shoei Yoh, professor da *Graduate School of Keio University*, na cidade de Keio, Japão, tem como especialidade os projetos de coberturas espaciais com bambu, com obras como a *Geodesic Cupola* e a *Grating Shell Construction* (Figura 68), inspiradas no artesanato local de cestarias de bambu, consistindo basicamente em trançados de tiras de bambu revestido com argamassa de cimento. Localizados na cidade de Chikuho Fukuota, no Japão, estes dois centros comunitários foram construídos pela população local, com bambu nativo da região.

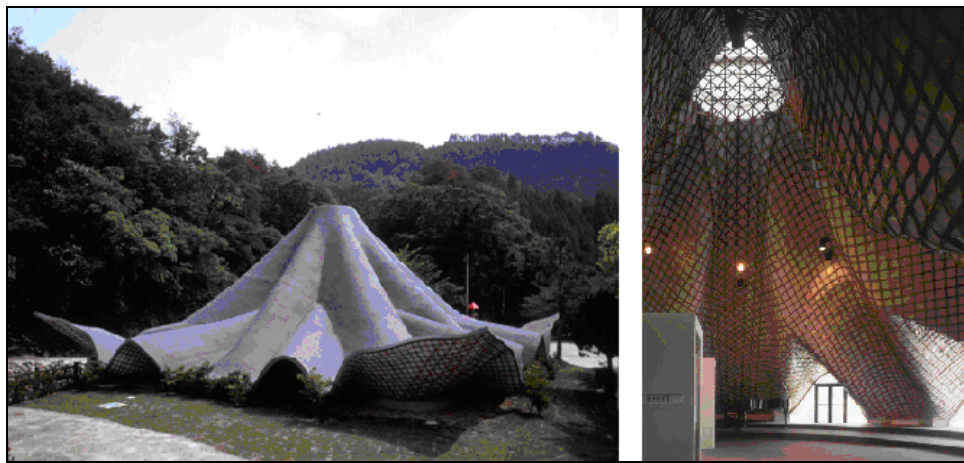


Figura 68 – Grating Shell

Fonte: Yoh (1994)

O arquiteto chinês Rocco Yim possui diversos trabalhos com estruturas de bambu e sua obra de maior expressão internacional é o pavilhão intitulado “A casa das culturas do mundo”, apresentada no *Festival of Vision*, no verão de 2000, em Berlim, Alemanha, que consiste em uma grande estrutura de bambus inteiros, sem revestimentos, ligados por encaixes, amarrações e pinos metálicos (Figura 69).

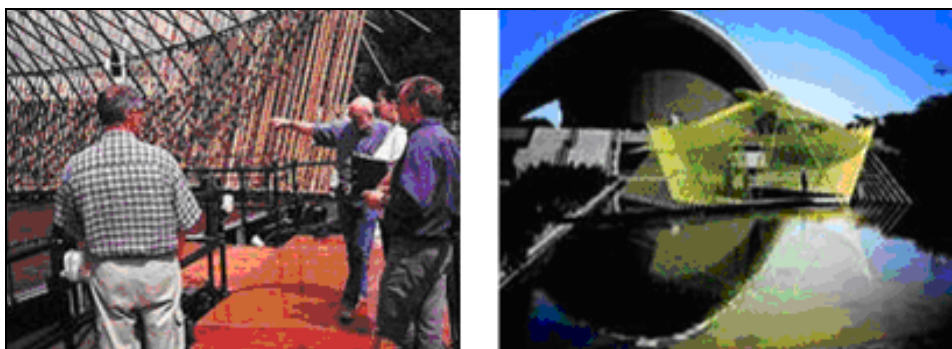


Figura 69 – A “Casa das Culturas” do Mundo

Fonte: Rocco Design Architects (2009)

Jules J. A. Janssen é engenheiro e perito conhecido por utilizar o bambu como um material de construção e engenharia. Também já atuou como membro das comissões de doutorado e de estudos em diversas universidades e foi o supervisor do Projeto Nacional de Bambu na Costa Rica, a partir de 1987 até 1995 (Figura 70).



Figura 70 – Model house, de Jules Janssen, Costa Rica
Fonte: RWTH Aachen (2009)

Jörg Stamm nasceu em Drohlshagen, na Alemanha, é um carpinteiro conhecido por suas impressionantes pontes de *Guadua*, com vãos de até 52 m. Em agosto de 2000, ele organizou um *workshop* de técnicas de construção de pontes para arquitetos, engenheiros e artesãos, em cooperação com o *Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit* (GTZ). Este seminário mostrou que também trabalhadores sem prática alguma em construções com bambu podem produzir uma ponte em apenas três dias (Figura 71). Stamm possui também belos exemplos de arquitetura com bambu, entre eles a Creche Pública e o Restaurante, ambos em Popayán, na Colômbia, com estrutura das paredes e cobertura totalmente em bambu (Figura 72).



Figura 71 – Ponte na Universidad Tecnológica de Pereira, Colômbia
Fonte: CONBAM (2009)



Figura 72 – Restaurante (esquerda) e Creche Pública em Popayán, Colômbia
 Fonte: CONBAM (2009)

Darrel DeBoer é um arquiteto do norte da Califórnia, nomeado como um dos 100 mais influentes *designers* e um dos 10 principais arquitetos verdes. Possui vários projetos de arquitetura com bambu nos Estados Unidos e escreveu seis livros sobre a arte da construção natural, com exemplos de diversas tecnologias de construção de residências sustentáveis, como a *Casa da Árvore*, um chalé suspenso construído em bambu para um *resort* no Haváí (Figura 73).



Figura 73 – Casa da Árvore
 Fonte: CONBAM (2009)

Arquiteto colombiano, Marcelo Villegas é autor de vários livros sobre arquitetura com bambu. Trabalhou juntamente com Simón Vélez no projeto do Pavilhão Zeri; atualmente possui escritório em Manizales na Colômbia, atuando com arquitetura sustentável (Figura 74, projetos de mobiliário e de objetos de madeira e bambu).



Figura 74 – Residência de bambu e madeira em Guadalupe, México
 Fonte: Villegas (2009)

O arquiteto e artista visual Antoon Versteegde frequentou escola de arte e arquitetura na cidade de Hertogenbosch na Alemanha, especializando-se na concepção monumental. Desde então, ele visa principalmente sua liberdade artística, fora das paredes dos espaços de exposição, em locais públicos com acesso livre para todos. Sua técnica de autoconstrução, conectando varas de bambu com faixas elásticas, é facilmente passada para pessoas que desejam colaborar espontaneamente (Figura 75). Seus projetos surgiram na França (1989), Suíça (1992), Bélgica (1996), Dinamarca (1997), Alemanha (1997) e um grande número de locais nos Países Baixos. A maioria das obras da Versteegde é temporária e, conseqüentemente, desapareceram.



Figura 75 – Bamboo Super Circle, Exposição de Hannover 2000
 Fonte: Expo (2000)

Arata Isozaki nasceu no Japão, em 1931, formou-se na Universidade de Tóquio, em 1954. Após a criação de edifícios para bancos e a biblioteca em sua cidade natal, Oita, foi selecionado para criar grandes estruturas civis pelo Japão, como museus e estádios esportivos. Hoje, sua obra pode ser encontrada em todo o mundo. Provavelmente, o melhor exemplo do bambu em seu design marcante é a entrada para o Museu Nacional de Arte em Osaka, Japão (Figura 76).



Figura 76 – Museu Nacional de Arte em Osaka, Japão
Fonte: Kurozumi (2004)

Nascido em uma família de construtores, em Gênova, Itália, em 1937, Renzo Piano estudou arquitetura e formou-se pela Faculdade de Arquitetura de Milão. Juntamente com o arquiteto inglês Richard Rogers, ganhou o concurso internacional para o Centro Georges Pompidou, em Paris. Desde então, seus projetos têm sido construídos em todo o mundo, como o inovador *Air Terminal*, de Kansai, em Osaka, Japão (construído em uma ilha artificial na baía). Piano continua a ser uma fonte de inspiração e inovação para arquitetos de todo o mundo; provavelmente, o melhor exemplo da influência do bambu em sua arquitetura é a Tjibaou Centro Cultural, na ilha de Nova Caledônia, no Pacífico Sul, Ilhas da Melanésia (Figura 77).

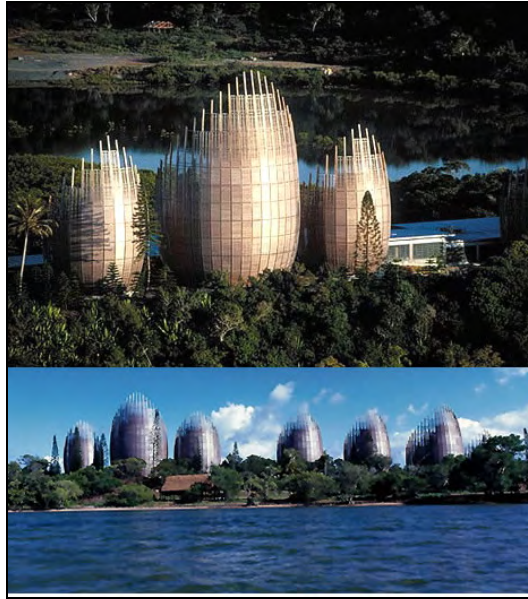


Figura 77 - Tjibaou Centro Cultural

Fonte: Oliveira (2005)

Frei Otto nasceu na Alemanha, em 1925; cursou arquitetura em Berlim, lecionou arquitetura nos Estados Unidos e fundou o Instituto de Estruturas Leves da Universidade de Stuttgart, quando escreveu seu primeiro livro sobre a utilização do bambu na construção, intitulado “IL 31 – *Building With Vegetal Rods – an overview*”. Ganhou a atenção internacional por projetar o Pavilhão da Alemanha Ocidental, na Expo'67, em Montreal, e o Parque Olímpico para os Jogos Olímpicos de Verão de 1972, em Munique (Figura 78). Otto foi impulsionado pelas possibilidades de utilização de materiais leves, como o bambu, em projetos de construção e foi pioneiro nos novos métodos de concepção estrutural para pavilhões e estruturas de todos os tipos.



Figura 78 – Cobertura para Parque Olímpico de Montreal

Fonte: <http://www.arch.mcgill.ca>

Residências e chalés com arquitetura e acabamentos requintados, de tecnologia pré-moldada, totalmente construídas em bambu, são comercializadas com êxito nos Estados Unidos, por empresas especializadas na área de construções com bambu. Entre essas empresas, a americana *Bamboo Technologies*, presidida pelo arquiteto Jeffree Trudeau, apresenta belos exemplos em suas edificações da funcionalidade construtiva, rapidez de execução, beleza e qualidade do produto final (Figura 79).



Figura 79 – Chalé em Mauí – EUA

Fonte: www.bambootechnologies.com (2010)

Poucos são os exemplos de edificações contemporâneas com bambu construídas por arquitetos brasileiros. Em sua maioria, são protótipos desenvolvidos em pesquisas, como a residência popular projetada e construída pelo engenheiro Valentin Mamani Cordeiro, da Universidade de São Paulo, campus de São Carlos, no *Laboratório de Madeiras e Estruturas de Madeira*, em 1989, com painéis de bambu estruturados em quadros de madeira com revestimento de argamassa de cimento e areia (Figura 80).

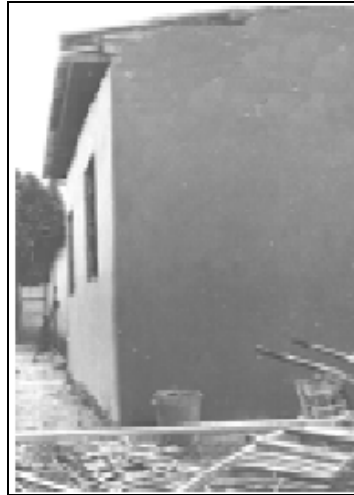


Figura 80 – Protótipo de residência em São Carlos

Fonte: Cortez (2003)

O atelier construído pelo artista plástico José Joaquim Sansano, em Pindorama, São Paulo, em 1994, é um belo exemplo de edificação particular: construído com 14 peças de bambu gigante (*Dendrocalamus giganteus*) de 8,50 m de comprimento, o sistema construtivo foi formado com peças de 15 a 20 cm de diâmetro, compondo dois triângulos invertidos de base de aproximadamente 5,00 m. Como sistema de fechamento utilizou-se argamassa armada e chapas de madeira. A edificação possui 42 m², distribuídos em dois pavimentos (Figura 81).



Figura 81 – Atelier do artista plástico José Joaquim Sansano

Fonte: Salgado et al. (1994)

O pioneiro em construção residencial no Brasil é o engenheiro e professor da UNESP, campus de Bauru, Marco Antonio dos Reis Pereira, que em 1995 iniciou

a construção de uma casa de campo pelo sistema *bahareque*, com revestimento de argamassa nas faces externas das paredes, visualizando-se internamente as tramas de bambu, o que confere um ambiente esteticamente muito agradável e termicamente confortável (Figura 82).

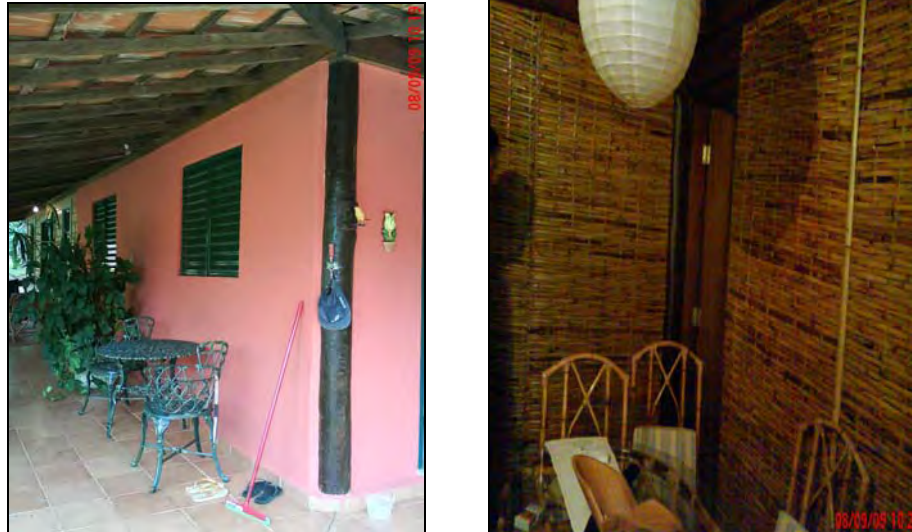


Figura 82 – Casa de Campo em Bauru-SP

O centro cultural Max Feffer, na cidade de Pardinho, interior do Estado de São Paulo, é a maior edificação do Brasil com estrutura em bambu. Projetado pela arquiteta Leiko Motomura, inaugurado em 2008, consiste basicamente em uma estrutura de concreto armado de dois pavimentos, com estrutura de cobertura de colmos inteiros de bambu, de aproximadamente 800 m², apoiados em pilares e vigas de eucalipto, que se desenvolvem independentes da estrutura de concreto do prédio (Figura 83).



Figura 83 – Centro Cultural Max Feffer

James Elkis é engenheiro civil e dedica atenção especial ao bambu, associando o design contemporâneo ao tradicional, com beleza, qualidade e racionalidade. Usa em seus projetos, além do bambu, também materiais como piaçava, grama e madeira. Entre seus trabalhos estão o *Bamboo Wach Tower*, um mirante em Taboão da Serra (Figura 83) e o *Gazebo de Dois Andares*, na Granja Viana, ambos construídos em 2005, no Estado de São Paulo (Figura 84).



Figura 84 – Bamboo Watch Tower

Fonte: <http://www.bamboocraft.net> (2009)



Figura 85 – Gazebo de Dois Andares

Fonte: <http://www.bamboocraft.net>, 2009

O Pavilhão Roberto Magalhães, construído em 2003 (Figura 86), na cidade do Rio de Janeiro, é uma das obras mais significativas da arquiteta Celina Llerena, sócio-fundadora da Escola de Bioarquitetura e Centro de Pesquisa Tecnológica Experimental em Bambu (EBIOBAMBU), fundada em 2002, no Rio de Janeiro.



Figura 86 – Pavilhão Roberto Guimarães no Rio de Janeiro

Fonte: Ebiobambu (2007)

2.10.3 Método de substituição de materiais

De acordo com Widyowijatnoko e Trautz (2008), a sustentabilidade e a flexibilidade do bambu são as principais razões de sua utilização como material de substituição. Nesta categoria, o bambu é transformado, combinado ou conectado com outros materiais, para se ajustar com o tipo de material convencional existente de construção. Apresenta-se, a seguir, as formas de materiais de construção substitutivas baseada em bambu.

2.10.3.1 Painéis de bambu

A utilização do bambu em forma de painéis teve início na China, durante a Primeira Guerra Mundial, porém, na Ásia, só recentemente recebeu desenvolvimento tecnológico, com fabricação de 28 tipos diferentes. Pode ser utilizado como elemento estrutural ou simplesmente como fechamento não estrutural, em edificações pequenas ou grandes, em diversas áreas como portas, paredes, pisos, coberturas, forros, entre outras, de forma durável e com a significativa vantagem de utilizar uma fibra natural sustentável (JAYANETTI; FOLLET, 1998).

Moizés (2007) e Barelli (2009) desenvolveram pesquisas utilizando o método de substituição de materiais, especificamente em painéis de bambu, elaborando diversos projetos e confeccionando seus respectivos protótipos. O estudo de Moizés (2007) promoveu uma interação entre os alunos dos cursos de

Desenho Industrial, da Universidade Estadual Paulista (UNESP) e de Design de Interiores, do Instituto Ensino Superior de Bauru (IESB), na cidade de Bauru (São Paulo), que pesquisaram e projetaram, em sala de aula e nos laboratórios apropriados, protótipos de vários objetos, utilizando painéis de bambu. O estudo de Barelli (2009) estruturou um modelo para a cadeia produtiva do bambu laminado colado (BLC). Por meio de estudo de casos, o autor identificou os aspectos positivos e negativos da cadeia produtiva do BLC, observando a sua utilização pelos agricultores do assentamento “Terra Nossa” e pelos estudantes de Design da UNESP-Bauru, que desenvolveram cinco projetos e um protótipo de móveis com o produto.



Figura 87 – Protótipos desenvolvidos no Laboratório de Experimentação com Bambu da Unesp-Bauru
Fonte: Barelli (2008)

Os painéis de bambu podem se dividir, conforme o material, da seguinte forma:

- ripas de bambu;
- tiras finas de bambu;
- partículas.

Através dessa divisão, os autores classificam as chapas de bambu processado em:

- **Painéis de ripas de bambu**

- ✓ Compensado de bambu (*Plyboo*): a concepção das chapas compensadas de bambu é baseada nas tecnologias de laminação das madeiras convencionais. As ripas de bambu, após serem aparelhadas, são coladas lateralmente, formando painéis que posteriormente serão colados e sobrepostos. A colagem das camadas de painéis de bambu se realiza transversalmente à direção das fibras, geralmente em camadas ímpares. A sua utilização se dá nos mesmos moldes das chapas de compensado de madeira convencionais, substituindo-as de maneira integral nas construções, como formas para concreto armado, vigas, montagem de estruturas, paredes, pisos entre outras (Figura 88). Os custos de produção das chapas de compensados de bambu, em relação às madeiras convencionais brutas ou aparelhadas, são ainda muito elevados para sua utilização plena na construção civil, porém, se comparados às chapas compensadas convencionais, oferecem vantagens econômicas pelo custo de produção do bambu e sua rápida utilização após o plantio.



Figura 88 – Ripas de bambu coladas, utilizadas em estrutura de madeira para cobertura

Fonte: Widyowijatnoko e Trautz (2009)

- ✓ Bambu Laminado Colado (BLC): é produzido por meio de colagem de ripas de bambu a 90°, lateralmente, na direção longitudinal, utilizando adesivos à base de água (Figura 89) (MOIZÉS, 2007).



Figura 89 – Bambu laminado colado
 Fonte: Moizés (2007, p. 51).

- **Painéis de tiras de bambu trançado colado (*bamboo strip board*)**

Na produção das chapas de esteira de bambu entrelaçado (Figura 90), as tiras finas são classificadas quanto à qualidade, depois organizadas e trançadas, posteriormente mergulhadas em adesivo e prensadas a quente, podendo ser utilizadas diferentes fôrmas para moldar.

Esses produtos possibilitam diversas aplicações em interiores, como revestimentos, mobiliário, tetos (forros), divisórias, entre outras aplicações. São desenvolvidos na Índia desde 1956 e possuem características como rigidez e flexibilidade, podendo ser prensado em temperaturas de 130 °C.

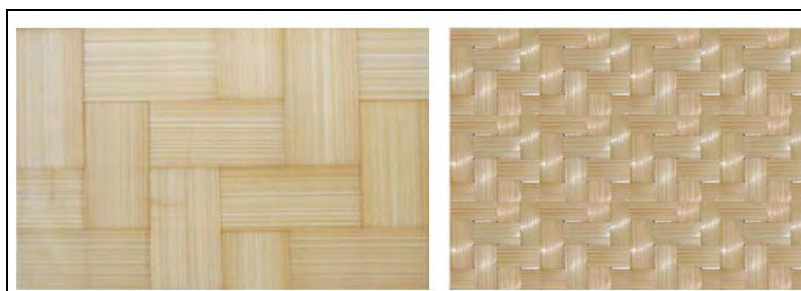


Figura 90 – Amostras de esteiras de bambu moldado sob pressão
 Fonte: Moizés (2007)

- **Painéis de bambu particulado**

São produzidos com o mesmo processo utilizado para a madeira. O colmo do bambu é moído ou triturado em partículas e seco em estufas; em seguida, é misturado com um adesivo à base de resinas orgânicas ou de origem vegetal (óleo

de mamona), na proporção média de 10% da massa de partículas e, então, disposto em formas (Figura 91) e prensado a quente. Esses materiais, mostrados na Figura 92, podem receber revestimento de lâminas de bambu ou mesmo de madeira, nos dois lados da chapa.

Sua aplicação é destinada principalmente para divisória, portas ocas, preenchimento de paredes, forros rebaixados e na fabricação de tampos para mobiliário (MOIZÉS, 2007).



Figura 91 – Inserção do bambu particulado na forma



Figura 92 – Painéis de partículas de bambu sem revestimento

Fonte: Moizés (2007, p.57).

A variação deste painel é o composto de partículas ou flocos de bambu, OSB (*Oriented Strand Board of Bamboo*), no qual as fibras de maior dimensão são orientadas alternadamente e prensadas em colchão específico para essa finalidade. São fabricados com a mesma tecnologia dos painéis de madeira. A sua aplicação é destinada à estruturação de paredes, pilares e vigas de casas, divisórias para interiores e edificações em geral.

Em investigações das propriedades físicas e mecânicas das chapas prensadas de partículas de bambu, Pereira e José (2006 citados por PEREIRA; BERALDO, 2007) concluíram que as chapas apresentam bom comportamento no

tocante ao inchamento. No entanto, o comportamento mecânico mostrou-se insatisfatório, sobretudo em comparação com as chapas de aglomerados convencionais.

- **Painéis ou Chapas compostas de bambu**

Os painéis são fabricados utilizando-se o bambu como matéria-prima básica e, dependendo da aplicação, são determinados os acabamentos superficiais. Geralmente são fabricados de acordo com recursos de cada região e, na maioria das vezes, são utilizados adesivos pouco agressivos ao meio ambiente e agregados com outros materiais como resinas, madeiras, fibras. Como exemplos, pode-se citar: painel de MDF revestido com ripas de bambu e pó de coco colado (Figura 93) e painel com aplicação de tiras de bambu sobre papel de parede, muito utilizado internamente como forro.



Figura 93 – Painel de MDF revestido com ripas de bambu e pó de coco colado
 Fonte: Moizés (2007)

2.10.3.2 Compósitos de bambu

Outra forma de substituição dos materiais convencionais de construção é a combinação do bambu, em suas diversas formas, com outros materiais, para se tornar um compósito de bambu. Como exemplos, entre as diversas pesquisas com materiais compostos cita-se:

- **Reforço do concreto com bambu – Bambucreto** (Figura 94)

Até o momento, bambu tem sido a fibra natural mais utilizada experimentalmente como reforço para concreto, devido a sua alta resistência à tração (HIDALGO-LÓPEZ, 2003). A vantagem do uso de bambu como material de reforço no concreto é a sua alta resistência à tração e o baixo preço. A resistência à

tração comum no reforço com aço é de 160 MPa e, em bambu, 20 MPa, uma proporção de 1:8. A massa por volume do aço é 7850 kg/m^3 e a do bambu é de cerca de $500\text{-}600 \text{ kg/m}^3$, uma proporção de 1:16. Evidentemente, bambu será mais barato porque o seu preço em relação ao peso próprio será menos da metade do aço (JANSSEN, 2000).

De acordo com Pereira e Beraldo (2007), o uso do bambu em composição com concreto é conhecido há muito tempo; segundo alguns relatos, anteriormente à Segunda Guerra Mundial. Os autores ressaltam ainda, que se trata de um material higroscópico, desse modo o envolvimento do colmo ou taliscas por soluções impermeabilizantes e aspergidos de areia grossa, para melhor aderência, é recomendável.

Beraldo (1990 citado por PEREIRA; BERALDO, 2007), construiu um galpão agrícola em um terreiro para secagem, com placas de concreto armado com varas de bambu da espécie *Phyllostachys purpuratta*. Desde 1990, efetua-se o acompanhamento dessa construção, não tendo sido observadas a presença de patologias ou defeitos importantes nas peças (PEREIRA; BERALDO, 2007).

Ferreira (2002), em estudos de vigas de concreto armado com ripas de bambu, realizados na Universidade Estadual de Campinas, verificou que a utilização de bambu como armadura longitudinal nas vigas de concreto é viável do ponto de vista estrutural, pois é possível aplicar a mesma hipótese de cálculo utilizada no concreto armado com aço, desde que se adotem coeficientes de segurança maiores. Segundo a autora, o bambu terá um bom desempenho apenas se forem garantidas a aderência entre o bambu e o concreto, utilizando-se algum tipo de tratamento, como verniz com anéis de arame farpado.



Figura 94 - Ripas de bambu para reforço de concreto em Bali, Indonésia
Fonte: Widyowijatnoko e Trautz (2009)

- **Cimento e bambu particulado – Biokreto**

Batizado no Brasil como Biokreto, trata-se de um concreto leve, constituído pela mistura de pasta de cimento e pela substituição do agregado graúdo (pedras ou pedregulhos), por partículas vegetais. Em certos casos, pode-se eliminar o agregado miúdo (areia), diminuindo sua resistência mecânica.

A aplicação das partículas de bambu dá-se após a trituração e peneiramento, com posterior lavagem em água quente ou imersão em solução diluída de substâncias alcalinas, como soda ou cal, para obter-se a eliminação parcial do amido, que inibe a pega com o cimento. Em seguida, essas partículas são secas e tratadas para serem adicionadas de cimento e água, dispostas em formas que darão o formato final das peças.

Segundo Pereira e Beraldo (2007), este material compósito pode ser utilizado sem reforço mineral na confecção de peças decorativas, em substituição de argila expandida ou placas prensadas. No caso da matriz com reforço mineral (areia), pode-se obter pisos sextavados, telhas de ótima resistência, com carga máxima superior à exigida pelas normas suíças (450 N), assim como blocos vazados, com resistência de tensão mínima dentro das normas vigentes obtidas pela Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade de Campinas, FEAGRI, utilizando-se máquinas vibro-compressoras no processo.

Segundo o professor Antonio Ludovico Beraldo, que atua no Laboratório de Materiais e Estruturas da FEAGRI, desde 1994, o Biokreto apresenta algumas vantagens em comparação com o concreto comum. A primeira delas é a questão econômica, pois a matéria-prima é natural, portanto, disponível. Segundo, por apresentar de 25% a 50% do peso do concreto comum, garante leveza aos elementos, possui boa resistência ao fogo e é um excelente isolante térmico e acústico.

A alcalinidade do cimento, segundo Beraldo, protege as partículas vegetais contra o ataque de fungos e insetos, além disso, o material é fácil de ser moldado, cortado, parafusado e pregado (Figura 95).



Figura 95 – Blocos de Biokreto

Fonte: <http://www.redetec.org.br/inventabrasil/biokreto.htm>

2.11 Conexões estruturais com bambu

As tecnologias das construções convencionais tiveram grande avanço após a Revolução Industrial, a partir do século XVIII, criando e aperfeiçoando materiais, máquinas, equipamentos e mão-de-obra própria para cada metodologia de construção desenvolvida.

Apesar da antiguidade das construções com bambu, o desenvolvimento de tecnologia própria para o material vem acontecendo apenas nos últimos trinta anos, carecendo de pesquisas para seu pleno emprego como material de construção de qualidade.

Atualmente, em razão da escassez de recursos naturais e as questões de sustentabilidade que envolvem materiais de construção e os altos custos em decorrência destes aspectos, abriram caminho para novas tecnologias sustentáveis, com uso de materiais renováveis de rápido crescimento, como o bambu.

De acordo com diversos autores, uma das maiores dificuldades do emprego do bambu como material de construção são suas conexões. Por causa da sua forma não perfeitamente circular, cônica, oca, com diversas dimensões em seu comprimento, diâmetro e espessura de paredes, as conexões entre duas ou mais peças de bambu requerem um tratamento diferente dos materiais sólidos ou ocos com paredes resistentes, como as madeiras ou os tubos de aço, respectivamente, que possuem tecnologia avançada para sua utilização.

Segundo Jayanetti e Follett (1998), as conexões entre as peças que formam uma estrutura são fundamentais para a sua integridade, necessitando de uma perfeita adequação dos materiais que nela serão utilizados.

Apesar da alta resistência à tração, o bambu é altamente suscetível ao cisalhamento, principalmente em suas extremidades sem os nós, quando submetido à compressão paralela ou perpendicular às fibras.

As limitações de utilização das conexões com bambu em suas estruturas não encontram grandes obstáculos nas construções vernaculares e tradicionais, visto que estas utilizam materiais muito leves em suas coberturas, pisos e painéis de fechamento, resultando em um sistema no qual as solicitações, em diversos pontos de sua estrutura, são relativamente baixas.

Porém, em edificações modernas, são necessárias maiores resistências estruturais visto que os projetos possuem maiores dimensões, cargas e vãos, atuando muitas vezes em conjunto com materiais usuais. Além das exigências dos usuários por melhor qualidade de acabamento e durabilidade, aspectos que direcionam para o desenvolvimento tecnológico nas construções com bambu e suas conexões, são elementos primordiais para a estabilidade estrutural.

2.11.1 Conexões tradicionais

Denominam-se conexões tradicionais os diversos tipos de conexões empregadas nas construções vernaculares e tradicionais (relatadas nesta dissertação, no item *Construções com bambu*).

As diversas experimentações práticas das conexões determinaram suas diferentes características, aperfeiçoadas com o decorrer dos anos, de maneiras próprias nas diversas culturas. Segundo Janssen (2000), os critérios de confiabilidade para usos das conexões tradicionais são de que seu conteúdo deve conhecido e aceito; este conhecimento deve ser considerado tradicional, antigo e puro; deve ser de conhecimento geral dos construtores daquela cultura; e, possuir uma estrutura social sem perturbação com um padrão social bem reconhecido.

Os relatórios técnicos são fonte de informações sobre a eficiência das estruturas de bambu tradicionais, com avaliações do desempenho de algum tipo particular de edificação. Esses relatórios, quando efetuados após algum tipo de

desastre, como tempestades de vento, fortes chuvas, terremotos, entre outras, podem descrever a reação destas estruturas, escolhendo as que melhor se comportam em diferentes situações, aplicando-se esse conhecimento no futuro.

Os critérios de confiabilidade desses relatórios estabelecem que eles sejam efetuados por engenheiros reconhecidos, com experiência adequada no campo das estruturas e que devem conter informações detalhadas dos métodos envolvidos no processo construtivo das estruturas tradicionais.

As conexões tradicionais são baseadas principalmente em encaixes adicionados ou não de amarrações com cordas, perfurações para passagem de amarrações, pinos de bambu ou madeira para apoio de amarrações e cavilhas para travamentos.

Os principais entalhes para encaixe das conexões são os seguintes:

a) Corte boca-de-peixe

Característico das construções com bambu, esse tipo de corte é o precursor dos entalhes em estruturas tubulares de outros materiais, como o aço. Sua execução é simples, podendo ser realizada com ferramentas manuais, como serrote ou facão, com o entalhe sempre próximo ao nó, em média de cinco a sete centímetros distantes deste, independentemente do diâmetro do colmo, com posterior retirada da camada mole do interior do corte e acerto de arestas com lima, para um perfeito encaixe (Figura 96).



Figura 96 – Corte tipo boca-de-peixe, realizado com ferramental moderno

As variações do entalhe boca-de-peixe são a boca-de-cayman e boca-de-tubarão, diferenciadas pelo ângulo de corte aprofundado em uma das laterais do entalhe, para o perfeito encaixe das peças, de acordo com seu posicionamento na estrutura (Figura 97).

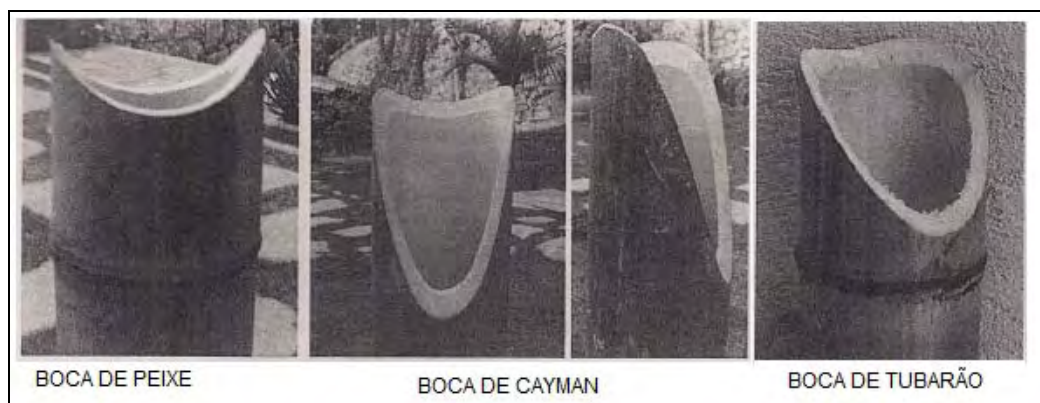


Figura 97 - Derivações do corte boca-de-peixe

Fonte: Ebiobambu (2007)

b) Corte tipo flange

As confecções de entalhes com flanges criam abas laterais retas, utilizadas como anteparos para os elementos sobrepostos, evitando o deslocamento por rolamento quando submetidos a esforços laterais (Figura 98). Estas abas podem também ser encaixadas em furações no elemento ao qual irá se conectar, podendo receber, posteriormente, amarrações, pinos e cavilhas, para melhor estabilidade (Figura 99).

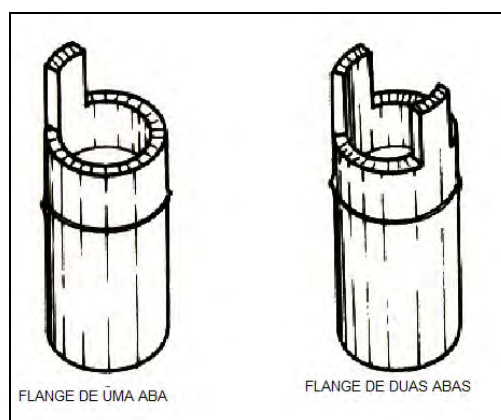


Figura 98 – Corte tipo flange

Fonte: Hidalgo-Lopéz (2003)

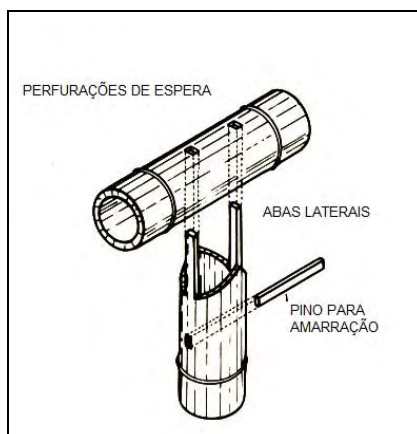


Figura 99 – Corte tipo flange para encaixe em perfurações
 Fonte: Hidalgo-Lopéz (2003)

c) Corte diagonal e diagonal parcial

São muito utilizados em estruturas de cobertura, nas quais a presença de conexões diagonais é muito comum. O ângulo de corte dos entalhes diagonais deve ser previamente simulado, utilizando-se as peças que comporão a conexão, em virtude da grande variação de diâmetros dos colmos de bambu (Figura 100).

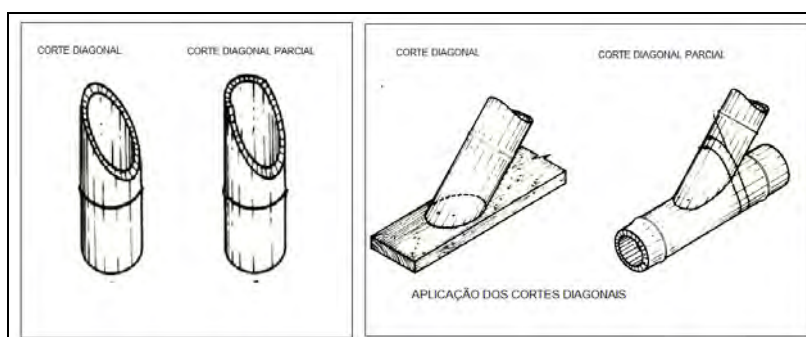


Figura 100 – Corte diagonal e diagonal parcial
 Fonte: Hidalgo-Lopéz (2003)

As amarrações utilizam fibras vegetais – como tiras de bambu, sisal e cipós ou até mesmo tiras da casca de cana de açúcar, muito utilizada na Indonésia. Uma forte conexão é obtida quando as amarras são passadas em torno de cada membro, pelo menos duas vezes, em forma de atadura e, posteriormente, faz-se a ligação dos membros em pelo menos três vezes. As voltas em torno de cada colmo, em forma de atadura, resistem às forças de divisão e as amarrações seguram a montagem firmemente na posição (CUSAK, 1999).

As perfurações para apoio das amarrações podem ser efetuadas com a

utilização de ferramentas manuais – como peça metálica pontiaguda ou perfuratriz manual tipo arco de pua. Tradicionalmente, os asiáticos utilizam o método de perfuração por queima da parede do colmo com uso de ponta metálica aquecida em brasas.

Os pinos têm a função de fazer a ancoragem das amarrações que efetuam as ligações, transferindo os esforços para as paredes do colmo (Figura 101). Possuem dimensão de 8 a 12 mm de diâmetro, para colmos de aproximadamente 70 mm de diâmetro, inseridos em perfurações realizadas manualmente. Os pinos, quando forem de bambu, devem ser secos, pois a retração do material verde ocasiona o afrouxamento e a separação da peça (CUSACK, 1999).

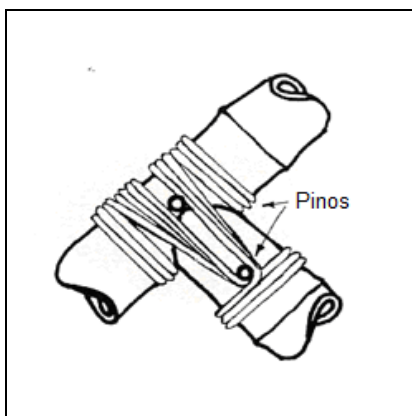


Figura 101 – Conexão com pino e amarração para travamento de conexão
Fonte: Cusack (1999)

A utilização de cavilhas para ligação de elementos é também muito utilizada nas construções tradicionais, podendo ser de madeira dura ou de taliscas de bambu seco. Suas dimensões variam de acordo com o tipo de ligação efetuada, não devendo possuir grandes dimensões para evitar rachaduras nos colmos, quando submetidas a solicitações de esforços.

Segundo Jayanetti e Follett (1998), as conexões tradicionais podem ser classificadas de acordo com a disposição dos elementos que realizam as ligações:

- Grupo 1: conexões de elementos na mesma direção
- Grupo 2: conexões de elementos ortogonais
- Grupo 3: conexões de elementos diagonais
- Grupo 4: conexões de elementos passantes

Grupo 1 – conexões de elementos na mesma direção

Em alguns projetos estruturais, existem peças que possuem grandes dimensões e, apesar de algumas varas de bambu chegarem a ter mais de 30 m de altura, encontram-se algumas características que dificultam o uso de uma única vara, como o transporte de peças muito longas, a perda das características mecânicas entre o topo e a base, a diferença do diâmetro entre o topo e a base e o aparecimento de ramos na ponta da vara. A solução mais adequada é juntar os colmos de diferentes varas com as características necessárias e uni-las formando um único elemento.

As conexões de mesma direção realizam-se quando dois ou mais colmos de bambu se ligam em linha para formar uma única peça estrutural, podendo ser realizadas de quatro maneiras diferentes:

a) Conexões de mesma direção, sobrepostas de colmos inteiros

A sobreposição deve possuir transpasse de, pelo menos, um internó; posteriormente, são amarrados com cordas de tiras de bambu e travados com utilização de cavilhas, que neste tipo de ligação melhora sua resistência, já que a amarração não impede o escorregamento dos elementos quando submetidos a esforços de tração (Figura 102).

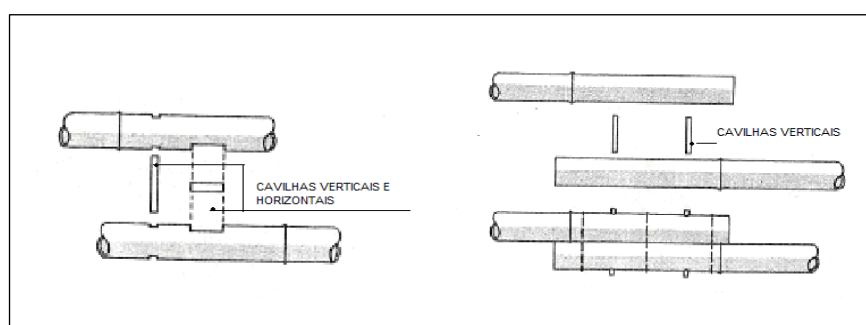


Figura 102 – Conexão por sobreposição dos colmos

Fonte: Jayanetti e Follett (1998, p. 64)

b) Conexões de mesma direção sobrepostas de colmos cortados ao meio

A sobreposição deve se realizar com o transpasse de, no mínimo, um internó, com encaixe de colmos cortados ao meio, de diâmetros aproximados,

amarrados com cordas de tiras de bambu, para a estabilidade do sistema, e utilizando cavilhas de transpasse das peças, para proporcionar resistência aos esforços de tração (Figura 103).

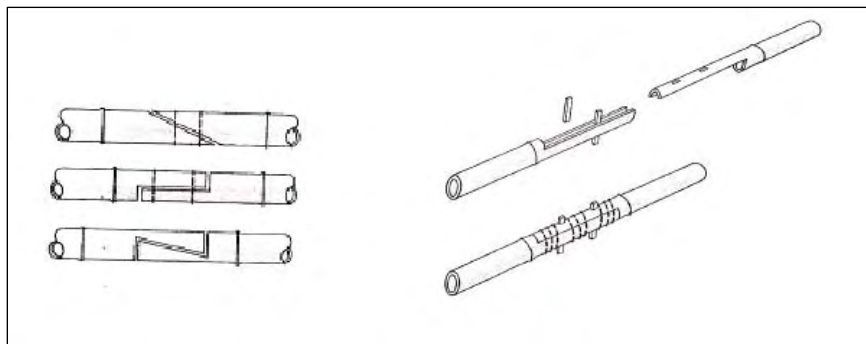


Figura 103 – Conexão de sobreposição de meio colmo

Fonte: Jayanetti e Follett (1998)

c) Conexões de mesma direção a topo com talas de bambu

Colmos cortados em forma de talas com diâmetros similares; as peças que serão unidas a topo são sobrepostas aos colmos em uma extensão de pelo menos dois internós, posteriormente amarradas e adicionadas de cavilhas (Figura 104).

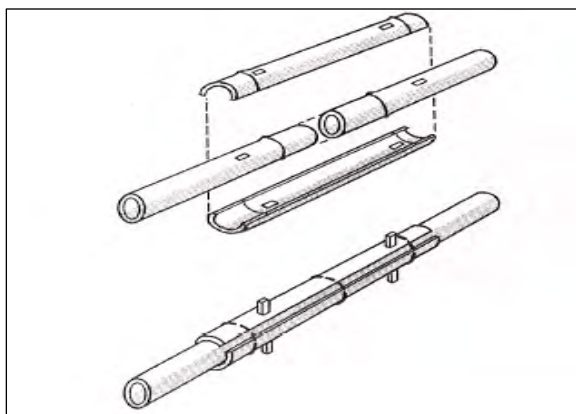


Figura 104 - Conexões a topo com talas de bambu

Fonte: Jayanetti e Follett (1998)

d) Conexão de mesma direção a topo com luvas ou tarugos de bambu

Colmos de bambu de diâmetro aproximado às peças que serão ligadas; são cortados em forma de luva, posteriormente conectados externamente a dois

colmos unidos a topo ou em forma de enchimento (tarugamento), unindo-os internamente (Figura 105).

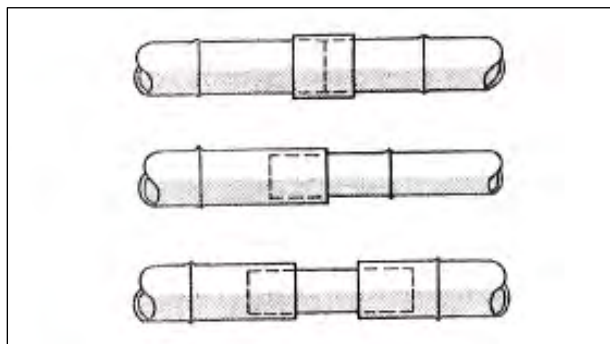


Figura 105 – Conexão a topo com luvas ou tarugos de bambu

Fonte: Jayanetti e Follett (1998)

Deve-se cortar o enchimento de união com o mesmo tamanho do espaçamento entre os nós das duas varas que receberam o corte, fazendo com que o nó central do tarugo se situe o mais centralizado possível na junção das duas peças (Figura 106).



Figura 106 – Conexão a topo com tarugo de bambu

Fonte: Marçal (2008)

Grupo 2 - Conexões de elementos ortogonais

É o tipo de conexão que liga elementos horizontais aos verticais em ângulo reto. Os tipos de conexões mais comuns utilizados nas ligações de elementos ortogonais, em construções tradicionais são:

a) Conexões ortogonais a topo

É a ligação de um elemento horizontal diretamente sobre um elemento vertical. O típico exemplo desta conexão são as cumeeiras de coberturas, nas quais um entalhe tipo boca-de-peixe no colmo vertical garante um bom apoio ao colmo horizontal. Este entalhe deve ser realizado sempre próximo ao nó, para diminuir o risco de cisalhamento.

As conexões simplesmente apoiadas não garantem, porém, resistência à sucção ocasionada por ventos e o efeito de rolamento, por causa das cargas laterais (Figura 107).

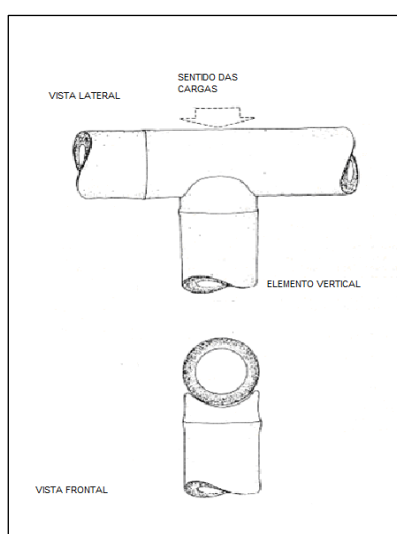


Figura 107 – Conexão a topo
Fonte: Dunkelberg (1996)

A execução de amarrações que unem os elementos com passagem por perfurações no colmo vertical garante a estabilidade do sistema contra os efeitos de sucção e rolamento lateral (Figura 108).

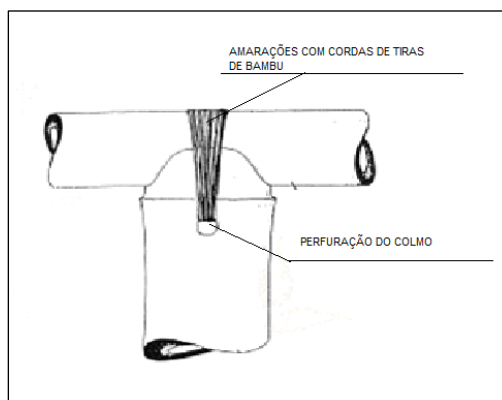


Figura 108 – Conexão a topo com adição de amarração
Fonte: Dunkelberg (1996)

Quando o diâmetro dos elementos deste tipo de conexão é parecido, a possibilidade de rolamento lateral é maior, necessitando – além das amarrações de união dos elementos – uma atadura ou bandagem no colmo vertical, para reforço de suas abas laterais, suscetíveis a rachaduras (Figura 109 e 110).

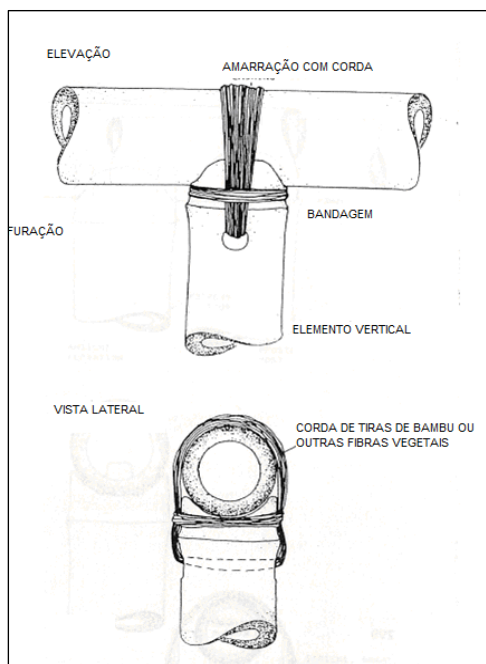


Figura 109 – Conexão a topo com amarração e bandagem
Fonte: Dunkelberg, 1996).

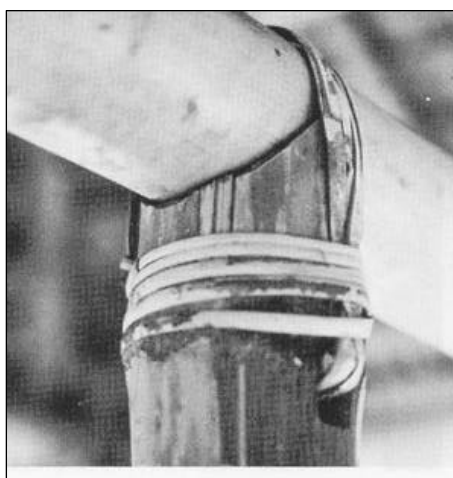


Figura 110 – Foto de uma conexão com bandagem
Fonte: RWTH Aachen (2009)

As colocações de pinos passantes no elemento vertical evitam o corte por atrito das amarrações nas paredes dos furos e proporcionam uma boa ancoragem para as cordas, melhorando o sistema de fixação. Estes pinos podem ser de madeira dura ou de taliscas de bambu (Figura 111).

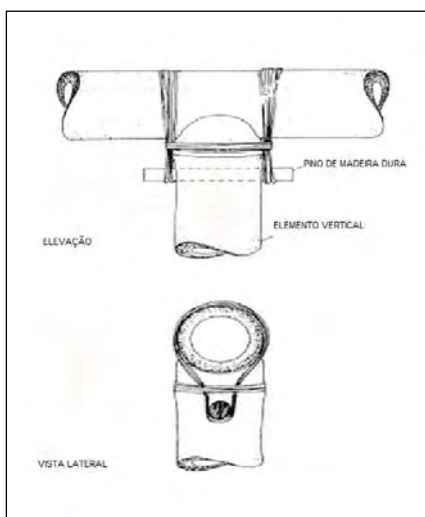


Figura 111 - Conexão a topo com amarração e bandagem e pino de madeira
Fonte: Dunkelberg (1996)

O corte boca-de-peixe pode ser substituído por outros modelos – como o entalhe reto, realizado no topo do elemento vertical, preservando duas abas laterais que servirão de anteparo para o elemento horizontal ou, em outro exemplo, estas abas podem transpassar perfurações realizadas no elemento horizontal (Figuras 112 e 113).

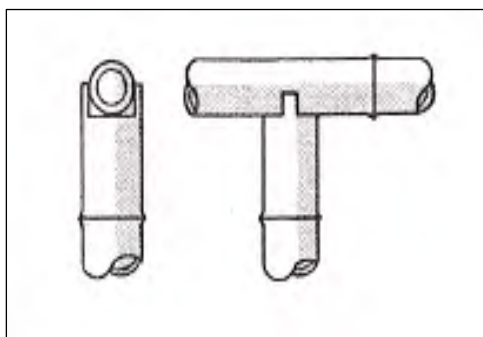


Figura 112 – Conexão a topo com entalhe reto
Fonte: Jayanetti e Follett (1998)

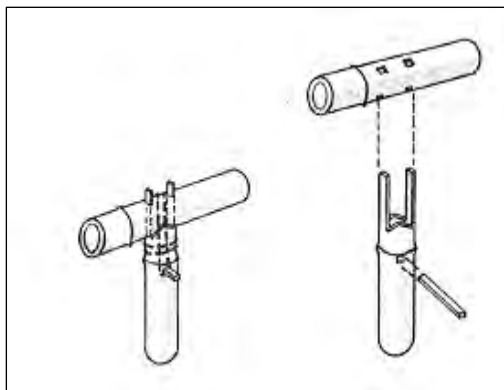


Figura 113 - Conexão a topo com entalhe reto e perfuração para cavilhas

Fonte: Jayanetti e Follett (1998)

Outra maneira de criar abas para melhor estabilidade do sistema é a utilização de duas ripas de bambu ou de madeira dura, amarradas lateralmente ao colmo vertical. A utilização de pinos para fixação das amarrações é recomendada nas conexões a topo (Figura 114).

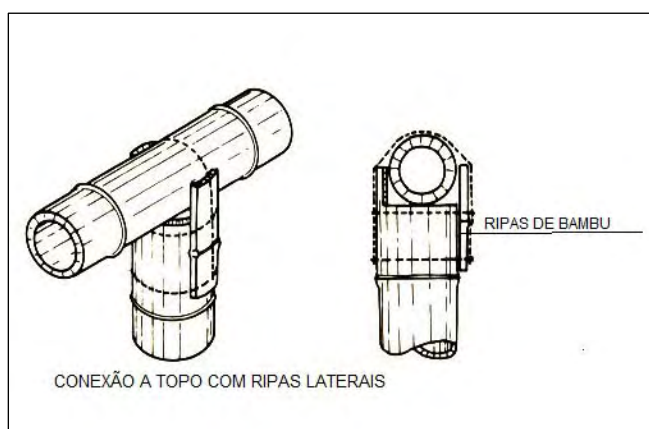


Figura 114 – Conexão a topo com ripas laterais

Fonte: Hidalgo-López (2003)

A variação deste método, muito utilizado na Ásia por sua leveza e facilidade de construção, é efetuada com a extensão em uma das paredes do entalhe boca-de-peixe, formando uma tira que durante a montagem da ligação envolve o elemento vertical, posteriormente amarrada com cordas de fibras naturais (Figura 115).

A melhor execução dessa ligação é em colmos de paredes finas, com a retirada superficial do parênquima, preservando uma fina tira da casca do bambu. O entalhe deve ser executado próximo ao nó, evitando a quebra durante a dobra e amarração (DUNKELBERG, 1996).

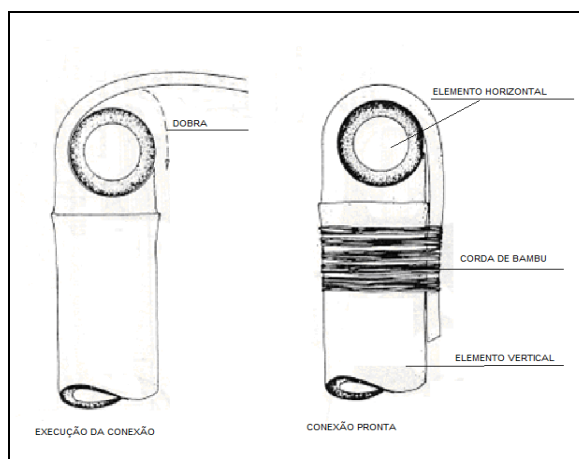


Figura 115 -Conexão a topo com extensão em forma de tira

Fonte: Dunkelberg (1996, p. 146)

b) Conexões ortogonais laterais simples em ângulo reto

São as ligações em que apenas um colmo horizontal é apoiado lateralmente a um colmo vertical em ângulo reto. Neste tipo de ligação, as forças do elemento horizontal, por atrito entre as partes, são transferidas ao elemento vertical, auxiliados por amarrações e cavilhas, com a finalidade de evitar o escorregamento do colmo horizontal (JAYANETTI; FOLLET, 1998).

Esta ligação pode utilizar o entalhe boca-de-peixe e perfuração no elemento vertical, seguido de amarração com cordas de tiras de bambu entre os elementos para estabilização do sistema.

Dunkelberg (1996) citou que o acréscimo de uma amarração em forma de atadura, no elemento vertical, evita que o colmo rache e sua localização, próxima ao nó do colmo, impede seu escorregamento. Observou também que a corda de ligação pode sofrer danos na furação, por atrito com a parede do colmo (Figura 116).

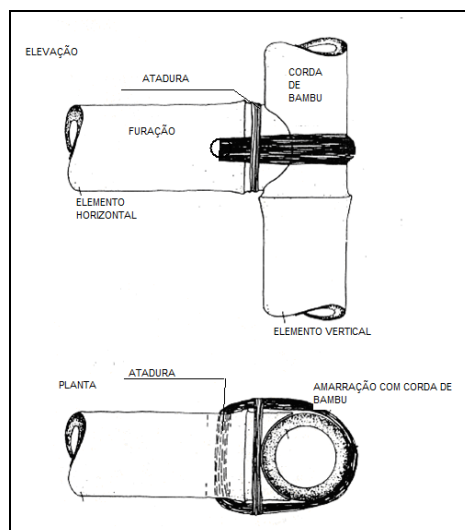


Figura 116 – Conexão lateral simples com acréscimo de atadura no elemento vertical
 Fonte: Dunkelberg (1996)

Para maior rigidez do encaixe simples, pode-se utilizar o sistema de travamento com uma peça de madeira dura e perfuração em uma de suas extremidades, a qual, após atravessar o colmo vertical, é travada com uma cunha, também de madeira, inserida no elemento horizontal. Este sistema é usualmente conhecido como conexão de chave ou cupilha (Figura 117).

Esta conexão oferece travamento em todas as direções dos esforços solicitantes, porém, necessita de grande quantidade de furos, o que favorece as rachaduras nos colmos. Perfurações cilíndricas na chave, assim como na cupilha, melhoram o rendimento esta deficiência, entretanto, este sistema é mais recomendado para colmos de grande diâmetro (DUNKELBERG, 1996).

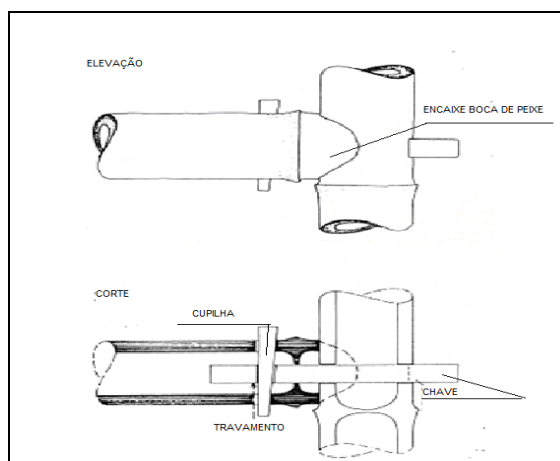


Figura 117 - Conexão lateral simples com sistema de chave
 Fonte: Dunkelberg (1996)

A utilização de tarugamento com peças de bambu ou madeira nas ligações laterais também pode ser usada. Este sistema de encaixe não permite que o elemento horizontal deslize quando submetido aos esforços (Figura 118).

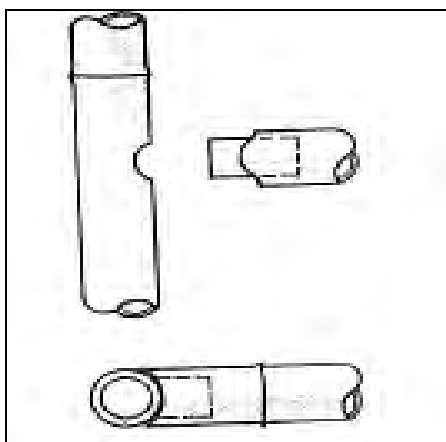


Figura 118 – Tarugamento para ligações laterais

Fonte: Jayanetti e Follett (1998, p. 56).

Esta ligação, porém, diminui a resistência do elemento vertical, pelo diâmetro da perfuração necessária para o encaixe, podendo causar o rompimento por cisalhamento da peça. É aconselhável que a perfuração, bem como o elemento horizontal, possuam nós próximos à ligação, podendo ser utilizadas amarrações para melhor fixação das peças, assim como ataduras, para evitar rachaduras nos colmos (DUNKELBERG, 1996) (Figura 119).

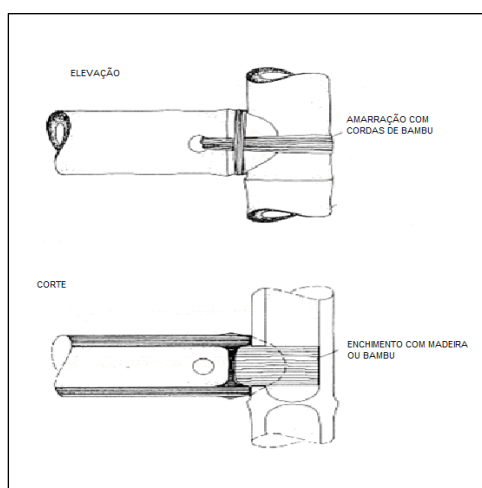


Figura 119 – Tarugamento de conexão lateral com amarrações

Fonte: Dunkelberg (1996)

Outra variação de conexão lateral simples é a utilização do corte boca-de-peixe acrescido de entalhes retos em suas laterais, travados com uso de cunha de madeira dura ou bambu. Este tipo de encaixe possui um corte de difícil execução, além de ser muito frágil às quebras durante a execução da montagem, com baixa eficiência, necessitando de amarrações para estabilidade estrutural (Figura 120).

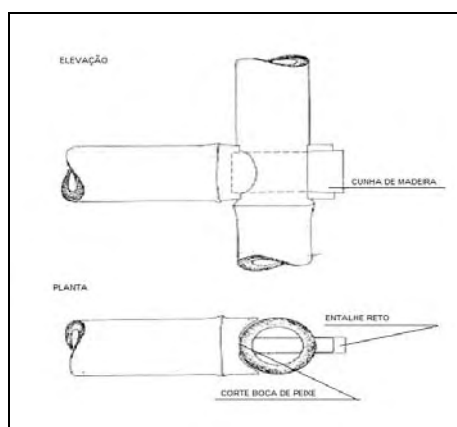


Figura 120 – Conexão lateral simples com uso de cunha de madeira
 Fonte: Dunkelberg (1996)

c) Conexões ortogonais laterais duplas em ângulo reto

São as ligações dos elementos horizontais, realizadas lateralmente aos elementos verticais, em que dois colmos são apoiados no elemento vertical, em ângulo reto. Podem ser realizadas com as mesmas técnicas das ligações simples, com diferenciações em suas amarrações (Figura 121).

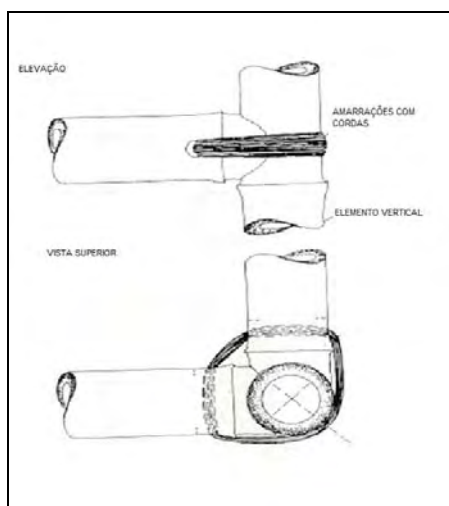


Figura 121 – Conexão lateral dupla em ângulo reto
 Fonte: Dunkelberg (1996)

O entalhe característico desta ligação, comum na cultura asiática, é a preservação apenas da casca lateral de um internó, dobrado em torno do elemento vertical para realização dos cantos. Utiliza-se, normalmente, espécies de paredes finas com amarrações, furações e cavilhas sempre próximas aos nós (Figura 122).

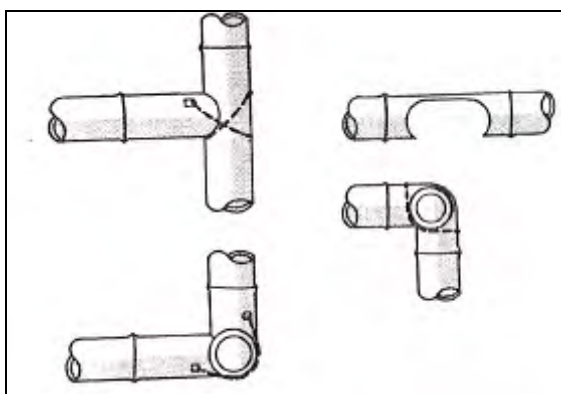


Figura 122 – Conexão lateral dupla com dobra em ângulo reto

Fonte: Jayanetti e Follett (1998)

d) Conexões ortogonais laterais duplas em linha

São as ligações dos elementos horizontais, realizadas lateralmente aos elementos verticais, em que dois colmos são apoiados no elemento vertical em linha.

O modo tradicional asiático consiste no entalhe de boca-de-peixe, furação nos elementos verticais e posterior amarração com cordas de bambu. As extremidades dos elementos verticais devem possuir nós próximos aos encaixes, podendo ser acrescida uma atadura para reforço, caso não haja esta coincidência (Figura 123).

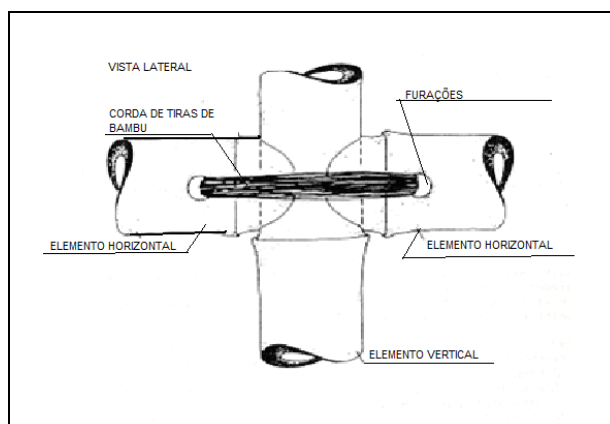


Figura 123 – Conexão ortogonal lateral dupla em linha, entalhe boca-de-peixe

Fonte: Dunkelberg (1996)

Em substituição ao encaixe boca-de-peixe, o entalhe com corte reto no elemento horizontal pode ser simplesmente encaixado em orifícios no elemento vertical, podendo receber amarrações para melhor estabilidade. Perfurações para amarrações e utilização de pinos para sua ancoragem, podem ser executados neste tipo de conexão (Figura 124).

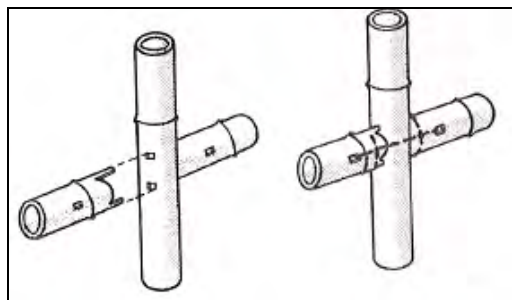


Figura 124 – Conexão ortogonal lateral dupla em linha, entalhe com corte reto
Fonte: Jayanetti e Follett (1998)

e) Conexões ortogonais sobrepostas

São formadas quando duas ou mais peças se cruzam ortogonalmente, de maneira sobreposta. O escorregamento entre as partes é um dos maiores problemas neste tipo de conexão, visto que a área de contato entre as peças é muito pequena e as amarrações, mesmo com utilização de pinos, são pouco eficientes quando sujeitas a maiores cargas.

A maneira tradicional, muito utilizada pelos asiáticos, é a de apoiar o elemento horizontal em uma ramificação lateral do colmo, porém, este sistema possui pouca eficiência estrutural em função da pequena área de contato entre as partes e a necessidade de coincidência da ramificação no lugar necessário à conexão (Figura 125).

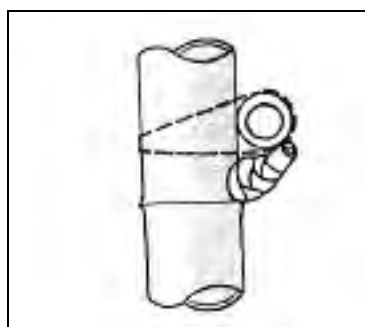


Figura 125 – Conexão sobreposta tradicional Asiática
Fonte: Jayanetti e Follett (1998)

A execução de consoles em bambu, para apoio dos elementos horizontais, reduz as fissuras nas vigas de bambu e melhora a estabilidade do sistema. Cavilhas podem ser utilizadas para transmitir os esforços do console para o elemento vertical, auxiliadas por amarrações com cordas de fibras vegetais (Figura 126).

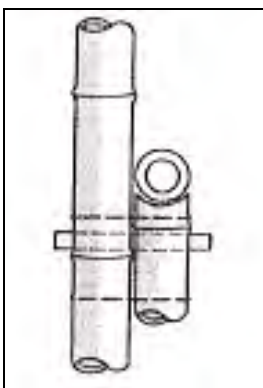


Figura 126 - Execução de console para apoio do elemento horizontal

Fonte: Jayanetti e Follett (1998)

Vários tipos de conexões sobrepostas inclinadas são utilizados em estruturas de cobertura tradicionais, com uso de amarrações, pinos, cavilhas passantes de madeira e consoles de apoio às vigas e terças (Figura 127).

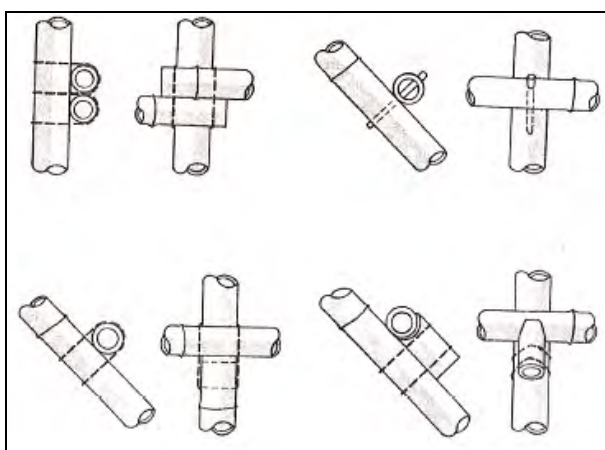


Figura 127 - Conexões por sobreposição inclinadas

Fonte: Jayanetti e Follett (1998)

Grupo 3 - Conexões de elementos diagonais

Muito utilizadas em coberturas para transmissão de esforços por meio de treliças, as conexões diagonais utilizam-se de encaixes tipo boca-de-peixe, nas

quais o maior obstáculo é a diferença de diâmetros dos diversos elementos que compõem a estrutura, além da obtenção do ângulo exato para o corte, necessitando de ferramentas mais precisas que as utilizadas nas construções tradicionais (Figura 128).

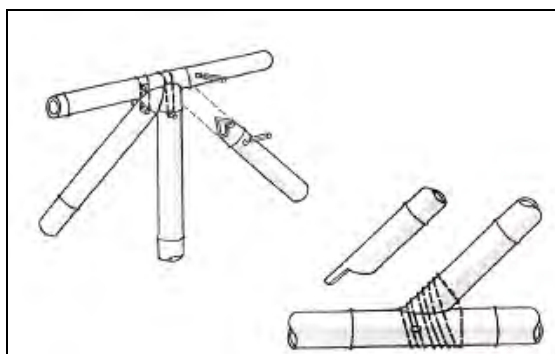


Figura 128 – Conexões diagonais

Fonte: Jayanetti e Follett (1998)

As conexões entre elementos diagonais utilizam os mesmos métodos das demais conexões tradicionais, com uso de simples encaixe, amarrações simples, amarrações utilizando perfurações e uso de pinos para travamentos destas.

a) Conexões diagonais com elementos horizontais

Este tipo de conexão é muito comum em estruturas de coberturas tradicionais, no apoio das longarinas diagonais ou banzo superior, sobre as vigas horizontais. As amarrações são necessárias para combater o efeito de sucção do vento, porém, tem baixa eficiência ao escorregamento do elemento diagonal e ao esmagamento por compressão do elemento horizontal (Figura 129).

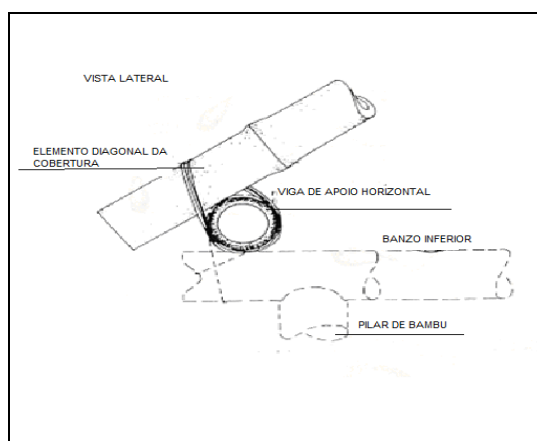


Figura 129 – Conexão diagonal com elemento horizontal

Fonte: Dunkelberg (1996)

Outro exemplo deste tipo de ligação encontra-se nas cumeeiras das coberturas tradicionais, nas quais dois elementos diagonais são apoiados em um elemento horizontal, que deverá receber enchimento de madeira ou bambu para evitar seu esmagamento por esforços de compressão perpendicular às fibras (Figura 130).

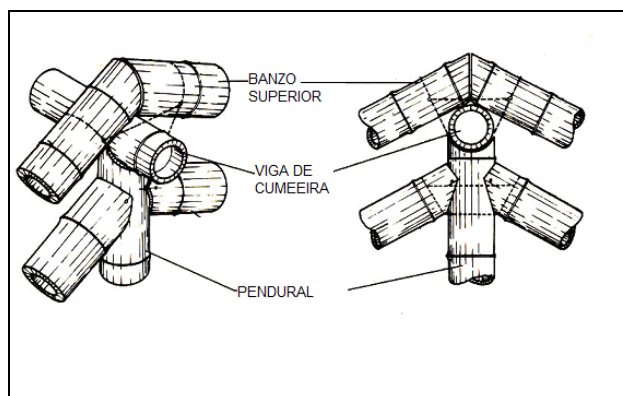


Figura 130 – Conexão diagonal com dois elementos horizontais
 Fonte: Hidalgo-López (2003)

A montagem da estrutura de cumeeira em construções asiáticas possui uma solução muito simples, com o corte do colmo preservando apenas da casca do bambu, que efetua o contorno do elemento horizontal (Figura 131).

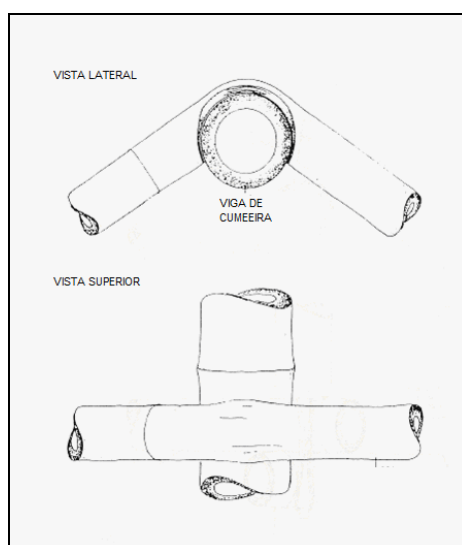


Figura 131 – Conexão diagonal com elemento horizontal em cumeeiras
 Fonte: Dunkelberg (1996)

Cavilhas, pinos para ancoragem de amarrações e entalhes tradicionais da cultura asiática são também utilizados nesta região das coberturas (Figura 132).

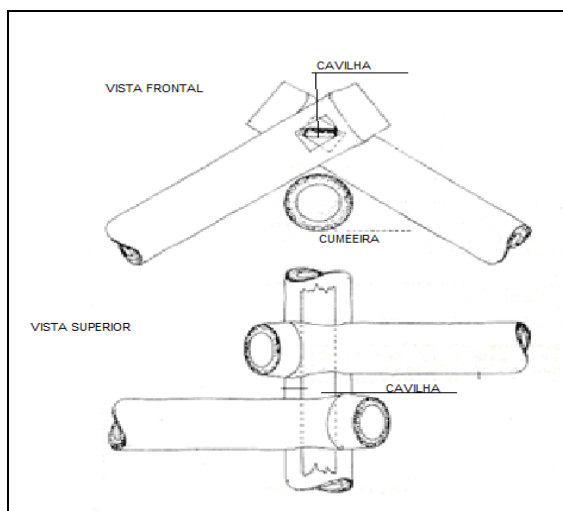


Figura 132– Conexão diagonal com elemento horizontal em cumeeiras com cavilha
 Fonte: Dunkelberg (1996)

b) Conexões diagonais com elementos verticais e horizontais

Usualmente, este tipo de conexão encontra-se em coberturas, na ligação do pilar (elemento vertical), da viga ou flexal (elemento horizontal) e banzo superior (elemento diagonal). As amarrações, com auxílio de pinos para ancoragem, das cordas aos pilares são fundamentais para evitar a sucção por ventos, do elemento diagonal e vertical. Os esforços perpendiculares aos pilares, ocasionados pela compressão diagonal da cobertura, devem ser travados com cavilhas de madeira, evitando o escorregamento, realizando a ligação dos três elementos (Figura 133).

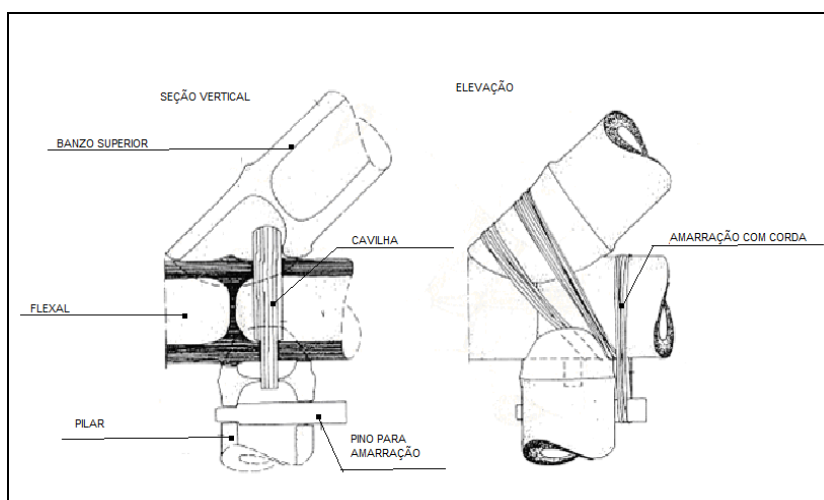


Figura 133 - Conexão diagonal com elementos verticais e horizontais em flexal de estrutura de cobertura
 Fonte: Dunkelberg (1996)

Grupo 4 – Conexões por transpasses dos elementos

Os elementos podem conectar-se com o transpasse de colmos de menor diâmetro pelos colmos de maior diâmetro, sendo possível utilizar travamentos de cavilhas, pinos e amarrações. Muito utilizado em cercas, peitoris e confecção de portas e janelas, apresentam excelente aspecto estético, porém oferecem pouca resistência estrutural, mesmo em construções tradicionais (Figura 134).

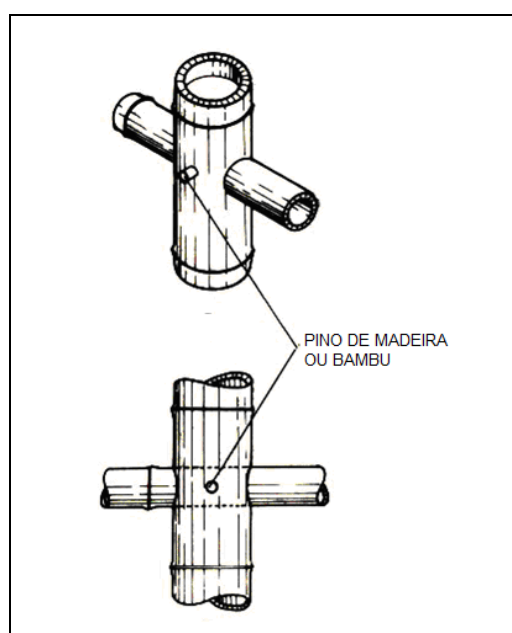


Figura 134 – Conexão por transpasse

Fonte: Hidalgo-López (2003, p. 230)

Jayanetti e Follet (1998), Janssen (2000) e Hidalgo-López (2003) listaram uma série de aspectos para melhoria do desempenho das conexões tradicionais:

a) Utilizar colmos de bambu maduros, com pelo menos três anos de idade e dimensões apropriadas para estruturas; os mais recomendados são os das espécies gigantes, com paredes com espessuras superiores a 9 mm (HIDALGO-LÓPEZ, 2003).

b) Realizar as conexões próximas aos nós: a presença dos nós nas ligações aumenta em 50% a resistência ao cisalhamento ao longo das fibras; caso contrário, as cargas verticais transmitidas neste apoio podem causar um esmagamento das peças, comprometendo as ligações (Figura 135). Contudo, se não for possível a coincidência dos nós em cada extremidade das peças, pode-se

optar pela utilização de um segmento de madeira ou mesmo um nó de bambu, de mesmo diâmetro, em seu interior.

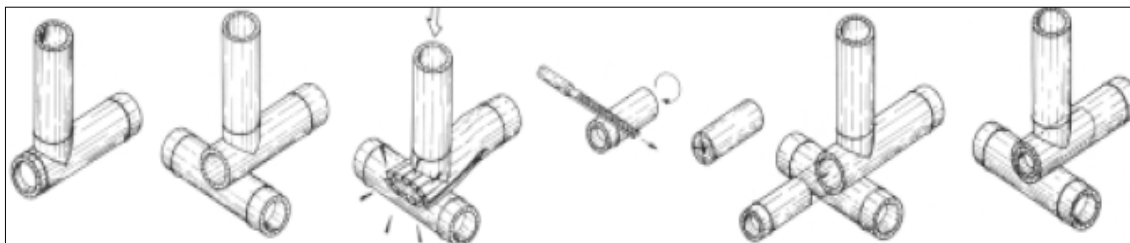


Figura 135 - Localização das conexões próximas aos nós e uso de tarugamento

Fonte: Lopéz (2003)

c) Reduzir a quantidade de furos: as furações, cortes e entalhes diminuem consideravelmente a resistência do bambu, devendo ser realizadas também próximas aos nós, com atenção à direção dos esforços, evitando-se o alinhamento destas intervenções. O formato das furações deve ser arredondado, evitando-se as quinças, que quando solicitadas tendem a fissurar facilmente.

d) Utilizar colmos de bambu secos: o uso do bambu seco é recomendado, por possuir maior resistência aos esforços e menor tendência de retração do que quando utilizado verde, o que causaria a falência da conexão.

e) Melhorar a durabilidade: os tratamentos preservativos tradicionais dos colmos de bambu melhoram as características mecânicas das conexões estruturais e prolongam a vida útil das edificações.

2.11.2 Conexões contemporâneas

O bambu é um material tradicional e muito ainda precisa ser feito antes que seja reconhecido como um material moderno e confiável como o aço, madeira e concreto. Um esforço total é necessário para desenvolver padrões internacionais, regras de utilização e de cálculos, porém, o bambu pode ter a vantagem do desenvolvimento tardio. Para madeira e aço, por exemplo, diferentes regras de cálculos são usadas em todo o mundo e nunca haverá um único sistema aceito. O bambu definitivamente irá escapar a este destino (JANSSEN, 2000).

Janssen (2000) adotou a análise do conjunto de esforços a que são submetidas as ligações com o bambu como princípio orientador para classificação das conexões estruturais contemporâneas, seguindo as seguintes disposições:

- a conexão entre colmos de bambu pode se realizar por meio do contato entre a secção transversal completa ou pelas forças provenientes da secção transversal para um elemento de adesão;
- os esforços podem ocorrer interna ou externamente ao colmo;
- os esforços podem ser paralelos ou perpendiculares às fibras.

Com base nesses critérios, pôde organizar os tipos de articulações, dividido-os nos seguintes grupos:

Grupo 1 - Secção transversal completa

Na prática, a junção mais prevalente é a que é feita com conexões envolvendo a secção transversal completa do colmo. A utilização de amarrações para manter os bambus posicionados é a mais tradicional conexão desta categoria (Figura 136).

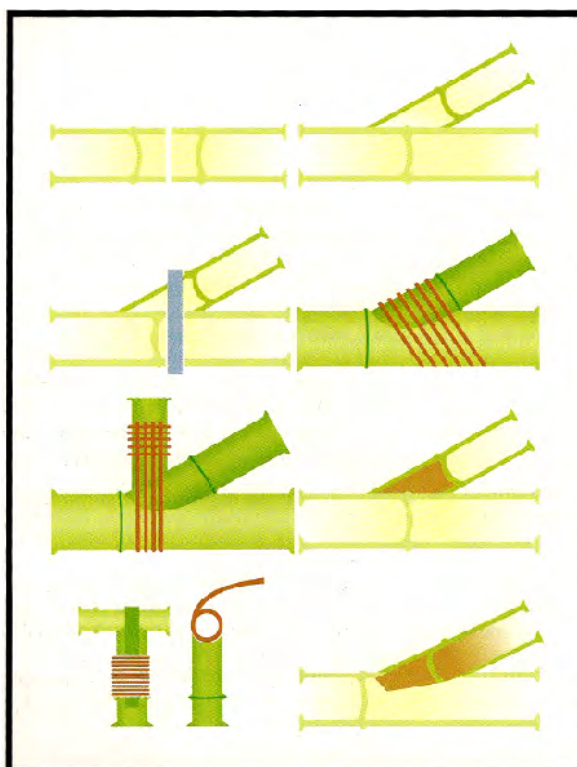


Figura 136 – Conexões envolvendo a seção transversal completa
Fonte: Janssen (2000)

Grupo 2 – Conexões do interior para um elemento paralelo

Neste caso, os esforços são transmitidos por um elemento paralelo interno ao colmo. Enchimentos com argamassa de cimento, epóxi e tarugos de madeira para fixação de esperas metálicas são exemplos desta categoria (Figura 137).

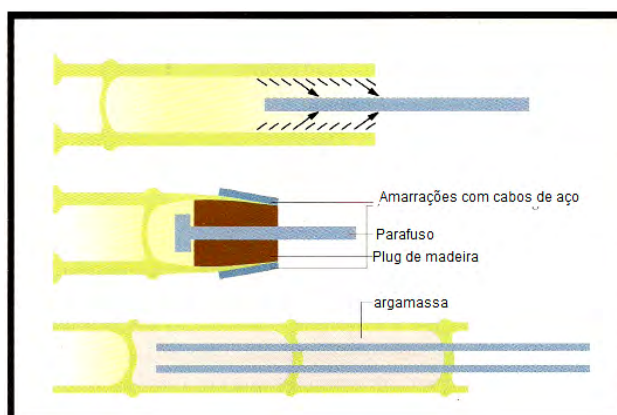


Figura 137 - Conexões internas de elemento paralelo
Fonte: Janssen (2000)

Grupo 3 - Conexões da seção transversal para um elemento paralelo

Neste grupo, existem conexões com pinos de aço ou madeira, paralelas ao eixo do colmo de bambu. No entanto, na maioria dos casos, esses pinos são mantidos no lugar por outros pinos ou parafusos, ligados axialmente nas paredes da seção do colmo, que realizam a transferência de esforços (Figura 138).

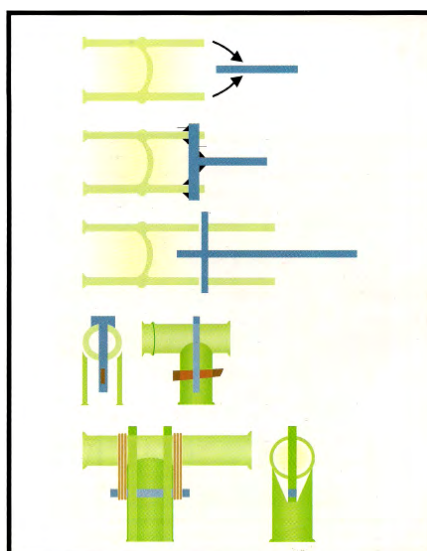


Figura 138 – Conexões da seção transversal para elemento paralelo
Fonte: Janssen (2000)

Grupo 4 – Conexões da seção transversal para elemento perpendicular

Neste grupo, os esforços são transferidos para as paredes da seção transversal do colmo por elementos perpendiculares à direção do colmo, em forma de pinos e parafusos metálicos. Chapas de madeira ou *plybamboo* são também utilizadas neste caso (Figura 139).

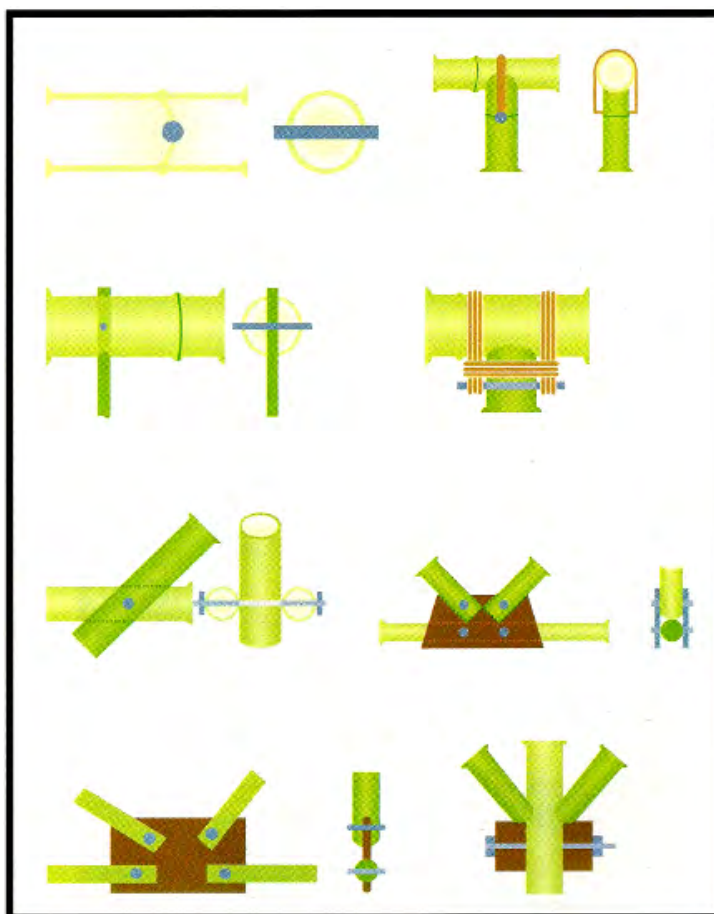


Figura 139 – Conexões da seção transversal para elemento perpendicular
Fonte: Janssen (2000)

Grupo 5 – Conexões do exterior para o elemento paralelo

Neste grupo, os esforços são transferidos aos elementos paralelos pelas paredes externas do colmo. Como exemplos, pode-se citar as amarrações por cordas ou cabos de aço e, mais recentemente, a utilização de presilhas metálicas (Figura 140).

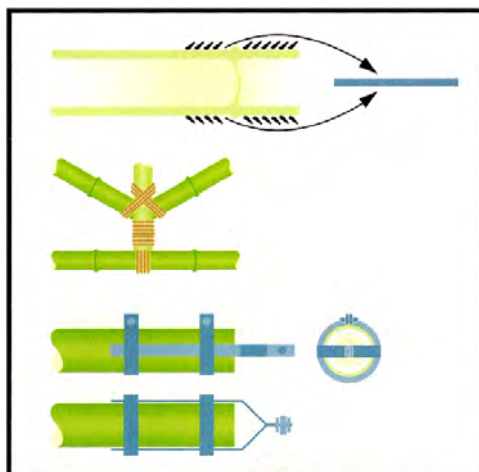


Figura 140 – Conexões do exterior para elemento paralelo

Fonte: Janssen (2000)

Segundo Jayanetti e Follett (1998), baseados nos métodos tradicionais e explorando a resistência e as vantagens do bambu, um grande número de conexões modernas vem sendo desenvolvido para oferecer eficientes soluções estruturais nos problemas das conexões com bambu. No entanto, sua adoção e a adequação dependerão em grande medida do custo e disponibilidade de materiais, equipamentos e mão-de-obra qualificada.

Exemplos recentes incluem:

a) Chapas de Gusset

Placas de madeira compensada ou de madeira simples são fixadas lateralmente aos colmos, em ambos os lados, com parafusos ou cavilhas de bambu, oferecendo maior rigidez e resistência quando comparado ao sistema de conexão tradicional por amarrações. Estas placas podem servir também de apoio tipo console para elementos transversais, como mostrado na Figura 141.

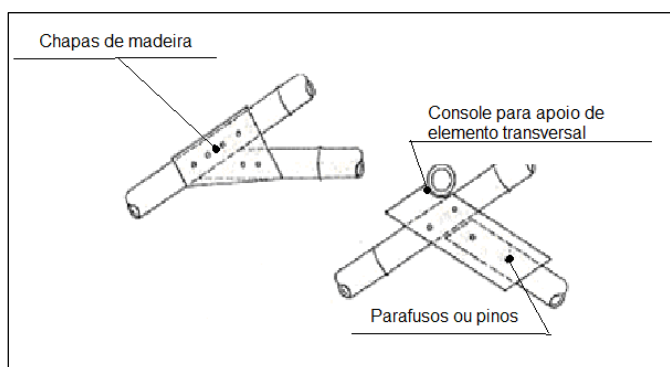


Figura 141 – Chapas de Gusset

Fonte: Jayanetti e Follett (1998)

As chapas metálicas, em substituição às chapas de madeira, são um recurso para estruturas que exigem maiores resistências e flexibilidade no desenho das ligações. Utilizam parafusos e porcas para fixação das conexões aos colmos, podendo ainda receber enchimentos com argamassa, para maior eficiência do conjunto, possibilitando o aperto dos parafusos sem o comprometimento dos colmos, tornando o sistema ideal para construção de estruturas espaciais (Figuras 142 e 143).

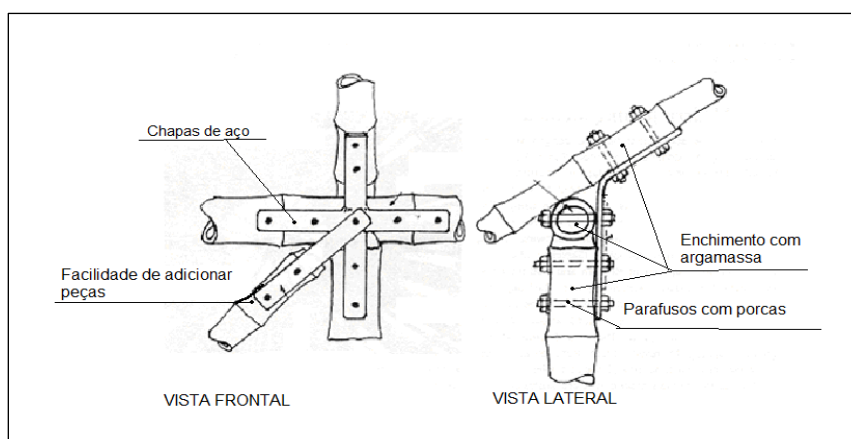


Figura 142 – Chapas de ligação metálica
 Fonte: Cusack (1999)

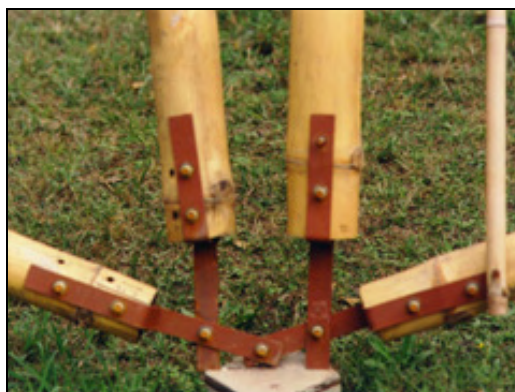


Figura 143 – Chapas de ligação metálica de Mark Mortimer
 Fonte: <http://www.bamboocraft.net>

b) Conexão ITCR

Desenvolvida pelo Instituto Tecnológico, na Costa Rica, é uma variação da conexão de Gusset. Consiste na inserção de chapas de compensados coladas em entalhes serrados nas terminações dos colmos (Figura 144). Durante a cura da

cola, a montagem pode ser mantida com auxílio de presilhas de fixação. A desvantagem deste método é que as terminações dos colmos permanecem abertas, o que diminui sua resistência, além da dificuldade de confecção e colagem no campo ou canteiro de obras.



Figura 144 – Conexão ITCR

Fonte: Janssen (2000, p. 105)

Piano (citado por RWTH AACHEN, 2009), arquiteto italiano, desenvolveu uma moderna conexão utilizando uma derivação da conexão ITCR, apresentada no *Building Workshop*, em 1997, em Nova Iorque; substituiu as chapas de madeira por esbeltos perfis de aço inoxidável, que ligados entre si formam uma base para utilização em estruturas espaciais de cobertura (Figura 145).



Figura 145 – Conexão de Renzo Piano

Fonte: RWTH Aachen (2009)

c) Conexão Arce: esta técnica foi desenvolvida por Oscar Antonio Arce-Villalobos, também no ITCR, em 1993. Baseia-se na inserção de madeira nas terminações dos colmos, que recebem pequenos cortes longitudinais para acomodação dos enchimentos, fixados com cola. Parafusos, pregos e chapas de aço convencional, de utilização em estruturas de madeira, podem ser utilizados para realização das ligações, depois de efetuado o enchimento (Figura 146).

Esta técnica, apesar de utilizar elementos simples como madeira e bambu, é de difícil execução, em razão da grande variação de diâmetros dos colmos, necessitando realizar-se um enchimento específico para cada colmo.

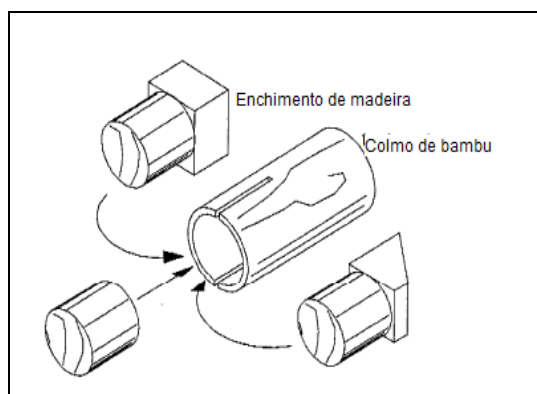


Figura 146 – Conexão Arce
Fonte: Jayanetti e Follett (1998)

O incremento da ligação de Arce é realizado pela inserção e colagem com epóxi de peças metálicas delgadas (C, D e E), indicadas na Figura 147, em ranhuras nos tarugos de madeira (B), que servirão de ponto de ligação por meio de soldas e parafusos, utilizados em estruturas metálicas convencionais.

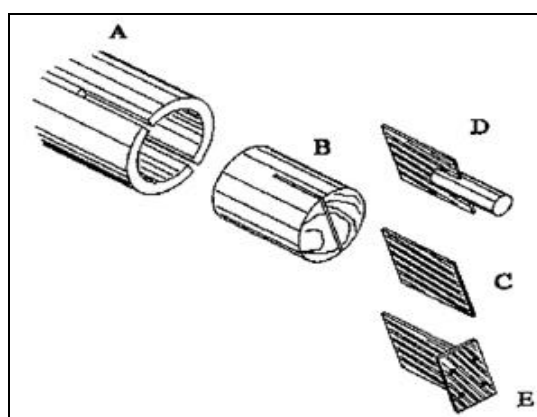


Figura 147 – Inserção de peças metálicas em tarugos de madeira
Fonte: Arce-Villalobos (1993)

d) Conexão Bambutec: Bambutec é uma empresa alemã que fabrica e comercializa um sistema patenteado que utiliza peças de madeira para conexão de colmos de bambu. As peças de madeira, assim como os colmos, recebem usinagem característica do encaixe, que se estabiliza e transmite os esforços com uso de cola e pinos passantes (Figura 148).



Figura 148 – Conexão Bambutec

Fonte: <http://www.bambutec.org>, 2009

e) Conexão de Morisco e Mardjono: esta é também uma alteração da conexão Arce, desenvolvida por Morisco e Mardjono, em 1995. O interior das superfícies dos colmos a serem unidas é limpo com uma escova de aço e logo após, por uma perfuração lateral, é aplicada resina para ligação do enchimento de madeira com as paredes do colmo. Furos podem ser realizados e parafusos podem ser instalados após a cura do adesivo.

A inserção de cola deve ser realizada por bomba manual, em perfurações nas laterais dos internós ou pelo topo, quando permitido, retirando-se o diafragma. Pequenos orifícios para a saída do ar de dentro da câmara devem ser efetuados, para que o adesivo ocupe todos os vazios, proporcionando boa aderência ao conjunto.

Segundo Cusack (1999), o melhor adesivo para ligações de tarugamento de madeira é o epóxi. O resultado da aplicação deste material, segundo pesquisa de Morisco e Mardjono (1995), indica que este recurso melhora em cerca de 60% a resistência final das ligações de bambu, quando submetidos a esforços de tração, em comparação com ligações com colmos vazios, porém o alto custo do produto inviabiliza sua utilização em larga escala.

A argamassa de cimento pode ser utilizada no lugar do enchimento com madeira, caso em que os parafusos são colocados antes desta ser derramada.

Posteriormente à cura, qualquer sistema de conexão de madeiras convencionais pode ser utilizado, como chapas de união externas de aço ou madeira (Figura 149).

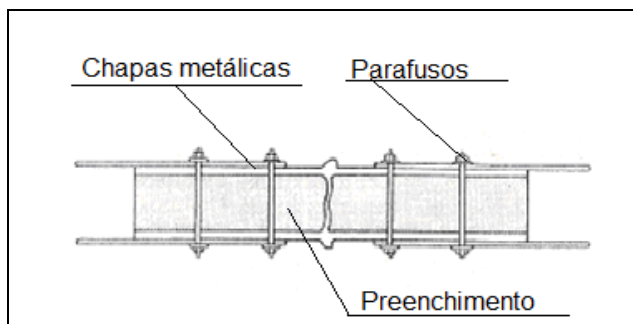


Figura 149 – Conexão de Morisco e Mardjono
 Fonte: Jayanetti e Follett (1998)

f) Conexão por abraçadeiras metálicas

Abraçadeiras de aço com parafuso integral passante são posicionadas em torno das seções de bambu. A ação de aparafusar aperta os grampos em torno dos colmos (Figura 150). Cintas de aço adicionais podem ser usadas, se necessário. Esse método foi concebido pelo *Bhagalpur College* de Engenharia, na Índia, com boa aplicação em treliças de cobertura.



Figura 150 – Conexão por abraçadeiras metálicas

g) Conexão por rebites Herbert

Este método, desenvolvido no Reino Unido pela *Building Research Establishment*, utiliza luvas de aço fixadas nas paredes na seção do colmo por uma

série de rebites de pequeno diâmetro, mais eficazes que parafusos e pregos, pois atuam para transferir a carga para o bambu (Figura 151). Apesar de resistente, o conjunto é volumoso e instável.

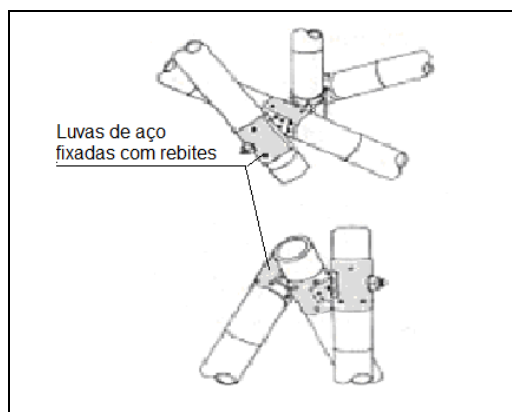


Figura 151 – Conexão por rebites Herbert

Fonte: Jayanetti e Follett (1998)

h) Conexão de Gutierrez

Esta técnica é interessante porque explora a compressão e flexão do bambu, mas não permite tensões de tração ou cisalhamento. Isso é conseguido passando-se uma barra de aço no centro do elemento e realizando-se a soldagem desta com placas de aços em ambas as extremidades do colmo (Figura 152). As extremidades das barras de aço salientes podem ser soldadas e unidas para fazerem um conjunto.

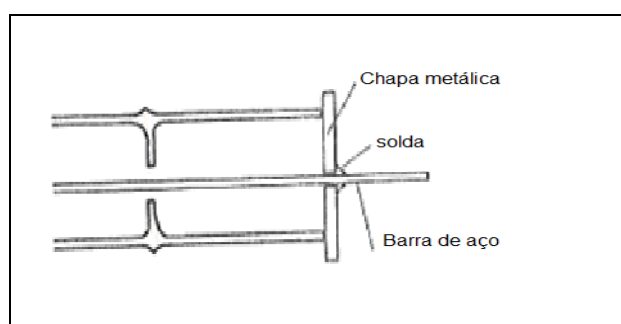


Figura 152 – Conexão de Gutierrez

Fonte: Jayanetti e Follett (1998)

i) Conexão por inserção ou encamisamento de peças pré-moldadas

Elementos pré-moldados de forma tubular são encaixados, por inserção

ou encamisamento, nas extremidades dos colmos que realizarão as conexões; em seguida, essas ligações podem receber presilhas, pinos ou parafusos, para estabilidade e transmissão de esforços no sistema. Os materiais mais comuns para esta ligação são os tubos de aço, plásticos e fibra de vidro. Conexões em diversas angulações podem ser realizadas por este sistema, sendo muito utilizadas em estruturas espaciais de cobertura como as geodésicas (Figuras 153 e 154). Alguns modelos de ligações permitem a expansão em linha reta, sendo utilizados como luvas de união para prolongamento das peças.

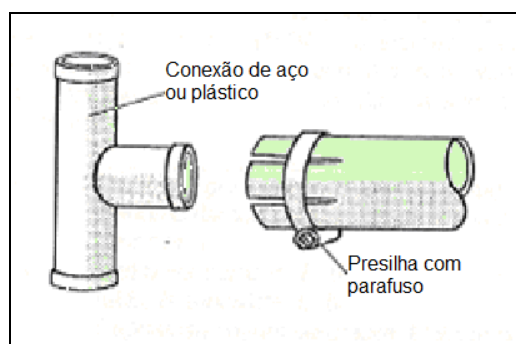


Figura 153 – Conexão por inserção de conectores de aço ou plástico
 Fonte: Jayanetti e Follett (1998)



Figura 154 - Conexão por encamisamento dos conectores de plástico

Shoei Yoh, arquiteto japonês, desenvolveu uma moderna conexão, utilizando a inserção de tubos de aço inoxidável nas extremidades dos colmos de bambu que realizam as ligações, fixando-os com parafusos e porcas.

Esta ligação, porém, pela grande quantidade de perfurações, oferece baixa resistência aos esforços de tração e compressão, o que diminui a resistência

final do sistema, ocasionando o rompimento do colmo por cisalhamento na região dos parafusos. Outra desvantagem da ligação é a diferença de diâmetro dos colmos e dos tubos de aço, geralmente criando vazios entre ambos, e quando apertados com os parafusos, acabam por trincar os colmos (Figura 155).



Figura 155 – Conexão de Shohei Yoh

Fonte: RWTH Aachen (2009)

Albermani (2006) realizou testes experimentais em conexões constituídas de peças de PVC, unidas aos colmos de bambu por uma massa adesiva, num sistema de treliças espaciais em dupla camada (Figura 156). O autor relatou dificuldade na situação de tração, pois, na realização do ensaio, a fixação entre o colmo e a peça de PVC se soltou bem antes do limite de resistência à tração para as espécies utilizadas. A colagem entre o bambu e a peça de PVC suportou 13 kN e, na situação de lixamento da superfície externa do bambu, chegou a 19 kN.



Figura 156 – Treliça espacial de dupla camada

Fonte: Albermani (2006)

j) Conexão de David Trujillo

Esse engenheiro civil trabalhou em conjunto com Simon Vélez em diversos projetos. Desenvolveu seu primeiro projeto de conexão estrutural com bambu em 2000, em seu trabalho de graduação. Em uma segunda fase – em 2001, já atuando como profissional de engenharia – projetou uma nova conexão, que consiste no enchimento com argamassa do internó da extremidade que realizara a conexão, após a passagem de diversos parafusos sobre uma atadura ou presilha metálica. Esta conexão, porém, após testes de resistência à tração paralela, realizados na *Universidad Nacional de Colômbia*, em Manizales, demonstrou fragilidade na área de contato interno da argamassa com os parafusos, rompendo-se nessa região (Figura 157).



Figura 157 - Teste de tração na Conexão de Trujillo
Fonte: CONBAM (2009)

k) Conexão de Tönges

Christoph Tönges é engenheiro na Alemanha e possui uma empresa que comercializa colmos de diversas espécies de bambu na Europa, assim como desenvolve projetos utilizando bambu. Desenvolveu uma conexão que utiliza cortes nas extremidades dos colmos que realizarão a conexão, presos por presilha metálica formando um fechamento cônico que, após inserida uma barra de ferro com moedas, é preenchido com concreto pela extremidade (Figura 158).



Figura 158 – Conexão de Tônges

Fonte: CONBAM (2009)

I) Conexão de elemento lateral com uso de parafuso extensor

Esta conexão é uma ilustração da transmissão de conhecimento primitivo da utilização de cavilhas de madeira tipo chave, ilustrada em conexões tradicionais, adaptado às novas tecnologias de construção com bambu.

A inserção de um parafuso extensor, em substituição a peça de madeira, realiza com eficiência o travamento do elemento horizontal na lateral do colmo vertical, com recurso de ajustes no aperto, além da diminuição no diâmetro das perfurações nos colmos. Esta conexão pode utilizar o enchimento com argamassa após sua instalação e ajustes (Figuras 159 e 160).

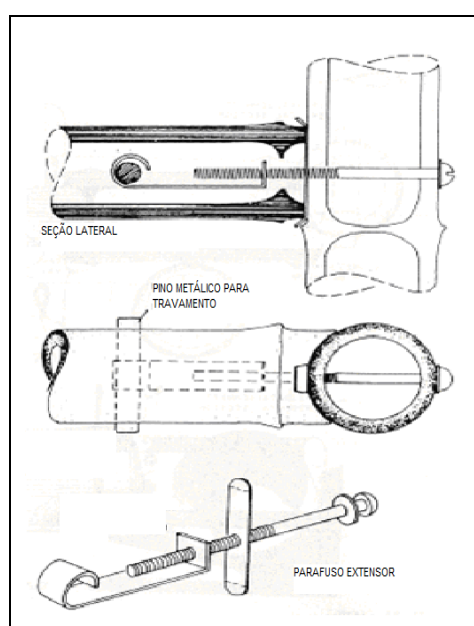


Figura 159 – Esquema de conexão com parafuso extensor

Fonte: Dunkelberg (1996)



Figura 160 – Conexão com parafuso extensor

Fonte: Janssen (2000, p. 114)

m) Conexão Velez:

Na grande maioria dos projetos do arquiteto colombiano Simon Vélez, a utilização de enchimentos com concreto é amplamente utilizada como recurso para melhoria da qualidade das conexões. O aperfeiçoamento da técnica – com ensaios de laboratório, utilização de ferragens sofisticadas e diversos traços de concreto, inclusive com adição de aditivos – possibilitou a estas articulações uma maior capacidade de resistir à falha nos esforços de cisalhamento, esmagamento ou divisão do colmo a partir dos orifícios para introdução dos parafusos (CUSACK, 1999).

Variações desta tecnologia utilizam concreto para enchimento dos colmos em diversos modelos de conexões, basicamente subdivididos em dois grupos, em razão dos pontos de transferência dos esforços. Na primeira, os esforços são transferidos longitudinalmente, pelo centro do colmo, por meio de uma barra de aço ou por uma chapa metálica (Figura 161). No segundo tipo, os esforços utilizam chapas laterais ao eixo longitudinal do colmo, ligadas por parafusos passantes similares à conexão de Morisco e Mardjono (1995).

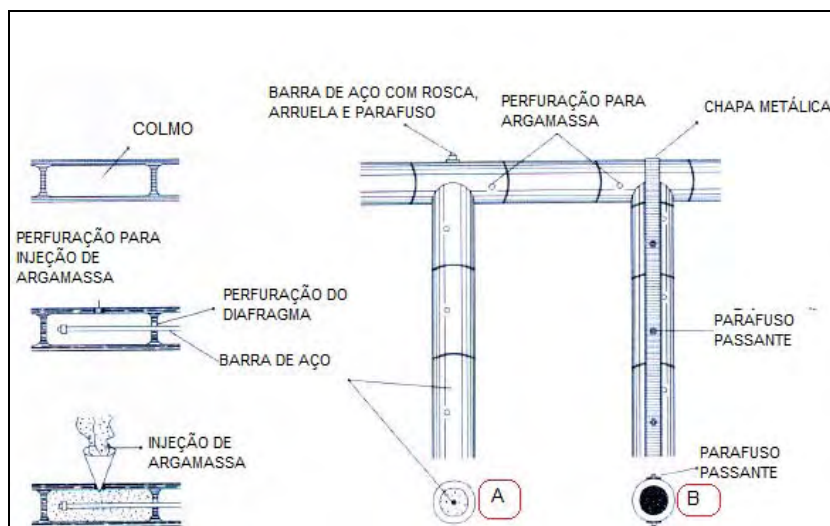


Figura 161 – Transferência de esforços pelo eixo longitudinal do colmo, ou por chapa metálica laterais com parafusos passantes

Fonte: RWTH Aachen (2009)

Como exemplo de transferência de esforços pelo centro do colmo no eixo longitudinal, a conexão básica de Velez pode ser realizada também pela inserção de uma chapa de aço perfurada na extremidade do colmo, entre dois nós, com colocação de dois parafusos passantes e preenchimento com concreto fluido pelo topo. A espera de aço poderá realizar a ligação com outras chapas ou diretamente nos apoios por parafusos, soldagem, encaixes entre outras. Esta conexão transmite muito bem os esforços de tensão e compressão, além de permitir o apoio de outros elementos sobre a conexão, sem o esmagamento da peça (Figura 162).

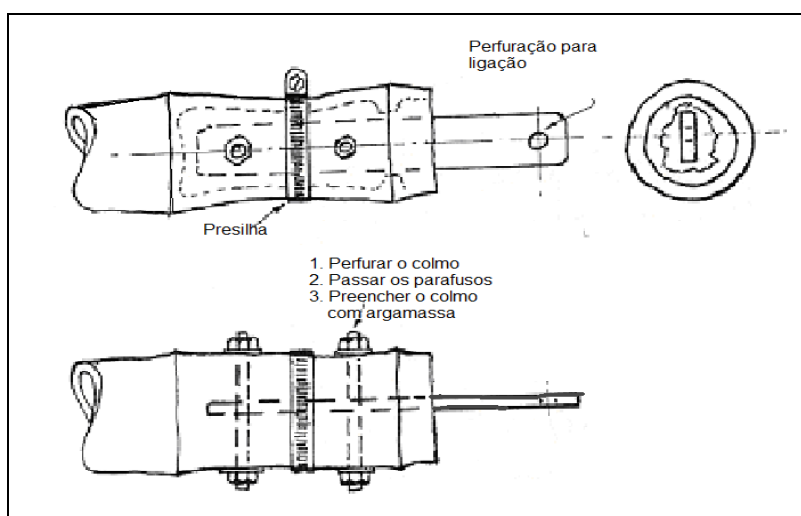


Figura 162 – Transferência de esforços pelo eixo longitudinal do colmo por chapa metálica com parafusos passantes

Fonte: Cusack (1999)

Quando houver impossibilidade de enchimento pelo topo, realiza-se perfurações para injeção de concreto – com diâmetros variáveis em função da fluidez da mistura e da dimensão dos agregados graúdos – utilizando-se um funil. Equipamentos vibratórios podem ser utilizados para o perfeito preenchimento dos vazios, com intuito de utilizar o menor diâmetro de perfuração possível e evitar a diminuição de resistência da peça.

Outro exemplo de transferência de esforços pelo eixo longitudinal é a utilização de uma barra de aço com arruelas ou porcas, inserida no centro do colmo, passando por no mínimo dois internós, que serão posteriormente cheios de concreto por meio da perfuração realizada na parede do colmo. A função das arruelas ou das porcas é a de ampliar a área de contato da barra, melhorando sua ancoragem (Figura 163).

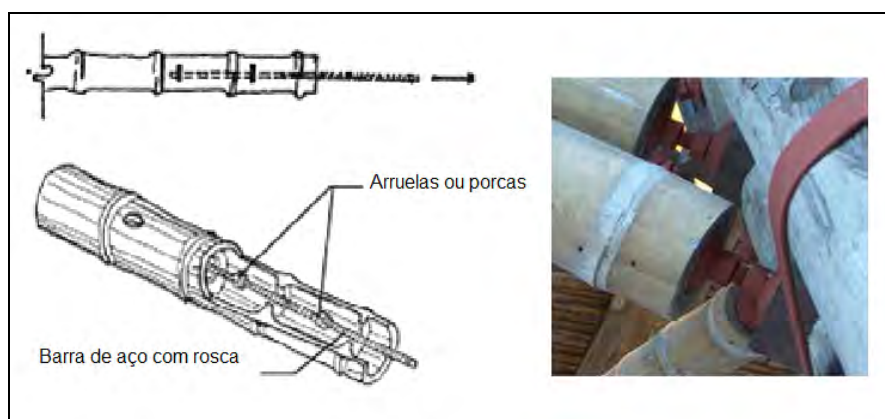



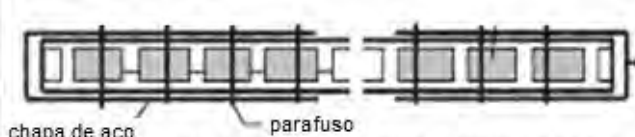



Figura 163 – Transferência de esforços pelo eixo longitudinal do colmo por barra e arruelas
Fonte: Hidalgo-Lopez (2003)

Segundo Hidalgo-Lopez (2003), na construção do Pavilhão Zeri, projeto de Simón Vélez para a exposição de Hannover 2000, Garzon e F. Díaz, engenheiros calculistas da estrutura, realizaram testes em dois modelos básicos de conexões com transferência de esforços pelo centro do colmo e por barras laterais fixadas com parafusos passantes. Ambas utilizaram a espécie *Guadua angustifolia* e, nos testes A, C e E, o enchimento de concreto vibrado, inserido por perfurações laterais aos colmos.

Quadro 4 – Testes de tensão em conexões de bambu para o Pavilhão Zeri

TESTES DE TENSÃO EM CONEXÕES DE BAMBU (J. Garzon 1996)					
	carga ruptu. Kg	compr. seção (m)	diam. extern (cm)	espes. pared (cm)	dimen. internó (cm)
 <p>A) Teste T.45- Barra de diam. 3/4", com porcas em 2 internós com preenchimento de concreto - Nº de testes 05 Falha: O concreto foi destacado dos dois internós, após quebrar as paredes do colmo.</p>	1) 4000 2) 4200 3) 4200 4) 4250 5) 4800	1.93 1.96 1.88 1.75 1.94	11 11.5 12.5 10.5 11.5	1.00 1.75 1.75 2.00 1.75	25 25 23 20 25
 <p>B) Teste PP85 - Dois internós sem concreto, com dois parafusos de diam. de 3/4" passantes. Falha: Rompimento do colmo pelos parafusos em ambos os lados</p>	1) 4000 2) 3300 3) 3.500	2.03 2.60 2.50	10 9.5 10	1.00 0.65 1.00	27 27 36
 <p>C) Teste PP80- Dois internós com concreto e parafusos de 1/2". Nº de testes 07 Falha: Rompimento do colmo pelos parafusos em ambos os lados. em alguns casos os cilindros foram rompidos pelos parafusos longitudinalmente.</p>	1) 7450 2) 5800 3) 6750 4) 7510 5) 7500 6) 8000 7) 10000	2.48 2.47 2.53 2.42 2.78 2.00 1.97	9.00 10 10 8.5 12.5 11 10.5	1.00 1.25 1.36 1.00 1.5 1.5 1.75	34 35 34 39 33 26.5 26.5
 <p>D) Teste PP95 - Três internós sem concreto e parafusos de 1/2". Nº de testes 03 Falha: Rompimento do colmo pelos parafusos em ambos os lados</p>	1) 6750 2) 3600 3) 3100	3.02 3.06 2.99	9.5 11 10	1.25 1.60 1.00	26.8 30 33
 <p>E) Teste PP90 - Três internós com concreto e parafusos de 1/2" Nº de testes 06 Falha: Idem ao item C</p>	1) 13500 2) 11530 3) 12800 4) 11900 5) 9600 6) 11730	2.52 3.10 2.54 2.69 3.00 2.94	11.5 10 12 10 11 10	1.75 1.00 2.00 1.25 1.75 1.25	29 26 28 27 26 28

Fonte: Lopez (2003, p. 392)

As conclusões desses ensaios elucidaram as características da conexão quando submetidas a esforços, servindo de parâmetros para futuros projetos de uma nova conexão. De acordo com os testes:

- ambos os sistemas de juntas são confiáveis se elas são feitas com cuidado;
- as articulações em que foram usados parafusos e chapas de aço são mais resistentes (cerca de 50%) que aquelas feitas com parafusos longos longitudinais;
- a força aumenta proporcionalmente em relação ao número de internós preenchidos com concreto;
- em conexões com parafusos, a carga permitida para o internó é de 900 kgf e, para cada internó adicional, aumenta em 30%;
- colmos de bambu com internós curtos e diâmetros entre 10 a 14 cm são mais resistentes;
- as conexões ficam fragilizadas quando são removidas partes das paredes do bambu para execução das uniões – por exemplo quando são furadas ou recebem cortes longitudinais;
- o bambu foi mais resistente do que qualquer um dos fixadores ou conectores usados.

Hidalgo-Lopez (2003) fez também algumas recomendações para a utilização de concreto injetado nos internós de colmos de bambu:

- os colmos de bambu que terão seus internós preenchidos com argamassa de cimento devem ser maduros e previamente secos. Se os colmos são jovens e imaturos, uma vez que se tornem secos, irão encolher e se soltar quando comprimidos;
- o diafragma consiste de uma parede fina que suporta o concreto injetado no internó. Na colocação da barra longitudinal com as porcas, o diâmetro das perfurações deverá ser apenas um pouco maior do que elas. Se o diafragma é totalmente destruído na operação, a resistência à tração a que é submetido o sistema se reduz, ocasionando o descolamento do cilindro de argamassa (Figura 164).

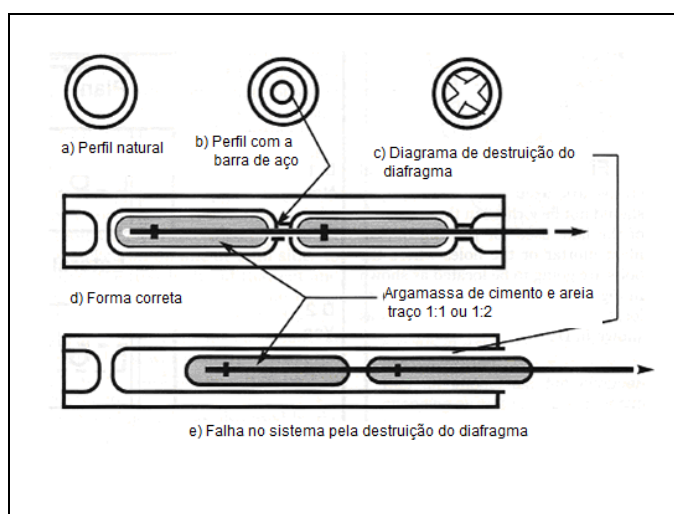


Figura 164 – Importância estrutural do diafragma em colmos injetados de argamassa
 Fonte: Hidalgo-Lopez (2003)

- é recomendável o uso de colmos de bambu de espécies de maior resistência, como o *Guadua angustifolia*, com três anos de idade ou mais, anteriormente tratados com produtos químicos apropriados;
- a argamassa de cimento com apenas a quantidade necessária de água, na razão de 1:2 (cimento-areia), em volume, é recomendada. Os orifícios para injeção de argamassa devem ter 2,5 cm de diâmetro. Nunca se deve fazer buracos quadrados para esta finalidade, pois suas quinas são suscetíveis a fissuras;
- a utilização de um funil adequado é necessária para a injeção da argamassa no internó de bambu (Figura 165).

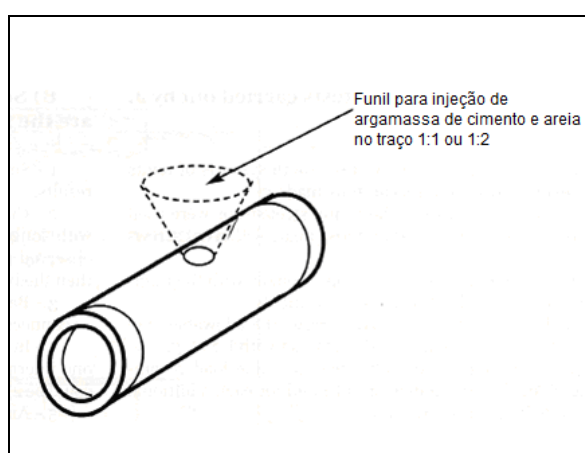


Figura 165 – Utilização de funil para injeção de argamassa no colmo
 Fonte: Hidalgo-Lopez (2003)

- uma vez que a mistura de argamassa esteja seca, ocorre uma redução de seu volume, ocorrendo uma pequena separação entre as paredes do colmo e o cilindro de argamassa, ocasionando a perda de adesão entre os elementos e, por conseguinte, o destacamento do internó. Esta é a razão da importância da preservação dos diafragmas, pois estes atuarão como contenção dos cilindros de cimento (Figura 166);

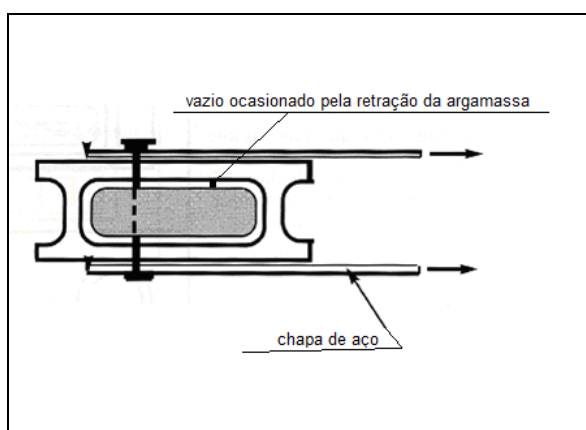


Figura 166 – Vazio ocasionado pela retração da argamassa

Fonte: Lopez (2003)

- Quando parafusos de metal são utilizados como elementos de fixação de placas no interior ou exterior do colmo, eles não devem estar localizados no mesmo eixo do orifício utilizado para a injeção da argamassa, para evitar uma possível linha de ruptura do colmo (Figura 167).

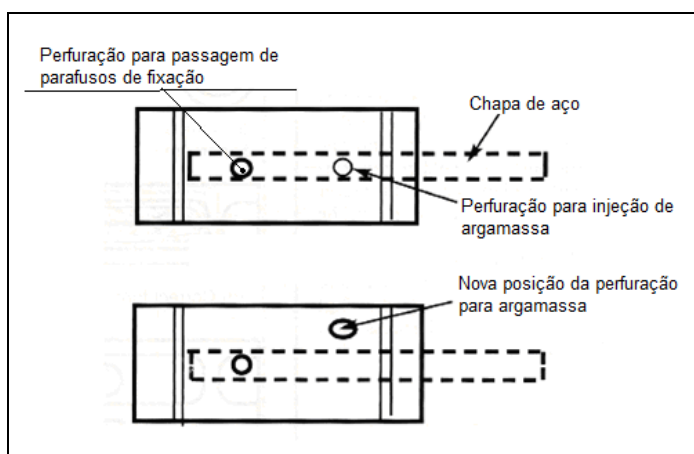


Figura 167 – Alinhamento das furações nos colmos

Fonte: Lopez (2003)

Os métodos de união seguinte não se constituem, de fato, em novos desenvolvimentos, contudo, devem ser observados:

- a) pregos e parafusos: a fixação de pequenos elementos em elementos maiores pode ser realizada em locais de pouca exigência mecânica (por exemplo, pisos de meia cana em vigas), desde que ocorra uma pré-perfuração, devido à tendência do bambu se dividir. Conexões pregadas têm também uma tendência a afrouxar, fazendo a transferência de carga de forma ineficiente;
- b) cintas de aço: para ajudar a resistir às forças de sucção do vento, tiras de aço podem ser usadas em conjunto com os encaixes para ancorar componentes principais, como por exemplo, os pilares e as treliças de cobertura;
- c) amarrações: novos materiais proporcionaram melhores resultados do que as fibras naturais nas amarrações, que podem ser efetuadas em conjunto com os demais sistemas, utilizando fibras sintéticas, cabos de aço, arame galvanizado, entre outros tipos de cabos com resistência e flexibilidade (CUSACK, 1999). A passagem de cabos diretamente nas furações em colmos de bambu não é recomendada, pois a borda afiada do furo, em contato com o cabo, acaba por trincar a peça a partir desta furação, quando submetidos a esforços, além de permitir a entrada de água e insetos nocivos à durabilidade do bambu;
- d) pinos de aço: são utilizados em substituição aos pinos e cavilhas de madeira ou bambu, oferecendo maior resistência, durabilidade e padronização de dimensões (Figura 168).



Figura 168 – Utilização de pino metálico e amarração de nylon

2.11.3 Conexões tradicionais versus conexões contemporâneas

A beleza das conexões tradicionais, sua simplicidade e funcionalidade são fatores que não descartam sua utilização em construções modernas. A escolha de pontos de menores solicitações de esforços indicam sua utilização pelo baixo custo, leveza estrutural, facilidade de montagem, utilização de ferramentas simples, valorização cultural e facilidade de treinamento de mão-de-obra

Segundo Cussak (1999), em locais onde é permitido o uso de conexões tradicionais, em muitos casos a utilização de parafusos e conexões complexas acaba por causar maiores danos aos colmos de bambu mais finos, fato que não ocorre com o uso de amarrações artesanais.

O arquiteto de estruturas de bambu, o colombiano Simón Vélez, usa quase que exclusivamente o moderno sistema de parafusos em suas construções. Ele afirma que articulações tradicionais não são confiáveis para estruturas duradouras. O arquiteto Darrel DeBoer comenta que cordas orgânicas não podem ser apertadas quando o bambu encolhe ou após dois anos, quando a umidade apodrece a corda .

Em estruturas que concentram maiores cargas, assim como maior exposição às intempéries, necessita-se utilizar conexões estruturais modernas, nas quais as tecnologias dos materiais sintéticos conferem as exigências da qualidade estrutural das edificações, justificando maiores investimentos em materiais, mão-de-obra e projetos.

2.12 Design das conexões estruturais com bambu

2.12.1 Design de novos produtos

A necessidade de inovação no design das conexões estruturais com bambu, aliado ao desenvolvimento de novos produtos, requer soluções comprometidas com a sociedade, mais pontualmente com os consumidores. O papel dos *designers*, mesmo em consultorias externas, é o de conhecer e utilizar métodos

básicos nas áreas de *marketing*, engenharia e desenho industrial, buscando sempre capacitar-se e desenvolver uma visão global sobre o desenvolvimento de novos produtos, com responsabilidade perante a sociedade.

Segundo Baxter (2000), a preparação, exploração, expansão e definição do problema, com levantamento das soluções existentes, são elementos-chave das fases do processo criativo, tornando possível o desenvolvimento de novas soluções para um problema que necessita de aprimoramentos. Esta abordagem utiliza a análise paramétrica, baseada em variáveis, chamadas *parâmetros comparativos*.

Estes parâmetros podem ser quantitativos, expressos numericamente, ou qualitativos, que servem para comparação, mas não apresentam medidas absolutas, que servirão de base para geração de novas idéias. A técnica MESCRAI sigla para “Modifique, Elimine, Substitua, Combine, Rearranje, Adapte, Inverta”, é de grande utilidade para a melhoria de produtos que possuem antecedentes de qualidade, porém, não cumprem toda a gama de necessidades deles exigida, no caso as atuais conexões estruturais com bambu.

Assim, o conhecimento prévio das conexões vernaculares ou tradicionais e das conexões modernas servirão de base para geração de novas idéias, cujo conhecimento gera inovação, fruto de novas soluções geradas com base em combinações de informação. É possível afirmar que conhecimentos adquiridos são sempre utilizados no processo de geração de novas idéias e de soluções, que poderão tornar-se inovações, revelando a característica construtivista do processo evolutivo humano.

A seleção de ideias deverá considerar tanto os bons quanto os maus aspectos das novas ideias, combinando-as e aproveitando as boas características de cada uma, com posterior análise do conceito escolhido de nova conexão e suas possibilidades de falhas e seus efeitos. A configuração do projeto, com a introdução de diversos instrumentos de testes e avaliação do produto, deve incluir decisões sobre sua arquitetura, isto é, como o produto é organizado em blocos e componentes para ser montados, a forma e função de cada componente, o processo de montagem e os tipos de materiais e processos de manufatura a serem usados na produção.

Estas considerações devem estar contidas em memoriais descritivos do projeto, desenhos técnicos e protótipos, assim como na análise das falhas e resultados dos testes com os protótipos.

2.12.2 Design de conexões de bambu

A tarefa de desenvolver conexões estruturais de qualidade com bambu, não é uma tarefa fácil, em razão das características do material. Embora os exemplos de conexões tradicionais e a prática das construções vernaculares sirvam de inspiração para novos projetos, estes exemplos não permitem a exploração de toda a capacidade de resistência das estruturas de bambu (JANSSEN, 2000).

O desenvolvimento de uma tecnologia própria para o material tem como grande precursor as pesquisas científicas, baseadas em diversos aspectos do material, como testes de resistência, impermeabilizações, tratamentos, plantio entre outras. O estudo das conexões é de vital importância para o uso do bambu em estruturas de confiabilidade, qualidade e segurança.

Segundo Arce-Villalobos (1993), a função objetiva de uma boa conexão consiste em obter uma continuidade estrutural entre elementos. Isso significa que as forças devem ser transmitidas de modo seguro e prescrito e as deformações devem ser mantidas sob controle, durante o processo de design, atendendo às restrições internas e externas.

Restrições internas lidam com propriedades dos materiais e sua forma:

- o bambu é um material ortotrópico, distantes na direção longitudinal, completamente diferentes da direção transversal. Na direção longitudinal há fibras de celulose, que são fortes e duras; na direção transversal há lignina, que é maleável e frágil. Por conseguinte, o bambu é um compósito reforçado unidirecional, com capacidade tangencial comparativamente pequena, com tendência ao cisalhamento;
- a forma do bambu é oca e variável em suas dimensões. As extremidades dos internós podem abrir e serem esmagadas facilmente; o melhor é colocar as conexões próximas aos nós. Estes, no entanto, ocorrem a distâncias variáveis;
- as paredes dos colmos são duras e extremamente lisas, dificultando a aderência de elementos por atrito, como as cordas nas amarrações.

As restrições externas são as seguintes:

- como qualquer material de construção, há que se olhar para a maximização de sua utilização. O bambu, como os demais materiais de construção, possui propriedades boas e más. Deve-se aproveitar ao máximo suas boas propriedades;
- o material deve possuir simplicidade de construção quando utilizado basicamente para a solução de infra-estrutura e de problemas em áreas onde equipamentos sofisticados e a capacidade técnica não são prontamente disponíveis. Portanto, um bom design deve ser simples, em termos de habilidade e equipamentos envolvidos na sua produção. Isso é especialmente importante no caso de atendimentos de projetos de construções emergenciais (Haiti, por exemplo);
- durabilidade: as conexões devem ser estáveis em relação ao tempo, devendo ser de mesma magnitude que a vida útil projetada para a edificação;
- adaptabilidade das dimensões de um sistema modular. Nas construções tradicionais este aspecto parece ser desnecessário, mas, nas edificações modernas, o design modular é uma necessidade. O design modular abre a possibilidade de produção em escala e pode utilizar mão-de-obra não qualificada na construção das edificações;
- previsão de resistência mínima das conexões é algo quase inexistente na literatura sobre articulações. São necessárias regras de design para extrapolação, predição de força e estimativa de segurança. Modelos mecânicos plausíveis com dados experimentais devem ser acompanhados de propostas para juntas;
- eficácia de custo das conexões e a sua influência no custo global das estruturas e desta, no valor final da obra.

Os principais aspectos no processo de design das conexões com bambu, segundo Jayanetti e Follett (1998), são os seguintes:

- ter uma visão clara do problema e estudá-lo completamente;

- esboçar soluções possíveis no papel, sem tentar fazer seleções no início do processo de estudos. Aceitar as propostas mais duvidosas; nunca se sabe o que uma ideia duvidosa poderá realizar;
- tentar melhorar ainda mais a solução que parece muito boa;
- guardar os esboços em uma “pilha de rejeitos”; se a ideia atual parece errada, não hesitar em retornar para a pilha à procura de outra ideia;
- discutir aberta e francamente, com todas as pessoas envolvidas, os prós e contras de cada desenho;
- construir protótipos internos, de preferência, com as próprias mãos;
- manter contato com o empreiteiro de construção e todas as outras partes envolvidas durante o processo;
- finalmente, aplicar um processo de análise, seguido de um processo de síntese.

3.2.1 Análise das conexões estruturais

Muitos profissionais e pesquisadores, entre eles: arquitetos, engenheiros e designers, trabalham no desenvolvimento de soluções para conexões estruturais com colmos de bambu, apresentando várias soluções de uniões com amarrações de cordas, enchimentos com tarugos de madeira, inserção de argamassa com esperas metálicas, instalação de parafusos passantes, presilhas metálicas, luvas de diversos materiais e várias combinações destas e outras tecnologias para transmissão de cargas.

Para a construção de uma união que seja compatível com a grande resistência à tração do bambu, deve-se conhecer as características físicas do material, observando-se a posição das fibras mais resistentes nas extremidades das paredes do colmo, assim como a sua disposição na direção longitudinal do colmo, além da influência dos nós, idade da planta, entre outras características citadas no capítulo sobre as propriedades físicas, neste trabalho.

Para análise das conexões, elegeu-se os modelos mais usuais, que são também os que oferecem maiores resistências a esforços de tração, as conexões de Velez e Conexão Tönges (Figura 169), não se descartando, porém, os pontos positivos das demais conexões estudadas. Estes dois exemplos são conexões que utilizam enchimentos com argamassa que preenchem todos os vazios, pois comprovadamente o aperto de parafusos, presilhas e demais elementos acabam por romper os colmos ocios de bambu.



Figura 169 – Conexão de Velez e conexão de Tönges

Fonte: CONBAM (2009)

Peças pré-moldadas para encamisamento ou tarugamento também têm histórico de ineficiência estrutural, pois as diversas dimensões dos diâmetros dos colmos de bambu acabam por criar uma infinidade de dimensões e, quando inseridas ou sobrepostas, não o fazem de maneira justa e perfeita, deixando, em muitos casos, pequenos vazios que, quando submetidos a esforços de compressão, acabam ocasionando a falência do conjunto.

Os tipos de conexão desenvolvidos por Simón Vélez, nas provas de resistência realizadas pelo laboratório FPMPA de Stuttgart, para a construção do Pavilhão Zeri, apresentaram as seguintes falhas: rompimento por tração paralela às fibras ocasionado pelos parafusos passantes ligados diretamente ou sobre chapas metálicas; destacamento do concreto das paredes internas do colmo de bambu, ocasionado pela falta de aderência entre os elementos; retração das argamassas, que cria vazios, ocasionando também o seu rompimento quando realizados os apertos dos parafusos.

A execução do sistema, com injeção de argamassa fluida por pequenos orifícios, além de diminuir a área das paredes do colmo, é uma tarefa de difícil realização, pois o aumento da fluidez para melhor passagem e acomodação dentro do colmo diminui a resistência da argamassa, por causa do aumento da relação água/cimento. Além disso, a possibilidade da realização dessa tarefa é possível apenas em solo, carecendo ainda de um período de tempo para cura. A retirada do diafragma para enchimento de mais de um internó também diminui a resistência; isso somado à impossibilidade de retirada do amido destes internós amplia as possibilidades de destacamento do concreto do interior do colmo.

Assim como a perfuração para a aplicação da argamassa, as perfurações realizadas para passagem dos parafusos, também diminuem a área de paredes dos colmos. Na execução da passagem dos parafusos por chapas perfuradas inseridas no interior do colmo, em substituição ao parafuso roscável, os encaixes se tornam tarefa de profissionais especializados em carpintaria, com marcações de pontos para perfurações e encaixes eqüidistantes, em formas cilíndricas pré-moldadas (Figura 170).

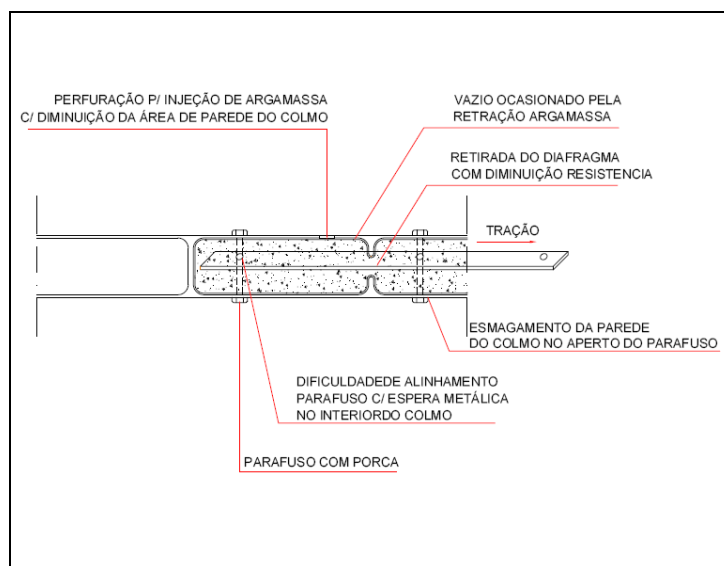


Figura 170 – Conexão de Vélez

Outro aspecto relevante são as formas das terminações que realizarão a conexão, geralmente sem afunilamento, que impedem a concentração de vários elementos em um mesmo ponto de ancoragem. Diversas soluções não padronizadas de terminações – em muitos casos, o simples prolongamento da

espera metálica – não oferecem resistência a esforços de compressão, cisalhamento e torção (Figura 171).

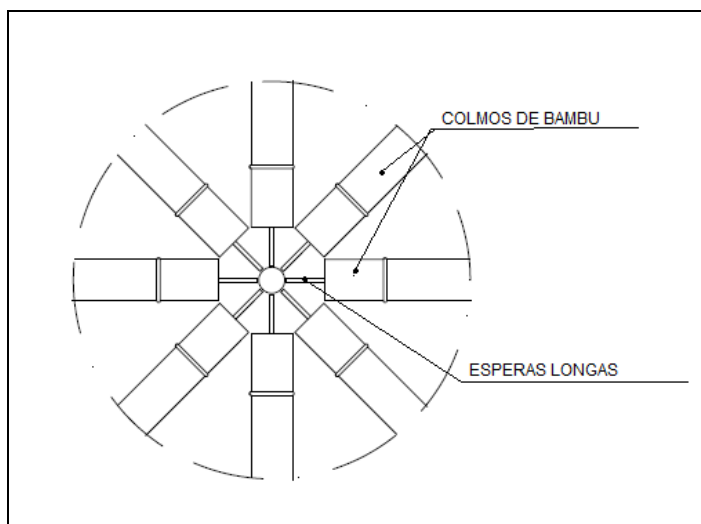


Figura 171 – Terminações sem afunilamento das extremidades com extensão das esperas

O sistema utilizado por Tönges, com diminuição do diâmetro da extremidade e enchimento de argamassa no último internó, após inserção de barra de aço com mossas, não utiliza parafusos passantes, que comprovadamente diminuem sua resistência, e sim uma presilha metálica, que mantém a forma cônica da extremidade do colmo, impedindo seu destacamento total, mesmo após a cura, com diminuição da aderência do concreto com as paredes do bambu (Figura 172).

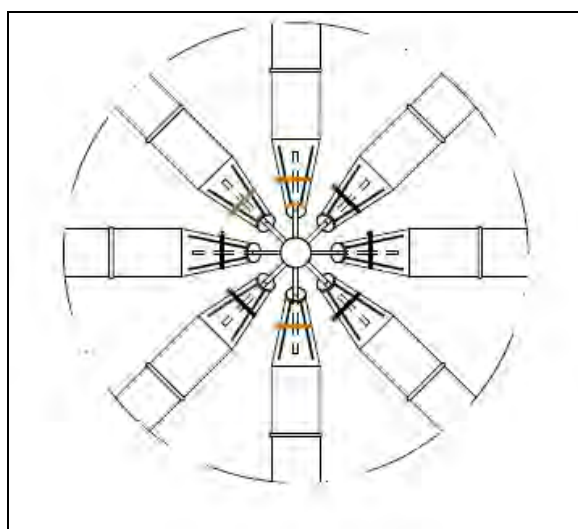


Figura 172 – Terminações de Tönges com afunilamento das extremidades

Em testes realizados na *Universidad Nacional de Colombia*, em Manizales, concluiu-se que a conexão oferece boa resistência à tração, com rompimento no cilindro de concreto na região de menor diâmetro, isto é, na extremidade, destacando-se parcialmente do colmo (Figura 173). Segundo Tonges (citado por CONBAM, 2009), a melhoria da resistência do concreto de preenchimento, utilizando-se cimento e aditivos específicos com traços diferenciados, proporcionaria melhores resultados nos testes.



Figura 173 – Teste de tração da conexão de Tönges

Fonte: CONBAM (2009)

Como demonstrado nos testes realizados, o rompimento do concreto se realizou na extremidade de menor diâmetro, isto é, na ponta da conexão, em razão de não haver ali uma barreira travada que impedisse o destacamento do concreto, mesmo que parcial.

Para a retirada do parênquima do interior do colmo, a conexão de Tönges utiliza somente o último internó aberto da extremidade, que quando ampliada para dois ou mais internós impossibilitaria esta retirada, ocasionando a diminuição da área de contato da parede do colmo com a argamassa, ampliando as possibilidades de destacamento do concreto.

3 PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

3.1 Proposta de uma nova conexão

Após a análise das conexões existentes, pôde-se observar que nenhuma conexão estrutural, quando submetida a esforços de tração, permite utilizar a plenitude da resistência oferecida pelo bambu, rompendo-se antes.

A idealização desta nova conexão baseou-se na análise das estruturas de diversas edificações – estudadas na revisão da literatura e em visitas técnicas – observando-se as características das conexões mais usuais, com melhorias em suas deficiências, citadas na análise dessas ligações.

O objetivo da nova união foi transmitir o máximo de esforços, utilizando toda potencialidade do bambu, com leveza e alto nível de pré-fabricação, permitindo rápida e fácil montagem e desmontagem, mesmo em condições adversas, fora do canteiro de obras.

Como precursores para o desenvolvimento do projeto de uma nova conexão, é preciso evidenciar os seguintes aspectos:

- **tamponamento da extremidade do colmo com elemento metálico**

Para não permitir a saída do concreto pela extremidade da ligação, quando efetuado o preenchimento e após a cura, quando a conexão estiver submetida a esforços de tração, foi criada uma peça que estabilizasse o sistema em sua extremidade, com uma arruela presa à espera metálica. Esta arruela foi soldada à espera, tamponando a abertura da conexão (Figura 174).

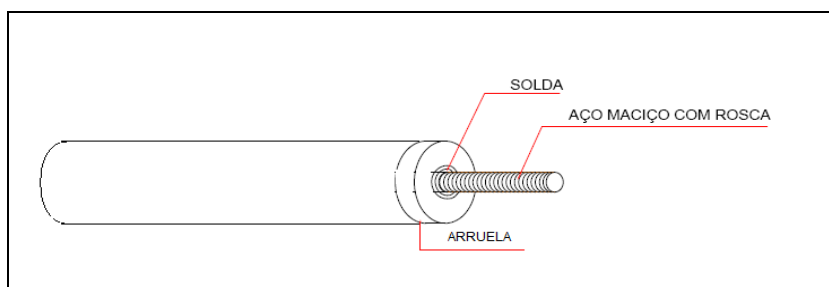


Figura 174 – Arruela para fechamento da extremidade da ligação

Esta peça tinha 5 cm de diâmetro, aproximadamente 50% do diâmetro médio dos colmos de bambu escolhidos para montagem de estruturas.

- **não utilização de parafusos passantes**

A utilização de parafusos passantes diminui a resistência do colmo de bambu e, para uma boa resistência, há necessidade de vários parafusos, o que acaba diminuindo a resistência da peça.

- **utilização de um só internó para limpeza do interior do colmo**

Utilizar somente o último internó permite realizar a limpeza, com retirada da camada superficial da camada de parênquima e realizar a lavagem com cal, melhorando o contato entre a parede do colmo e a argamassa de preenchimento.

- **afunilamento da extremidade que realizará a ligação**

O afunilamento da extremidade do colmo foi feito por cortes longitudinais, realizados com serra, obtendo-se a forma cônica, por meio de presilhas ou cabos de aço, que garantirão a estabilidade do sistema quando este for submetido a esforços (Figura 175). Serviu também como contenção da argamassa de grauteamento, durante a sua aplicação e após a cura, quando solicitados os esforços, evitando-se o destacamento do conjunto.

A forma resultante, com extremidade afunilada, permitiu a ancoragem de várias peças de bambu em um único ponto, de pequeno diâmetro, necessidade requerida em estruturas espaciais, quando usualmente são chamados de nós.

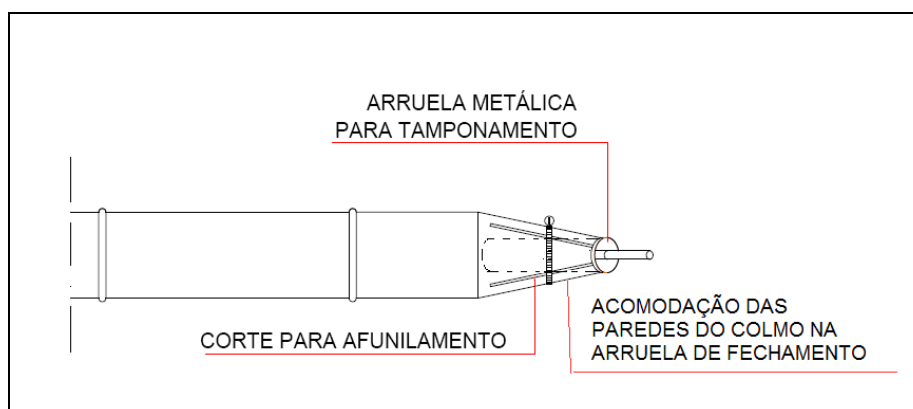


Figura 175 – Ancoragem das paredes do bambu na arruela de fechamento

- **ampliação da área de contato da espera com a argamassa de grauteamento**

Para aumentar a área de contato da espera metálica com a argamassa de grauteamento, o diâmetro do tubo de aço, de 6 cm, foi similar ao da arruela de fechamento. O tipo de espera ampliou o atrito e, conseqüentemente, a resistência à tração entre os elementos aço-argamassa de grauteamento. Este tubo de paredes grossas, com 3 mm, permitiu também a ampliação da área de contato, para soldagem com a arruela de tamponamento (Figura 176).

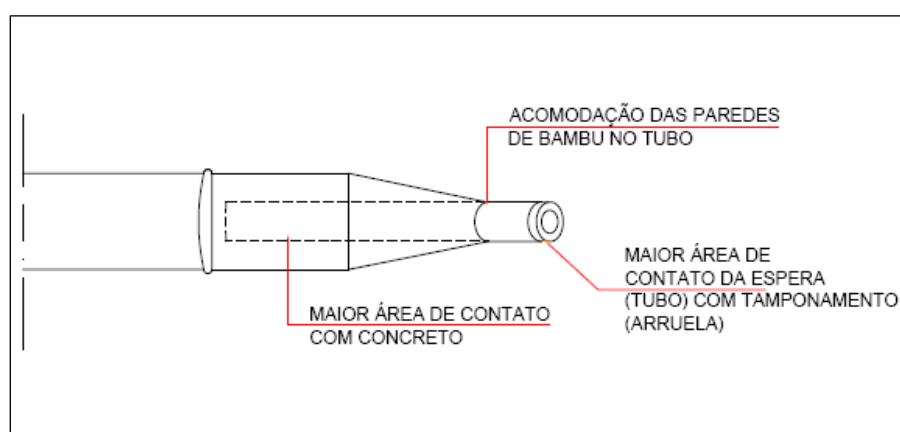


Figura 176 – Espera metálica em forma de tubo

Tubos de aço com medidas comerciais, encontrados facilmente no mercado, foram utilizados como forma de reduzir custos. O de 2" tinha medida próxima à sugerida, com metade do diâmetro médio dos colmos. Para melhoria da resistência ao arrancamento, foram adicionadas grapas na extremidade embutida da espera, por meio de solda ou rosca. Esta melhoria evitou utilizar mais que um internó de enchimento com argamassa, o que aumentaria o peso da conexão, além de tornar desnecessária a retirada do diafragma do bambu, o que diminuiria a resistência do colmo (Figura 177).

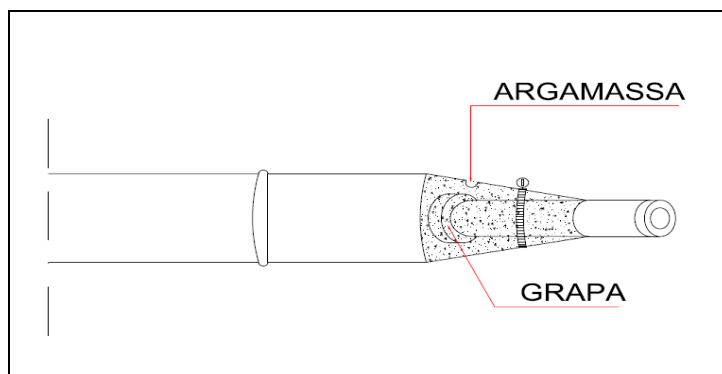


Figura 177 – Instalação de grapas na espera metálica

- **uso de matérias primas usuais no mercado de materiais de construção**

- **rapidez e facilidade para execução da montagem da estrutura**

A utilização de peças pré-moldadas para a montagem da estrutura permitiu grande agilização do processo de execução, barateando os custos de mão-de-obra e de materiais, além de permitir uma possível industrialização na montagem das peças.

- **utilização de mão-de-obra usual para confecção da conexão**

Os serviços de montagem da parte metálica da conexão foram executados em serralherias convencionais, com mão-de-obra usual, sem a necessidade de equipamentos sofisticados.

- **diminuição de furações e respectivo diâmetro para enchimento com argamassa**

A existência de muitos furos para colocação de argamassa fragiliza a peça, assim, evitou-se diâmetros grandes de furação e o aumento no número de furos.

- **especificação de uma argamassa com baixa retração, boa fluidez e alta resistência**

Como solução para o problema de destacamento da argamassa das paredes dos colmos, por retração da argamassa, e uma perfeita aderência da

espera, foi utilizada uma argamassa expansível, de menor retração que as argamassas convencionais e com altas resistências iniciais e finais, tipo Grauth V-1, da Otto Baumgart, para grauteamentos no preenchimento do colmo no qual se realizou a conexão.

Os custos atuais deste material se equipararam às argamassas convencionais, com ganhos na diminuição da retração e dos vazios entre a parede de bambu e a espera, visto que apresenta grande fluidez, podendo ser inclusive, autonivelante. Além disso, houve uma melhoria considerável na resistência final, pela diminuição da proporção de água ao cimento. O fator água/cimento indicado pelo fabricante é de 0,12, para uma resistência à compressão inicial (24 h) de 20 MPa e final (28 dias) de 70 MPa.

3.2 Projeto de uma nova conexão

Como parte integrante do desenvolvimento de uma nova conexão, o projeto foi delineado com o detalhamento dos encaixes e de seu dimensionamento, para montagem de um protótipo (Figura 178).

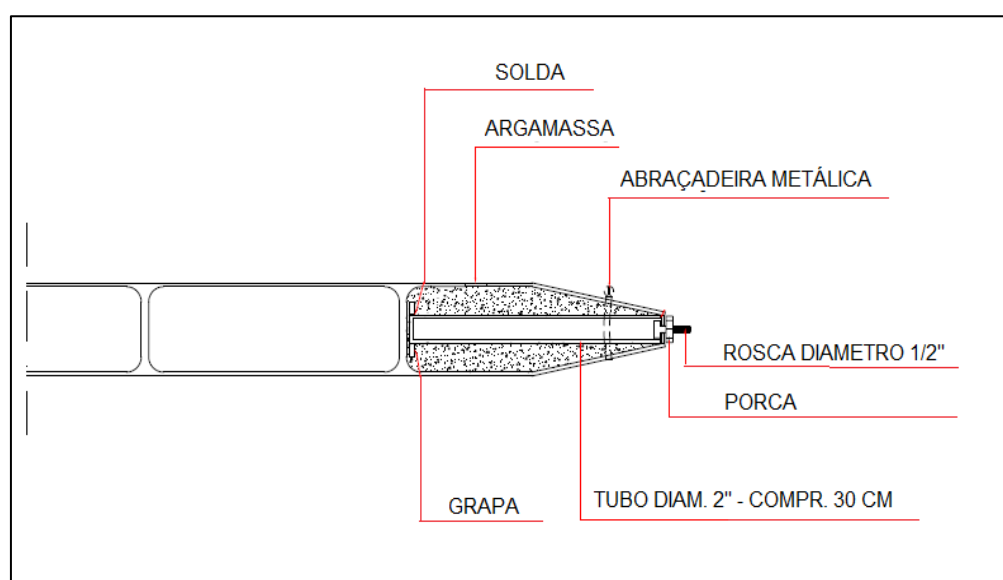


Figura 178 – Projeto da nova conexão

Esta união constitui-se de um tubo metálico oco, inserido e grauteado no último internó do colmo que realizará a conexão; possui uma grapa soldada em sua extremidade posterior e parafuso com porca e pivô na extremidade que faz a ligação com outros elementos, por meio de uma esfera metálica.

A montagem da peça de ligação exigiu a confecção da espera, por serralheiro. Para tal, foi utilizado um tubo metálico de aço carbono, de seção circular para usos estruturais, de 30 cm de comprimento e 2" de diâmetro, classe E. efetuando-se a soldagem de uma grapa metálica, de 8 cm de diâmetro, em uma de suas extremidades e uma arruela de fechamento, de 6 cm, em outra. A peça recebeu pintura prévia, com fundo antioxidante.

Para a ligação da espera com o nó, foi utilizado um parafuso de 1" de diâmetro, pivô e porca, com elemento de vedação de borracha, para evitar a infiltração de água para dentro do tubo da espera, conforme Figura 179.

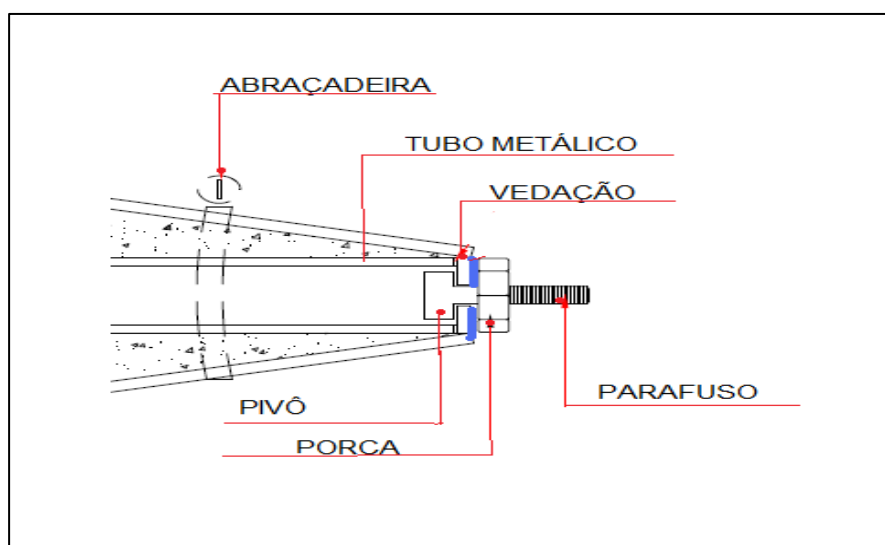


Figura 179 – Detalhe da extremidade da nova conexão

A extremidade do colmo de bambu que recebeu a espera foi limpa, utilizando-se espátula manual, e foram feitos cortes longitudinais, que permitiram o seu afunilamento. Esse tipo de intervenção é simples de ser feita e pode ser realizada em oficinas, no canteiro de obras ou mesmo no campo.

A espera metálica, depois de posicionada no interior do colmo, com sua extremidade alinhada com a terminação do colmo, foi mantida pelo afunilamento das paredes do bambu, por meio de presilhas ou amarrações com cabos de aço.

A perfuração para preenchimento do colmo teve um diâmetro de 2 cm, necessário para injeção de argamassa de grauteamento fluida, sem necessidade de vibração manual ou mecânica. Após o período de cura indicado pelo fabricante, de 24 h, ela pode ser utilizada estruturalmente.

As esferas metálicas, com furações para receber as extremidades das peças de ligação, podem ser fabricadas em tornos mecânicos ou eletrônicos (CMC), e devem ser de alumínio, para garantir a leveza dos projetos estruturais. Por razões práticas e econômicas, as esferas metálicas utilizadas na confecção do protótipo (12 cm) foram fabricadas em tornos mecânicos, em aço, com furações para receberem parafusos de ½” nas extremidades das peças de ligação, com possibilidade de fixação das esperas em vários ângulos diferentes, de acordo com a necessidade dos projetos estruturais (Figuras 180 e 181).

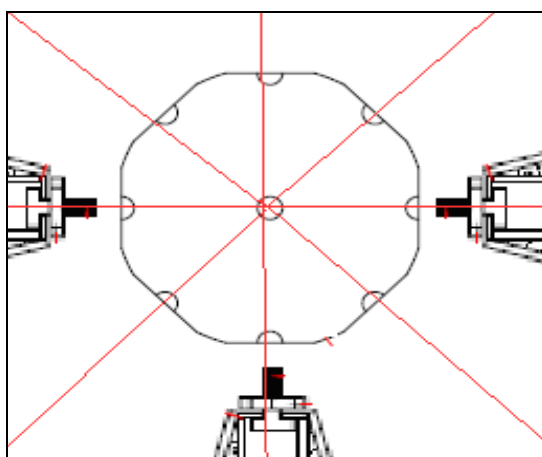


Figura 180 – Esfera metálica para ancoragem das conexões

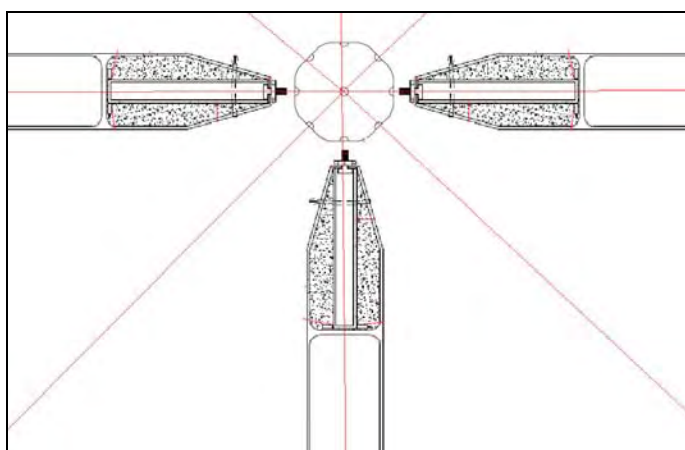


Figura 181– Sistema de união com utilização de tarugo esférico de alumínio

3.3 Protótipo

Foi confeccionado um protótipo, para averiguação do processo de confecção da conexão e conformação final do sistema de ligação, assim como para a análise do comportamento da argamassa de grauteamento quanto ao perfeito preenchimento do colmo e a retração após a cura.

Os colmos de bambu utilizados eram da espécie *Dendrocalamus giganteus*, colhidos da coleção de bambus do Campus da UNESP de Bauru, maduros, com no mínimo quatro anos de idade (para evitar defeitos causados por colapso durante a secagem de colmos jovens), com corte mecânico em serra de bancada, realizado próximo ao nó, resultando em uma peça de aproximadamente 70 cm (Figura 182).



Figura 182 – Corte em serra de bancada, próximo ao nó

Estas peças foram tratadas previamente, com imersão em octaborato de sódio, por 40 minutos, seguindo-se a secagem em local abrigado, por duas semanas (Figura 183).



Figura 183 – Tratamento da peça por imersão

A limpeza do colmo, com a retirada camada interna superficial, foi realizada manualmente, com espátula, no interior do internó que recebeu a espera metálica, aspecto importante para uma boa aderência da argamassa de grauteamento às paredes internas do colmo (Figura 184).



Figura 184 – Limpeza do interior do colmo

Após a limpeza, foram efetuados quatro cortes longitudinais na extremidade do colmo, com 8 cm de comprimento, utilizando-se serra elétrica de bancada, para afinamento e perfeita ancoragem na espera metálica (Figura 185).



Figura 185– Cortes para afunilamento da extremidade da ligação

Os elementos metálicos fixados eram tubos de aço, especificados no projeto da conexão, grauteados nas extremidades do internó dos colmos de bambu que farão a ligação (Figura 186).

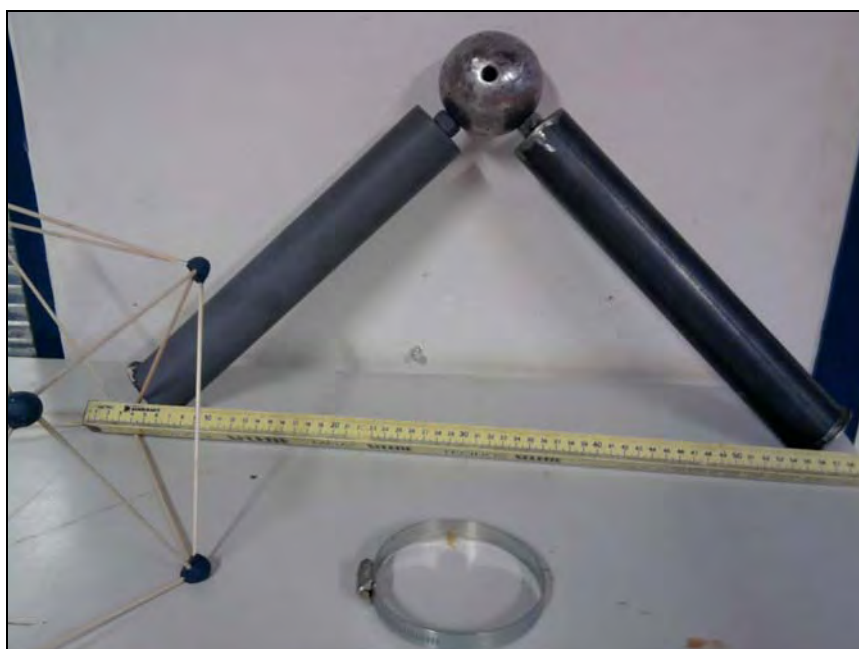


Figura 186 – Tubos metálicos com esfera de ligação

Após a inserção do tubo metálico no interior do colmo, na extremidade de ligação, foram instaladas presilhas metálicas para a fixação da espera e o afunilamento da extremidade do colmo (Figura 187).



Figura 187 – Instalação de presilhas metálicas

A aplicação da argamassa foi feita com auxílio de funil, através de um orifício com diâmetro de 2 cm, efetuado com perfuratriz elétrica manual. As normas de aplicação, preparo do substrato, uso de equipamentos de proteção individual e tempo de cura seguiram o manual do fabricante nas determinações para uso em grauteamentos convencionais. A aplicação provisória de uma fita plástica, nos cortes para afunilamento, evitaram o derramamento de argamassa fluida (Figuras 188 189).



Figura 188 – Conexão com o funil posicionado



Figura 189 – Grauteamento com utilização de funil

As pesquisas tiveram como base de apoio logístico, para fornecimento de insumos materiais e técnicos para seu desenvolvimento, o Laboratório de Experimentação com Bambu do Departamento de Engenharia Mecânica da UNESP, Campus Bauru (Figura 190).



Figura 190 – Protótipo montado

4 PROJETO DE UM ANFITEATRO

A proposta do projeto de um anfiteatro, utilizando a nova conexão na estrutura de cobertura, teve como objetivo demonstrar a praticidade, resistência, leveza e aspecto estético do sistema, assim como evidenciar a facilidade de execução da montagem pré-moldada e os baixos custos de execução da edificação.

O anfiteatro de médio porte foi projetado para atender a um público aproximado de 80 a 100 pessoas, em apresentações de menor porte, que são atualmente realizadas no grande Anfiteatro Guilherme R. Ferraz.

Sua localização está prevista para ser realizada na área do Campus da UNESP de Bauru, em local a ser definido pela Instituição, com área total de 408,00 m². É composto, basicamente, de palco, arquibancada em forma de degraus, rampas de acessibilidade e área de concentração ou Foyer.

A estrutura de cobertura, em arco treliçado, será composta de duas peças longitudinais ou banzo inferiores e uma peça longitudinal ou banzo superior, ligadas entre si por diagonais, compondo uma treliça de grande resistência. Serão utilizadas na sua construção, exclusivamente, peças pré-moldadas de bambu tratado e com acabamento envernizado (ou utilizando-se cera de abelha ou carnaúba, aplicados a fogo), ligadas pela nova conexão por meio das esferas metálicas de alumínio (Figura 191).



Figura 191 – Detalhe da montagem da treliça

Os arcos treliçados serão apoiados no solo, em consoles de concreto armado, em uma extremidade, e em coluna tipo árvore, composta de colmos de bambu sobre pilar de concreto armado, em outra extremidade. Terão distanciamento de 4,00 m entre seus eixos, em número de quatro unidades por arco (Figura 192).

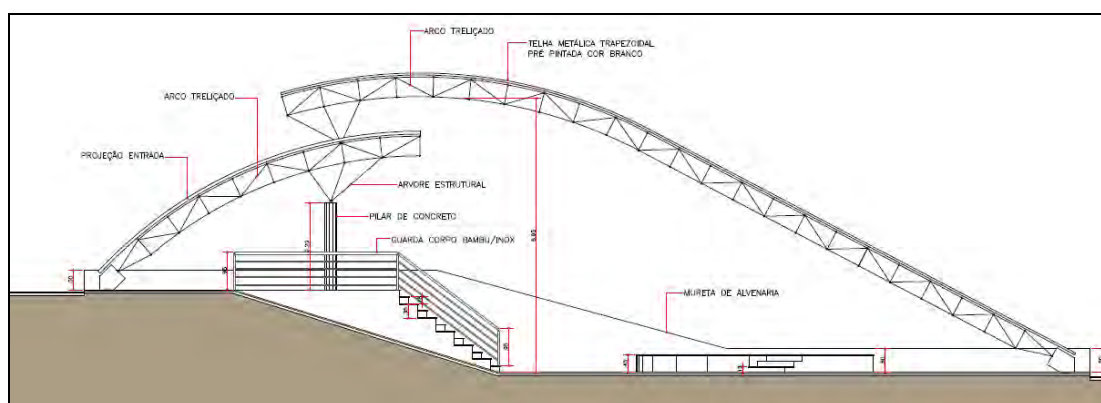


Figura 192 – Corte longitudinal do anfiteatro

Sobre os arcos, com distanciamento de 1,60 m, serão dispostas terças metálicas de perfil retangular, de 2^{1/2}" x 1", sempre apoiadas sobre os nós, vencendo os vãos entre as treliças. As treliças serão revestidas de fundo antioxidante e pintura preto-fosco.

A cobertura será feita com telhas tipo Onduline, na cor verde, que têm uma composição revolucionária: uma monocamada de fibras vegetais, que são impregnadas de betume, pigmentadas para se obter a cor desejada, e revestidas por uma resina especial. Essa resina oferece proteção contra os raios UV, preservando a cor do produto, e impede a escamação da superfície, tão comum nas telhas multicamadas.

As arquibancadas, foyer, palco e rampas de acessibilidade receberão lastro de concreto sobre malha de aço e acabamento desempenado, como revestimento de pisos. As instalações elétricas utilizarão condutores externos, as estruturas para passagem de fiações e as luminárias serão fixadas com presilhas metálicas, sempre próximas aos nós estruturais (Figuras 193 e 194).



Figura 193 – Vista lateral do anfiteatro

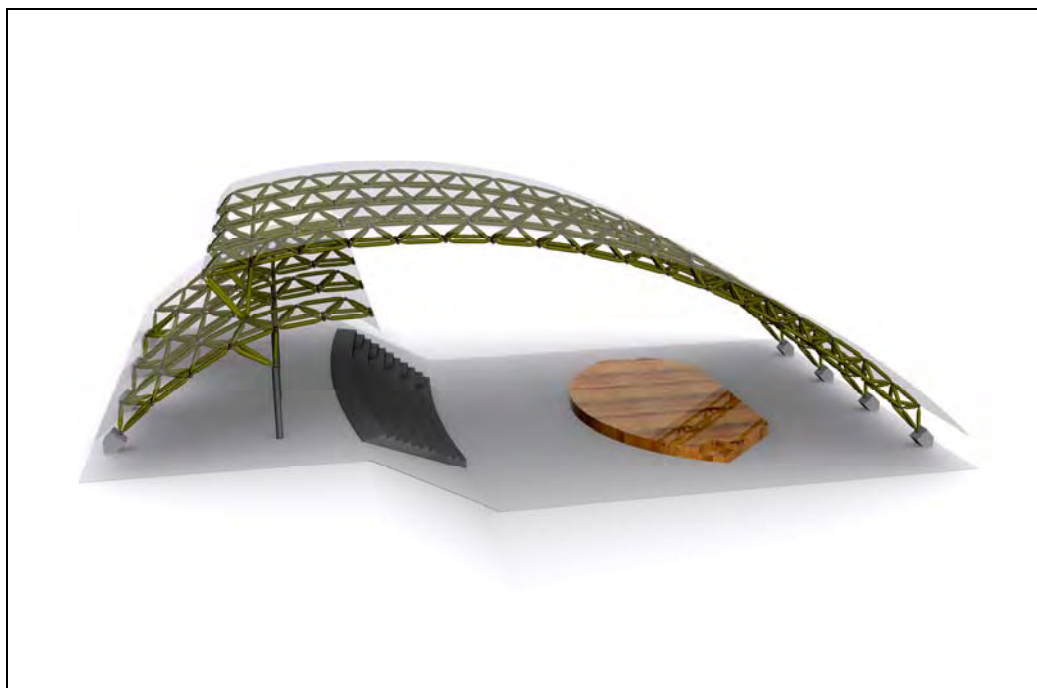


Figura 194 – Vista frontal do anfiteatro

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apresenta-se, a seguir, as considerações finais sobre a dissertação e as sugestões de trabalhos futuros, para potencialização da utilização do bambu na arquitetura e nas conexões de suas peças, com função estrutural.

Como aspectos positivos da utilização do bambu na arquitetura, concluiu-se que o bambu:

- ✓ é um material para construções sustentáveis e renováveis, com baixo consumo de energia para produção e gerando poucos resíduos;
- ✓ é obtido de uma cultura anual, cujas características são a grande rapidez de crescimento e a alta produtividade por hectare, plenamente adaptada aos variados tipos de solo e clima brasileiros;
- ✓ é uma cultura que permite a preservação do meio ambiente, pois protege o solo de erosões e sequestram eficazmente o gás carbônico, presente na atmosfera;
- ✓ possui excelentes características físicas e mecânicas com capacidade estrutural;
- ✓ possibilita a diminuição do consumo de madeiras nativas, especificamente nas estruturas de coberturas, que consomem, atualmente, 50% das madeiras nativas da região amazônica, destinadas à construção civil;
- ✓ tem resultado estético muito agradável e grande leveza, quando utilizado em sua forma natural;
- ✓ possui inúmeras possibilidades de aplicação nas construções, exemplificadas pelos diferentes métodos estudados nesta dissertação: método tradicional, contemporâneo e de substituição parcial ou total dos materiais tradicionais.

Como aspectos positivos na utilização da nova conexão, é possível citar:

- ✓ facilidade e rapidez de montagem das conexões e da estrutura de cobertura, com alto nível de pré-fabricação;

- ✓ facilidade de treinamento da mão-de-obra para montagem das peças e da estrutura;
- ✓ utilização de ferramentas simples para confecção das conexões e da montagem da estrutura;
- ✓ baixo custo da estrutura por metro quadrado, em regiões com disponibilidade de fornecimento de bambu;
- ✓ aspecto estético agradável do bambu e do sistema de ligação;
- ✓ leveza do conjunto, se comparado a um mesmo sistema composto de tubos de aços estruturais;
- ✓ facilidade de adaptação do sistema a diferentes dimensões de colmos.

Como cuidados especiais na utilização da conexão proposta, é preciso atentar para:

- ✓ a execução de projetos estruturais específicos para as diferentes utilizações, com determinação dos dimensionamentos dos colmos de bambu, das conexões e dos demais elementos que compõem a estrutura, como terças, fundações, pilares, entre outros;
- ✓ os projetos que assegurem proteção, das peças de bambu, da água (afastamento do solo, utilização de cobertura das peças e utilização de grandes beiras) e do sol (cobertura das peças e aplicação de revestimento protetor, como verniz com filtro solar);
- ✓ o tratamento das peças de bambu com métodos comprovadamente eficientes, como o sistema Boucherie;
- ✓ a manutenção preventiva, com substituição de eventuais peças danificadas.

Como sugestão para trabalhos futuros, relacionados ao tema desta dissertação, cita-se os seguintes exemplos:

- ✓ ensaios para determinação de valores de resistência da conexão, para utilização em estruturas;
- ✓ normas de projetos, para utilização da conexão em estruturas de cobertura.

REFERÊNCIAS

ADAMSON, M.; LÓPEZ, D. **Socio-Economic Study for the Bamboo Sector in Costa Rica**. INBAR, Working Paper, 38, 2001.

ALBERMANI, F.; GOH, G. Y.; CHAN, S. L. Lightweight bamboo double layer grid system. **Engineering Structures**, v. 29, p.1499–1506, set. 2006. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0141029606003762>>. Acesso em: 27 abr. 2009.

ARCE-VILLALOBOS, Oscar A. **Fundamentals of the design of bamboo structures**. 1993. 261 f. Thesis (Doctor of Technical Sciences) – Eindhoven University of Technology, Eindhoven, 1993.

BARBOSA, J. C. **Utilização do bambu na produção de habitação de interesse social**. 1997. 160f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

BARELLI, B. G. P. **Design para sustentabilidade**: modelo de cadeia produtiva do bambu laminado colado (BLC) e seus produtos. 2009. 131 f. Dissertação (Mestrado em Design) – Faculdade de Arquitetura Artes e Comunicação, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Bauru, 2009.

BAXTER, M. **Projeto de produto**. Guia prático para o design de novos produtos. São Paulo: Edgard Blücher, 2000.

BERALDO, A. L. Bambucreto: o uso do bambu como reforço do concreto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 16., 1987. Jundiaí. **Anais...** Jundiaí: Sociedade Brasileira Engenharia Agrícola, 1987. v. 2, p.521-530.

BERNDSSEN, R. S. **Anatomia do bambu em relação às propriedades mecânicas**. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

BOTERO, L. F. **CD-ROM**: aplicações do bambu na Colômbia. Bogotá, 2005.

BRUNSKILL, W. **Vernacular architecture**: an illustrated handbook. 4th ed. Houston, USA: Faber & Faber, 2000.

CARDOSO JR., R. **Arquitetura com bambu**. 2000. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

CONBAM. **Advanced Bamboo Application**. 6 fotografias, color. Disponível em: <<http://www.conbam.de/>>. Acesso em 19 out. 2009.

CUSSACK, V. **Bamboo world**: the growing and use of clumping bamboos. Sydney: Kangaroo Press, 1999.

DANTAS, A. B.; MILITO, C. M.; LUSTOSA, M. C. J.; TONHOLO, J. **O uso do bambu na construção do desenvolvimento sustentável**. Maceió: Instituto do Bambu, 2005

DUNKELBERG, K. et al. **Bamboo as a building material**. Institute for Lightweight structures (IL) Karl Krömer Verlag Stuttgart. ISBN 3-7828-2031-2 NR. 31. Stuttgart: University of Stuttgart, 1996

EBIOBAMBU. Associação Escola de Bioarquitetura. Centro de Pesquisa e Tecnologia Experimental em Bambu. **Apostila Ebiobambu**. Itatiaia: EBIOBAMBU, 2007.

EXPO 2000. Hannover GmbH. **Super Circle**. Disponível em: <<http://www.versteegde.nl/SuperCircle/D/index.html>> Acesso em: 16 jul. 2009

FERREIRA, G. C. S. **Vigas de concreto armadas com bambu**. 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade de Campinas, Campinas, 2002.

FERREIRA, O. P. (Org.). **Madeira: uso sustentável na construção civil**. São Paulo: IPT, 2003

FILGUEIRAS, T. S.; GONÇALVES, A. P. S. A checklist of the basal grasses and bamboos in Brazil. **Bamboo Science and Culture**, The Journal of the American Bamboo society, v. 18, n. 1, p. 7-18, 2004.

FREIRE, W. J.; BERALDO, A. L. (Coord.) **Tecnologias e materiais alternativos de construção**. Campinas: Editora da Unicamp, 2003.

FUNBAMBU. Fundación del Bambu. **Bambusetum**. Boletim Informativo. Costa Rica, 1992.

GARZON, J ; DIAZ, F. **Optimizacion de estructuras em guadua**. Trabajo estructural de uniones a traccion. Colombia: Universidad Nacional de Colombia, 1996

GHAVAMI, K. Application of bamboo as a low-cost energy material in civil engineering. In: SYMPOSIUM MATERIALS FOR LOW INCOME HOUSING, 3., 1989, Mexico City. **Proceedings...** Mexico: CIB/RILEM, 1989. p.526-536.

GHAVAMI, K.; MARINHO, A. B. Propriedades físicas e mecânicas do colmo inteiro do bambu da espécie *Guadua angustifolia*. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9, n.1, p.107-114, 2005.

GIELIS, J.; OPRINS, J. Identifying new *Fargesia* introductions and predicting their cold tolerance using AFLP markers. In: WORLD BAMBOO CONGRESS, 8., 2008, Rijkevorsel, Belgium. **Proceedings...** Rijkevorsel, Belgium: World Bamboo Organization, 2008. (ISSN 2150-1165)

GOMIDE, J. L.; COLODETTE, L. J.; OLIVEIRA, R. C. **Estudos das potencialidades do *Bambusa vulgaris* para produção de painéis tipo Kraft**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1988.

HOEPERS, C. E. **Aeroporto de Madri**. 2007. 1 fotografia, color. Disponível em: <<http://www.flickr.com/photos/ehoepers/1187535367/>>. Acesso em: 19 out. 2009.

ICBO. **Ac 162**: acceptance criteria for structural bamboo. California: ICBO Evaluation Service, 2000.

INBAR. The International Network on Bamboo and Rattan. **Priority species of bamboo and rattan**. New Delhi, India: INBAR-IDRC, 1994.

INBAR. The International Network on Bamboo and Rattan. **International model building code for bamboo**. Jan. 1999.

INBAR. International Network for Bamboo and Rattan. **Una casa realmente asequible para los pobres**. INBAR 2/2001-3. Disponível em: <<http://www.inbar.int>>. Acesso em: 15 ago. 2009.

INTERNATIONAL CONFERENCE BUILDINGS AND THE ENVIRONMENT, 2., 1997, Paris. **Proceedings...** Paris: CIB Task Group 8; Environmental Assessment of Buildings, 1997.

JANSSEN, J. J. A. Designing and building with bamboo. In: INTERNATIONAL NETWORK FOR BAMBOO AND RATTAN (INBAR). **Technical report. n. 20**. Beijing, China. 2000.

JAYANETTI, D. L.; FOLLETT, P. R. **Bamboo in construction**: an introduction. Ed. International Network for Bamboo and Rattan (INBAR). Colombia: TRADA Technology Limited, Department for International, Development (DFID), 1998.

KAMEGASAWA, A. M. Y. **Aplicações do bambu como material construtivo, com ênfase na fabricação de pisos**. 2004. 124f. Dissertação (Mestrado em Habitação: Planejamento e Tecnologia) – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, São Paulo, 2004.

KOOLBAMBOO. **Bamboo Poles Kit & Custom Structures Building Materials Furniture**. 2 fotografias, color. Disponível em: <<http://www.koolbamboo.com/guadua-tech.htm>>. Acesso em: 21 out. 2009.

Kurozumi, N. **National Museum of Art, Osaka**. 2004. 1 fotografia, color. Disponível em: <<http://www.arcspace.com/architects/pelli/nma.html>>. Acesso em: 19 mar. 2009

LIESE, W. Anatomy of bamboo. Bamboo research in Asia. In: WORKSHOP HEALD IN SINGAPORE. 1980. Singapore. **Proceedings...** Singapore: Gilles Lessard May 1980.

LIESE, W. The structure of bamboo in relation to its properties and utilization. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON INDUSTRIAL USE OF BAMBOO.1992. Beijing, China. **Proceedings...** Beijing, 1992. p. 95-100.

LIESE, W. The anatomy of bamboo culms. In: INTERNATIONAL NETWORK FOR BAMBOO AND RATTAN (INBAR). 1998. China. **Technical Report 20**. China, 1998. 4p

LIMA JUNIOR, H. C.; BARBOSA, N. P.; GHAVAMI, K. Comportamento em serviço de lajes de concreto reforçadas com bambu. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRAS, 5. 1995. Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte, 1995.

LIU, J. **Bamboo house**: tropical loft in the rainforests. Residential house. China Blog. 13 July 2009. Disponível em: <<http://chinablog.cc/2009/07/bamboo-house-tropical-loft-in-the-rainforests/>>. Acesso em: 14 jun. 2009.

LÓPEZ, O. H. **Manual de construcción con bambú**. Estudos Técnicos Colombianos Ed. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, Centro de Investigación de Bambu y Madera – CIBAM, 1974.

LÓPEZ, O. H. **Bamboo, the gifts of the gods**. Colombia, Bogota: D'vinni Ltda, 2003.

LUCIUS, A. **Palace Viceroy Amat**. Lima, Peru: Photographers Direct, 2003. Disponível em : <<http://www.photographersdirect.com/stockimages/p/perricholi.asp>>. Acesso em: 27 jan. 2009.

MANZINI, E.; VEZZOLI, C. **O desenvolvimento de produtos sustentáveis: os requisitos ambientais dos produtos industriais**. São Paulo: Edusp, 2002.

MARÇAL, V. H. S. **Uso do bambu na construção civil**. 2008. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil) – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2008

MARQUEZ, F. L. **Arquitetura em bambu**: técnicas construtivas na utilização do bambu como material arquetônico. Relatório PIBIC. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Mackenzie, 2006.

MIGLIARI, A. C. Dados preliminares comparativos do eucalipto e bambu. Exploração dos sub-produtos do bambu, carvão e vinagre. In: CONFERÊNCIA FEDERAÇÃO DAS ASSOCIAÇÕES DE RECUPERAÇÃO FLORESTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. 2000. São Paulo. **Resumos...** São Paulo, 2000.

MOIZÉS, F. A. **Painéis de bambu, uso e aplicações**: uma experiência didática nos cursos de Design em Bauru, São Paulo. 2007. 113f. Dissertação (Mestrado em Desenho Industrial) – Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação, Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2007.

MORÁN, J. A. Traditional bamboo preservation methods in Latin America. In: INTERNATIONAL NETWORK FOR BAMBOO AND RATTAN (INBAR). **Techn. Rep. 25**. 2003. 70 p

MORISCO, A; MARJONO, F. Filled bamboo joint strength. In: INTERNATIONAL BAMBOO WORKSHOP, 5., 1995. Bali. **Proceedings...** Bali, 1995. p. 113-120.

NMBA. NATIONAL MISSION ON BAMBOO APLICATIONS. Technology, information, Forecasting and Assessment Council (TIFAC). **Partes do bambu**. Ilustração. Nova Deli: Government of India, 2004. 56 p.

OBERMANN, T. M.; LAUDE, R. **Bambu: recurso sostenible para estructuras espaciales**. Medellín: Universidad Nacional de Colômbia, 2008.

OLIVEIRA, A. R. Centro Cultural Jean Marie Tjibaou em Nouméa. Renzo Piano e a construção de um símbolo da civilização *kanak*. **Portal Vitruvius**. 2005. Disponível em: <http://www.arquitextos.com.br/arquitextos/arq063/arq063_01.asp>. Acesso em: 12 out. 2009.

PEREIRA, M. A. R.; BERALDO, A. L. **Bambu de corpo e alma**. Bauru: Canal 6, 2007.

PEREIRA, M. A. R.; PEREIRA NETO, M. R. Projeto bambu: introdução de espécies prioritárias. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA – CONBEA, 25.; CONGRESSO LATINOAMERICANO DE INGENIERIA AGRÍCOLA, 2. 1996. Bauru. **Anais...** Bauru: UNESP, 1996.

ROCCO DESIGN ARCHITECTS. **Institucional Project Festival of vision summer 2000**. 1 fotografia, color. Disponível em: <<http://www.roccodesign.com.hk>>. Acesso em: 26 set. 2009.

RWTH AACHEN. **Modern bamboo architecture**. 5 fotografias, color. Disponível em: <<http://bambus.rwth-aachen.de/eng/index.html>>. Acesso em: 21 nov. 2009

SALGADO, A. L. B.; AZZINI, A.; CIARAMELLO, D.; MACEDO, E. L.; SALGADO, A. L. Instruções técnicas sobre o bambu. **Boletim Técnico**. Instituto Agrônômico de Campinas, Campinas, São Paulo. Maio, 1994. 44 p.

SOBRAL, L. et. al. **Acertando o alvo 2: consumo de madeira amazônica e certificação florestal no Estado de São Paulo**. Belém: Imazon, 2002. 72p.

STAMM, J. La evolución de los métodos constructivos en bambú. In: CONGRESO MEXICANO DEL BAMBÚ, 2. 2007. Puebla. **Anais...** Puebla, México, 2007.

STRAATMAN, R. **Rice (paddi) houses**. Toradja (Celebes). Sulawesi, Indonesia. California Academy of Sciences. 2006. Disponível em: <<http://calphotos.berkeley.edu>>. Acesso em: 27 abr. 2009.

TÉCHNE. A Revista do Engenheiro Civil. Construções de bambu. PINI, Técnica 108, mar. 2006.

TOLEDO FILHO, R. D.; BARBOSA, N. P. Aplicação do bambu e de fibras naturais nas construções rurais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA - CONBEA, 19., 1990 Piracicaba. **Anais...** Piracicaba, 1990. p.81-91.

VÉLEZ, S. **Construction with Bamboo**. Modern bamboo architecture. 2002. Disponível em: <<http://www.koolbamboo.com/Modern%20bamboo%20architecture.pdf>>. Acesso em: 23 mar. 2009.

VILEGAS, M. Constucciones. **Pabelon**. 2009. 1 fotografia, color. Disponível em: <<http://www.marcelovilegas.com/espanol/pabellon03.htm>>. Acesso em: 1 jun. 2009.

WIDYOWIJATNOKO, A.; TRAUTZ, M. Conventional vs. substitutive bamboo construction: the classification of bamboo construction. In: WORLD BAMBOO CONGRESS, 8., 2008, Rijkevorsel, Belgium. **Proceedings...** Rijkevorsel, Belgium: World Bamboo Organization, 2008. (ISSN 2150-1165).

YOH, S. **Gratting Shell**. 1994. 1 fotografia, color. Disponível em: <<http://www.shoeyoh.com>>. Acesso em: 19 out. 2009.

ANEXOS