



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO

ANÁLISE COMPARATIVA DE NORMAS
TÉCNICAS INTERNACIONAIS PARA O EMPREGO DO BAMBU –
COLMO EM ESTRUTURAS PREDIAIS

VITOR HUGO SILVA MARÇAL
Engenheiro Civil

Dissertação apresentada ao programa de Pós-graduação – Curso de mestrado da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília como parte dos requisitos necessários à obtenção do Grau de Mestre em Arquitetura e Urbanismo, área de concentração em Tecnologia.

Orientador: Prof. PhD. Jaime Gonçalves de Almeida

Coorientador: Prof. PhD. Julio Eustaquio de Melo

BRASÍLIA/DF: JULHO – 2018

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO

ANÁLISE COMPARATIVA DE NORMAS
TÉCNICAS INTERNACIONAIS PARA O EMPREGO DO BAMBU –
COLMO EM ESTRUTURAS PREDIAIS

VITOR HUGO SILVA MARÇAL
Engenheiro Civil

Dissertação apresentada ao programa de Pós-graduação – Curso de mestrado da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília como parte dos requisitos necessários à obtenção do Grau de Mestre em Arquitetura e Urbanismo, área de concentração em Tecnologia.

APROVADA POR:

Jaime Gonçalves de Almeida, Doutor (FAU - UnB)
(ORIENTADOR)

Julio Eustaquio de Melo, Doutor (FAU-UnB)
(CO-ORIENTADOR)

Vanda Alice Garcia Zaroni, Doutora (FAU - UnB)
(EXAMINADOR INTERNO)

Divino Eterno Teixeira, Doutor (LPF - IBAMA)
(EXAMINADOR EXTERNO)

DATA: BRASÍLIA/DF, 31 de JULHO de 2018.

FICHA CATALOGRÁFICA

MARÇAL, VITOR HUGO SILVA

Análise comparativa de Normas Técnicas Internacionais para o emprego do bambu – colmo em estruturas prediais

[Distrito Federal] 2018.

xviii, 178p., 210 x 297 mm (PPG-FAU/UnB, Mestre, Arquitetura e Urbanismo, 2018).

Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo.

Faculdade de Arquitetura e Urbanismo.

1. Bambu

2. Normas Técnicas

3. Construção sustentável

4. Construção Bambu

I. FAU/UnB

II. Título (série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

MARÇAL, V. H. S. (2018). Análise comparativa de Normas Técnicas Internacionais para o emprego do bambu – colmo em estruturas prediais. Dissertação de Mestrado em Arquitetura e Urbanismo. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 178p.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Vitor Hugo Silva Marçal

TÍTULO: Análise comparativa de Normas Técnicas Internacionais para o emprego do bambu – colmo em estruturas prediais

GRAU: Mestre ANO: 2018

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte dessa dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

Vitor Hugo Silva Marçal

Lago Norte, QI 02

71.510-140 Lago Norte – DF - Brasil

e-mail: vitor_vhsm@hotmail.com

AGRADECIMENTOS

A DEUS...

A minha esposa e filha...

Ao meus pais...

Ao meu orientador e coorientador

Ao programa de bolsas CAPES...

Aos professores do PPG....

Ao Bambu...

“O futuro tem muitos nomes. Para os fracos é o inalcançável. Para os temerosos, o desconhecido. Para os valentes é a oportunidade”.

Victor Hugo

RESUMO

O uso do bambu em sistemas construtivos é realidade em diversos países, apresentando diferentes tipos e tamanhos de estruturas prediais. Alguns países possuem normas técnicas que oferecem orientações e recomendações para a produção do material de construção bambu - colmo, para o projeto e confecção das conexões, e para o correto dimensionamento e posicionamento dos colmos de bambu para um adequado projeto estrutural. Devido a inexistência de normas nacionais para utilização do bambu, essas normas internacionais foram analisadas e traduzidas, de forma a facilitar um melhor entendimento das mesmas. Separando as informações selecionadas de forma a melhor apresentá-las, referenciando assim, informações sobre o uso do bambu em estruturas. Também é apresentada a construção de um protótipo, de uma construção de bambu e suas etapas, apresentando um cenário real de construção com bambu, suas dificuldades e detalhes construtivos. Resultando em uma dissertação onde os interessados em utilizar o bambu de forma estrutural possam buscar informações normatizadas internacionalmente. As normas estudadas podem ser utilizadas para um melhor desenvolvimento de estruturas prediais com bambu. A norma Equatoriana se mostrou a mais completa e compatível com a realidade de aproveitamento do bambu no Brasil.

ABSTRACT

The use of bamboo in construction systems is a reality in several countries, that presents different types and sizes of building structures. Some countries have technical standards that provide guidelines and recommendations for the production of bamboo construction material for the design and construction of connections, and for the correct sizing and positioning of bamboo culms for an adequate structural design. Due to the lack of national standards for the use of bamboo, these international standards have been analyzed and translated in order to facilitate a better understanding, separating the selected information in a way to better presentation, thus referencing information on the use of bamboo in structures. In addition it is also presented a construction of a prototype, a bamboo construction and its stages, presenting a real bamboo construction scenario, its difficulties and constructive details. Resulting in a dissertation where those interested in using bamboo in structures can seek internationally standardized information. The norms studied can be used for a better development of building structures with bamboo. The Ecuadorian standard proved to be the most complete and compatible with the reality of the use of bamboo in Brazil.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	i
LISTA DE TABELAS	vii
INTRODUÇÃO.....	1
OBJETIVOS.....	4
CAPITULO I – REVISÃO DE LITERATURA	9
1. BAMBU: A PLANTA.....	9
1.1 Bambu	9
1.2 Anatomia do Bambu.....	10
1.3 Desenvolvimento (produtividade) do bambu	14
1.4 Bambu <i>Guadua angustifolia</i>	15
1.5 Bambu <i>Dendrocalamus asper</i>	17
1.6 Aproveitamento do bambu pelo homem	19
1.7 Aproveitamento sustentável do Bambu.....	22
2. BAMBU: ELEMENTO ESTRUTURAL.....	23
2.1 Sistemas estruturais com Bambu.....	23
2.2 Normas de construção com Bambu.....	32
3. SINTESE DO CAPITULO I - POTENCIAL DE APROVEITAMENTO DO BAMBU - COLMO EM ESTRUTURAS PREDIAIS	39
CAPITULO II – APRESENTAÇÃO DAS INFORMAÇÕES ESTUDADAS SOBRE AS NORMAS	44
4. ORIENTAÇÕES PARA ENSAIOS LABORATORIAIS.....	44
4.1 Norma Indiana.....	44
4.2 Norma Internacional ISO	49
5. RECOMENDAÇÕES DE PRODUÇÃO DE BAMBU - COLMO PARA USO ESTRUTURAL	56
5.1 Norma Indiana.....	56
5.2 Norma Internacional ISO	56
5.3 Norma Colombiana NSR - 10	56
5.4 Norma Peruana NTE E.100.....	57
5.5 Norma Equatoriana	58
6. RECOMENDAÇÕES SOBRE PRESERVAÇÃO DO BAMBU - COLMO PARA USO ESTRUTURAL	60
6.1 Norma Indiana.....	60
6.2 Norma Internacional ISO	60
6.3 Norma Colombiana NSR - 10	60

6.4	Norma Equatoriana	61
7.	RECOMENDAÇÕES DE SECAGEM, TRANSPORTE E ARMAZENAGEM PARA BAMBU - COLMO DE USO ESTRUTURAL	66
7.1	Norma Colombiana NSR - 10	66
7.2	Norma Equatoriana	68
8.	ORIENTAÇÕES PARA PROJETO E EXECUÇÃO DE ESTRUTURAS DE BAMBU	72
8.1	Norma Indiana.....	72
8.2	Norma Internacional ISO	73
8.3	Norma Colombiana NSR – 10	77
8.4	Norma Peruana NTE E.100.....	78
8.5	Norma Equatoriana	79
9.	ORIENTAÇÕES PARA SISTEMAS CONECTIVOS	82
9.1	Norma Indiana.....	82
9.2	Norma Internacional ISO	83
9.3	Norma Colombiana NSR - 10	83
9.4	Norma Peruana NTE E.100.....	85
9.5	Norma Equatoriana	90
10.	ORIENTAÇÕES PARA VEDAÇÕES ESTRUTURAIS COM BAMBU	94
10.1	Norma Peruana NTE E.100.....	94
10.2	Norma Equatoriana	98
11.	ORIENTAÇÕES PARA VIGAS E LAJES EM ESTRUTURAS DE BAMBU 101	
11.1	Norma Colombiana NSR – 10	101
11.2	Norma Peruana NTE E.100.....	102
11.3	Norma Equatoriana	104
12.	ORIENTAÇÕES PARA LIGAÇÃO ENTRE A ESTRUTURA DE BAMBU E A FUNDAÇÃO	105
12.1	Norma Peruana NTE E.100.....	105
12.2	Norma Equatoriana	107
13.	ORIENTAÇÕES PARA CÁLCULO ESTRUTURAL	111
13.1	Recomendações das Normas Estudadas.....	111
13.2	Flexão estática	124
13.3	Cisalhamento paralelo às fibras.....	133
13.4	Tração paralela às fibras.....	136
13.5	Compressão paralela às fibras	137

13.6	Orientações para cálculo de uniões	144
14.	SÍNTESE DO CAPÍTULO II – NORMAS INTERNACIONAIS	147
CAPITULO III – CONSTRUÇÃO DE UM PROTÓTIPO		150
15.	ESTRUTURA DE BAMBU	150
15.1	Modelo arquitetônico	151
15.2	Processo executivo para a construção da estrutura de bambu.....	152
15.3	Escolha do bambu a ser utilizado na obra.	154
16.	PROCESSOS CONSTRUTIVOS.....	157
16.1	Fundação	157
16.2	Estrutura	158
16.3	Cobertura.....	165
17.	SÍNTESE DO CAPÍTULO III – OBRA FINALIZADA.....	167
CAPITULO IV – CONSIDERAÇÕES FINAIS		169
18.	CONCLUSÃO	169
19.	RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	171
20.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	173
21.	ENDEREÇOS ELETRÔNICOS.....	177

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Figura 1a: Floresta de bambu <i>Phyllostachys pubescens</i> na China. Figura 1b: Touceiras de bambu <i>Dendrocalamus asper</i> em Bauru. Figura 1c: Diferentes cores e formas de bambus. Fotos: Autor (2011).	9
Figura 2 - Figura 2a: Brotos de <i>D. asper</i> em crescimento. Figura 2b: Colmos jovens de <i>D. asper</i> . Figura 2c: Touceira de <i>D. asper</i> manejada com 17 anos de plantada. Fotos: Autor (2012).	10
Figura 3 - Figura 3a: Touceira de <i>D. asper</i> . Figura 3b: Colmo de <i>D. asper</i> aberto. Foto: Autor (2010). Figura 3c: Seção de um colmo de bambu e suas denominações. Fonte: Pereira (2008).	11
Figura 4 - Figura 4a: Corte transversal do colmo de bambu <i>Phyllostachys</i> . Fonte: Pinterest (Endereços eletrônicos). Figura 4b: Corte transversal do colmo de bambu <i>Dendroclamus asper</i> . Fotos: Autor (2008). Figura 4c: Distribuição dos feixes vasculares na região nodal. Fonte: Liese (1998).	11
Figura 5 – Figura 5a: Mudanças na estrutura do feixe vascular no 6°, 10°, 14° e 18° entrenós ao longo da altura do colmo de <i>Oxytenanthera nigrociliata</i> . Fonte: Lopes (2003), adaptado. Figura 5b: – Extensão da parede do colmo de <i>Dendrocalamus asper</i> nas três alturas. Fonte: Prates (2013).	13
Figura 6 - Figura 6a: Corte perpendicular do colmo do bambu. Foto: Autor (2017). Figura 6b: Aumento da densidade de feixes de fibras na parede do bambu. Fonte: Liese (1998).	14
Figura 7 - Evolução esquemática do desenvolvimento do bambu <i>Dendrocalamus asper</i> a partir de uma muda. Fotos: Autor (2016).	15
Figura 8 - Florestas nativas de <i>Guadua angustifolia</i> na Colômbia. Fotos: Autor (2010).	16
Figura 9 - Figura 9a: Gema do nó. Figura 9b: Crescimento das gemas laterais. Figura 9c: Espinho da <i>guadua</i> . Figura 9d: Ramas laterais da <i>guadua</i> . Fotos: Autor (2010).	17
Figura 10 - Touceiras de bambu <i>Dendrocalamus asper</i> . Fotos: Autor (2012).	17
Figura 11 - Demonstração dos usos do bambu na china antiga. Museu do bambu em Anji na China. Foto: Autor (2011).	20
Figura 12 - Figura 12a: Carregador com cadeira de bambu (Desenho de Ferdinandu). Figura 12b: Casa de Bambu (Desenho de Neuville). Figura 12c: Ponte de Bambu (Desenho de Riou). Geografia Pintoresca da Colômbia de 1869. Fonte: Lopez (2003).	21
Figura 13 – Figura 13a: Ponte de bambu sobre o “Tjipaït Tjitaroem Preanger” em 1893, West Java, Indonésia. Figura 13b: Ponte de bambu em “Preanger Regencies” em 1902, West Java, Indonésia. Fonte: Autor desconhecido.	25
Figura 14 - Conquistadores espanhóis atacando um forte indígena. Fonte: Lopes (2003).	25
Figura 15 - Casas construídas com bambu em favelas e áreas rurais da Colômbia. Fotos: Autor (2015).	27

Figura 16 - Figura 16a: Pavilhão do pensamento, Manezales, Colômbia (Arq. Simon Velez). Figura 16b: Estrutura de bambu na “La Pequeña granja da Mamá Lulu”, Quindio, Colômbia. Fotos: Autor (2010).	28
Figura 17 - Estruturas de bambu em Bali. Fonte: http://qz.com/367284/spectacular-bamboo-architecture/	29
Figura 18 - Estrutura de concreto armado, estrutura da cobertura de bambu e telhas cerâmicas, na Colômbia. Foto: Autor (2010).	29
Figura 19 - Figura 19a: Ripas produzidas com faca radial. Figura 19b: Ripas produzidas com faca radial automatizada. Fonte: Lopez (2003). Figura 19c: Abertura do colmo com serra circular de bancada. Foto: Autor (2016).	30
Figura 20 - Estrutura com bambu cilíndrico e ripas de bambu realizada durante o curso de Jorg Stamm, Colômbia (2010). Foto: Autor (2010).	30
Figura 21 - Diversos tipos de laminados de bambu produzidos na China. Foto: Autor (2011).	32
Figura 22 - Normatizações sobre bambu em ordem cronológica. Fonte: Autor (2017). 34	
Figura 23 - Estruturas de bambu na Colômbia. Fotos: Autor (2010).	40
Figura 24 – Figura 24a: Fábrica de chocolate construída em Bali. Figura 24b: Estrutura desconhecida. Figura 24c: Pavilhão de bambu na Expo Shanghai. Fonte: Internet (Endereços eletrônicos).	41
Figura 25 - Figura 25a- Centro de Cultura Max Feffer, Pardinhas/ SP. Figura 25b e 25c- Estruturas de bambu desenvolvidas pela arquiteta Celina Llerena, Mauá/ RJ. Fotos: Autor (2011).	41
Figura 26 - Figura 26a: Plantio comercial de bambu. Figura 26b: Tratamento por submersão. Fonte: autor desconhecido. Figura 26c: Secagem em pátio. Figura 26d: Armazenagem e secagem. Fotos: Autor (2010-2014).	43
Figura 27 - Figura 27a - Pontos de medição de diâmetro e espessura da parede da amostra de bambu. Figura 27b - Método de aplicação de carga e suporte de apoio para teste de flexão. Fonte: IS 6874 (2008).	45
Figura 28 – Dimensões do corpo de prova para teste a tração. Fonte: IS 6874 (2008).. 47	
Figura 29 - Apoios para o ensaio de cisalhamento. Fonte: IS 6874 (2008).	48
Figura 30 - Preservação por <i>avinagrado</i> . Fonte: Lopez (2003) adaptado.	62
Figura 31 - Figura 31a: Perfuração dos diafragmas. Figura 31b: Limpeza de colmos de bambu com hidro lavadora. Fotos: Autor (2010). Figura 31c: Tanque de tratamento por submersão. Foto: Autor desconhecido.	63
Figura 32 - Posicionamento dos colmos após a preservação para escoamento do líquido preservativo (Empresa Induguadua, Colômbia). Fotos: Autor (2014).	64
Figura 33 - Sistema de tratamento pelo método Boucherie. Fonte: Lopez (2003) adaptado.	65
Figura 34 - Figura 34a: Estação de tratamento por difusão vertical na Colômbia. Foto: Autor (2010). Figura 34b: Desenho esquemático para estação de tratamento por difusão vertical. Fonte: EBF (2003) adaptado.	66

Figura 35 - Carregamento de colmos de bambu no pátio da empresa Induguadua na Colômbia. Foto: Autor (2010).	67
Figura 36 - Estoque de colmos de bambu na Colômbia. Foto: Autor (2010).....	68
Figura 37 – Secagem ao ambiente de colmos de bambu na Colômbia. Fotos: Autor (2010).	69
Figura 38 - Forno de secagem da empresa Induguadua na Colômbia. Foto: Autor (2010).	70
Figura 39 - Processo de secagem por injeção de ar quente realizado por Jorge Stamm na Colômbia. Foto: Autor (2010).....	71
Figura 40 - Processo de secagem solar passiva na Colômbia. Foto: Autor (2010).	71
Figura 41 - Estoque de colmos de bambu da empresa Induguadua na Colômbia. Fotos: Autor (2014).	72
Figura 42 - Coluna composta por 7 colmos que suportam vigas duplas transversais. Fonte: Norma Equatoriana (2017) adaptada.	81
Figura 43 - Figura 43a: Corte reto. Figura 43b: Corte boca de pescada. Figura 43c: Corte bico de flauta. Fonte: Norma colombiana NSR-10 (2010).....	84
Figura 44 - Abraçadeiras metálicas em estruturas de bambu. Fonte: Norma colombiana NSR-10 (2010).	85
Figura 45 - Uniões cintadas e amarradas para bambu. Fonte: Norma peruana NTE.100 (2012) adaptada.	86
Figura 46 - Uniões entre bambus com parafuso e tarugo. Fonte: Norma peruana NTE.100 (2012) adaptada.	86
Figura 47 - União entre bambus e preenchimento com argamassa. Fonte: Norma peruana NTE.100 (2012) adaptada.....	87
Figura 48 - União longitudinal de 2 peças de bambu com peça de madeira. Fonte: Norma peruana NTE.100 (2012) adaptada.	88
Figura 49 - União longitudinal de 2 peças de bambu com 2 chapas metálicas. Fonte: Norma peruana NTE.100 (2012) adaptada.....	88
Figura 50 - União longitudinal de 2 peças de bambu com 2 pedaços externos de bambu. Fonte: Norma peruana NTE.100 (2012) adaptada.....	89
Figura 51 – Figura 51a: União perpendicular com parafuso. Figura 51b: União diagonal de 2 peças de bambu. Fonte: Norma peruana NTE.100 (2012) adaptada.	89
Figura 52 - União diagonal com bambu de apoio. Fonte: Norma peruana NTE.100 (2012) adaptada.	90
Figura 53 - União perpendicular 90° entre colmos de bambu. Fonte: Norma equatoriana (2017) adaptada.	92
Figura 54 - União perpendicular com disco e meia cana metálicos. Fonte: Norma equatoriana (2017) adaptada.....	93
Figura 55 - União diagonal com bambu e apoio. Fonte: Norma equatoriana (2017) adaptada.	94

Figura 56 - Distância máxima até os nós para cortes de uniões em paredes estruturais de bambu. Fonte: Norma peruana NTE.100 (2012) adaptada.....	96
Figura 57 - Paredes estruturais de bambu e madeira. Fonte: Norma peruana NTE.100 (2012) adaptada.	96
Figura 58 - Ligação entre paredes estruturais de bambu. Fonte: Norma peruana NTE E.100 (2012) adaptada.	97
Figura 59 - Painel com estrutura de colmos de GaK. Fonte: Norma Equatoriana (2017) adaptada.	99
Figura 60 - Recobrimento de Painéis estruturais com ripas de bambu. Fonte: Norma Equatoriana (2017) adaptada.	100
Figura 61 - Vigas compostas por colmos de bambu no mesmo eixo. Fonte: Norma peruana NTE E.100 (2012).	102
Figura 62 - Vigas compostas por colmos de bambu em diferentes eixos. Fonte: Norma peruana NTE E.100 (2012).....	103
Figura 63 - Laje de bambu. Fonte: Norma peruana NTE E.100 (2012) adaptada.	104
Figura 64 - Viga composta de colmos no mesmo eixo. Fonte: Norma Equatoriana (2017).	105
Figura 65 - Figura 65a - Ligação interna coluna fundação. Figura 65b - Ligação externa coluna fundação. Fonte: Norma peruana NTE E.100 (2012) adaptada.....	106
Figura 66 - Fixação parede estrutural de bambu e viga da fundação. Fonte: Norma peruana NTE E.100 (2012) adaptada.	107
Figura 67 - Proteção da estrutura de bambu contra escoamento de água. Fonte: Norma Equatoriana (2017) adaptada.	108
Figura 68 - Proteção das guaduas por elevação de apoio do solo. Fonte: Norma Equatoriana (2017) adaptada.	109
Figura 69 - Exemplo de fixação da estrutura com barras de ferro ou aço. Fonte: Norma Equatoriana (2017) adaptada.	110
Figura 70 - Exemplo de fixação da estrutura com chapas metálicas. Fonte: Norma Equatoriana (2017) adaptada.	111
Figura 71 – Local recomendado para medições de diâmetro e espessura de colmos de bambu. Fonte: autor (2017).	115
Figura 72 - Exemplo de seção composta. Fonte: Norma colombiana NSR-10 (2010).	128
Figura 73 – Quadro de módulos de seção para algumas vigas compostas. Fonte: Norma colombiana NSR-10 (2010).....	130
Figura 74 - Detalhe de conectores em seções compostas. Fonte: Norma peruana NTE.100 (2012).	133
Figura 75 - Detalhe de conectores em seção composta. Fonte: Norma colombiana NSR-10 (2010).	135
Figura 76 - Carga P para forças de cisalhamento na união entre guaduas. Fonte: Norma colombiana NSR-10 (2010).....	144

Figura 77 - Carga Q para forças de cisalhamento perpendicular as fibras de guadua. Fonte: Norma colombiana NSR-10 (2010).....	145
Figura 78 - Carga T . Fonte: Norma colombiana NSR-10 (2010).	145
Figura 79 – Quadro de cargas admissíveis para uniões aparafusadas com cisalhamento duplo. Fonte: Norma colombiana NSR-10 (2010).	146
Figura 80 - Figura 80a: Vista frontal do modelo e Figura 80b: Vista lateral do modelo. Modelo: Autor (2011).....	151
Figura 81 - Figura 81a: Sistema estrutural em bambu e Figura 81b: Pórtico central da estrutura. Modelo: Autor (2011).....	152
Figura 82 - Figura 82a: Pórticos e travamento laterais. Figura 82b: Ligação entre pórticos. Modelo: Autor (2011).....	153
Figura 83 - Figura 83a: Coluna inclinada e travamentos centrais. Figura 83b: Suporte para viga principal. Modelo: Autor (2011).	153
Figura 84 - Figura 84a: Caibros posicionados lado a lado. Figura 84b: Suporte para viga principal. Modelo: Autor (2011).	154
Figura 85 - Figura 85a: Touceira de 12 anos de <i>D. asper</i> . Figura 85b: Touceira de 3 anos de <i>D. asper</i> . Fotos: Autor (2010).....	156
Figura 86 - Estoque de bambu para a obra. Foto: Autor (2010).....	156
Figura 87 - Análise de tensões máximas e mínimas para compressão em corpos de prova do bambu <i>D. asper</i> utilizado no Estudo de caso. Fonte: Marçal (2010).	157
Figura 88 - Figura 88a: Coluna principal enterrada. Figura 88b: Concretagem do Pneu. Figura 88c: Acabamento da fundação. Fotos: Autor (2010).	158
Figura 89 - Figura 89a: Peças de bambu para seleção. Figura 89b: União de peças fora do eixo da coluna. Figura 89c: União de peças fora do apoio da coluna. Fotos: Autor (2011).	159
Figura 90 - Figura 90a: Furadeira e serra copo utilizadas para executar a "boca de pescada". Figura 90b: Corte com a serra copo pelos dos lados do colmo. Figura 90c: Acabamento da "boca de pescada" com formão. Fotos: Autor (2011).....	159
Figura 91 - Processo de levantamento dos pórticos laterais. Fotos: Autor (2011).....	160
Figura 92 – Figura 92a: Peça de ligação entre pórticos laterais. Figura 92b: Travamentos dos pórticos laterais utilizando colunas inclinadas. Fotos: Autor (2011).....	160
Figura 93 - União diagonal entre peças de bambu. Foto: Autor (2011).....	161
Figura 94 – Figura 94a: Colunas inclinadas de suporte da viga principal da cobertura. Figura 94b: Duplicação das colunas principais. Fotos: Autor (2011).	161
Figura 95 – Figura 95a: Viga central de ligação entre pórticos. Figura 95b: Console de recebimento das peças com boca de pescada. Fotos: Autor (2011).	162
Figura 96 - Figura 96a: Ligação aparafusada entre peças de bambu. Figura 96b: Apoio da viga principal. Fotos: Autor (2011).	162
Figura 97 - Travamentos e duplicações de peças na viga principal. Fotos: Autor (2011).	163

Figura 98 – Detalhe travamento e duplicação de peça na viga principal. Fotos: Autor (2011).	163
Figura 99 – Figura 99a: Mezanino. Figura 99b: Estrutura do piso do mezanino. Fotos: Autor (2011).	164
Figura 100 - Reforço estrutural do pórtico central. Fotos: Autor (2011).	164
Figura 101 – Figura 101a: Duplicação da viga de apoio do mezanino. Figura 101b: Duplicação das vigas externas. Fotos: Autor (2011).	165
Figura 102 - Nivelamento e compactação do piso da estrutura. Fonte: Autor (2011).	165
Figura 103 - Instalação dos caibros da cobertura. Fotos: Autor (2011).	166
Figura 104 – Figura 104a: Peças de reforço da cobertura. Figura 104b: Peça de reforço aparafusada no pórtico principal. Fotos: Autor (2011).	166
Figura 105 - Cobertura em telhas cerâmicas. Fotos: Autor (2011).	167
Figura 106 - Figura 106a: Estrutura recém construída em 2011. Figura 106b: Estrutura no ano de 2018. Fotos: Autor (2011-2018).	168

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Produtividade do Bambu <i>Dendrocalamus asper</i> plantados em 1994. Fonte: (Pereira, 2016).	19
Tabela 2 – Tabela de agrupamento de espécies de Bambu na Índia. Fonte: Structural Design using Bamboo - Code of Practice (2012), adaptada.....	36
Tabela 3 - Conicidade admissível para GaK. Fonte: Norma equatoriana NEC GaK (2017).	59
Tabela 4 - Esforços admissíveis F_i (MPa), CH=12%. Fonte: Norma colombiana NSR-10 (2010).	116
Tabela 5 - Módulos de elasticidade, E_i (MPa), CH=12%. Fonte: Norma colombiana NSR-10 (2010).	116
Tabela 6 - Fatores de redução. Fonte: Norma colombiana NSR-10 (2010).	117
Tabela 7 - Coeficientes de modificação por duração de carga. Fonte: Norma colombiana NSR-10 (2010).	118
Tabela 8 - Coeficientes de modificação por teor de umidade. Fonte: Norma colombiana NSR-10 (2010).	119
Tabela 9 - Coeficientes de modificação por temperatura. Fonte Norma colombiana NSR-10 (2010).	120
Tabela 10 - Esforços admissíveis. Fonte: Norma Peruana NTE.100 (2012).....	122
Tabela 11 - Módulo de elasticidade. Fonte: Norma Peruana NTE.100 (2012).	122
Tabela 12 - Esforços admissíveis F_i (MPa), CH=12%. Fonte: Norma Equatoriana (2017).	123
Tabela 13 - Módulos de elasticidade, E_i (MPa), CH=12%. Fonte: Norma Equatoriana (2017).	123
Tabela 14 - Esforços últimos F_i (MPa), CH=12%. Fonte: Norma Equatoriana (2017).	123
Tabela 15 - Deflexões admissíveis δ (mm), nota 3. Fonte: Norma colombiana NSR-10 (2010).	126
Tabela 16 - Valores de C_c . Fonte: Norma colombiana NSR-10 (2010).....	127
Tabela 17 - Cargas W para cálculo de seção e deflexões. Fonte: Norma colombiana NSR-10 (2010)	127
Tabela 18 - Coeficientes C_L para diferentes relações d/b . Fonte: Norma colombiana NSR-10 (2010).	128
Tabela 19 - Coeficientes C_L para diferentes relações d/b . Fonte: Norma peruana NTE.100 (2012).	132
Tabela 20 - Coeficientes de comprimento efetivo de colunas. Fonte: Norma colombiana NSR-10 (2010)	137
Tabela 21 - Classificação de colunas por esbeltez. Fonte: Norma colombiana NSR-10 (2010)	139

Tabela 22 - Coeficientes de comprimento efetivo de colunas. Fonte: Norma peruana NTE.100 (2012).....	141
Tabela 23 - Classificação de colunas por esbeltez. Fonte: Norma Peruana NTE.100 (2012)	142
Tabela 24 - Coeficiente de redução por grupo C_g . Fonte: Norma colombiana NSR-10 (2010).	147

INTRODUÇÃO

É possível perceber que a construção civil atual passa por momentos de transição. As técnicas construtivas e as recuperações de patologias são cada vez mais demandadas e a cada dia surgem novos elementos construtivos para suprir a necessidade dos proprietários das obras e profissionais responsáveis. A sensação externa de segurança, a durabilidade e resistência são fatores determinantes na escolha do material a ser usado.

O uso do concreto por sua alta resistência à compressão, o aço por ser muito resistente a tração e a madeira, elemento construtivo natural e também bastante eficiente aos esforços solicitantes em uma estrutura, dão o aspecto usual de uma obra convencional, agindo assim os arquitetos, engenheiros e construtores, que produzem verdadeiras revoluções no aspecto visual de interação de elementos.

Já é comprovado que a produção de materiais como o cimento e o aço afetam de forma preocupante os locais de exploração, a mão de obra e a saúde das populações próximas (BLUMENSCHHEIN; MAURY, 2012). Fazendo com que haja por parte da população mundial uma mudança de pensamento, juntamente com um maior interesse por recursos renováveis que possam integrar as possibilidades de escolha na hora de se projetar uma estrutura. Torna-se evidente que os materiais ecológicos, com baixo impacto ambiental, satisfazem alguns requerimentos fundamentais, tais como: minimização do consumo de energia, conservação dos recursos naturais, redução da poluição e manutenção de um ambiente saudável (GHAVAMI, 1995).

O bambu - material sem muito valor econômico, social ou cultural em nossa sociedade - é em outros países motivo de orgulho e pesquisas por seu potencial em diversas e comprovadas áreas de aproveitamento. Material como o bambu não é poluente, não requer grande consumo de energia e oxigênio em seu processo de preparo, sua fonte é renovável e de baixo custo (RIPPER, 1994). Seu “caule”, que tem aparência cilíndrica e alongada, esconde características que poucas plantas possuem. Um sistema de feixes de fibras longitudinais que são praticamente paralelos da base ao topo dessa gramínea que chega a ter mais de 30 metros de altura, e diâmetros de até 40 centímetros (*Dendrocalamus sinicus*)

O uso do bambu na construção civil brasileira é pequeno, mas seu potencial é imensurável ao se levar em conta a evolução de processos de tratamento, produção e

armazenagem do bambu colmo (*in natura*), e a evolução da tecnologia para o processamento e produção do laminado colado de bambu, mais conhecido na China como LBL (*Laminated Bamboo Lumber*). Esse material pode ser utilizado na fabricação de painéis divisórios, forros, pisos, molduras, esquadrias, móveis e revestimento.

O uso do bambu pode reduzir de forma significativa o valor final de obras de interesse social e diferentes tipos de edificações, facilitando a implantação de construções rurais, já que o material pode ser plantado, colhido e tratado pelo próprio dono da propriedade.

O uso do bambu em obras já começa a ser uma realidade. Devido ao seu baixo peso próprio, facilidade de transporte, fácil manuseio por parte da mão de obra no local da construção e extrema beleza arquitetônica, o bambu já pode ser visto em estruturas de pequeno, médio e grande porte por todo o mundo.

O uso do bambu - colmo na construção civil requer mão de obra especializada, apesar desse sistema construtivo ser bastante simples. Como qualquer outro material, o bambu é bastante resistente a certos esforços, e não tão resistente a outros. Por essa razão é necessário um estudo e acompanhamento de profissionais para o projeto e confecção das conexões, e para o correto dimensionamento e posicionamento das peças de bambu para um adequado projeto estrutural.

As características mecânicas do bambu - colmo são influenciáveis principalmente pelos seguintes fatores: espécie, idade, tipo de solo, condições climáticas, época da colheita, teor de umidade das amostras, localização destas em relação ao comprimento do colmo, presença ou ausência de nós nas amostras testadas e o tipo de teste realizado. O ótimo desempenho estrutural dos bambus quanto à compressão, torção, flexão e, sobretudo quanto à tração, é conferido pela sua volumetria tubular e pelos arranjos longitudinais de suas fibras que formam feixes de micro tubos (GHAVAMI,1995).

Uma das maiores dificuldades para o estudo das características mecânicas do bambu refere-se à sua forma geométrica peculiar, que nem sempre permite que se possam adotar diretamente as normas utilizadas no ensaio de madeiras. Os colmos de bambus apresentam, geralmente, uma conicidade e distanciamento entre os nós, que impedem a obtenção de corpos-de-prova homogêneos escolhidos de um mesmo colmo, podendo, também, desempenhar um papel importante nos resultados dos ensaios.

Em uma breve pesquisa na internet, é possível encontrar projetos, teses de mestrado e doutorado sobre o bambu, desenvolvidos por estudantes e profissionais brasileiros. Porém a maior dificuldade é comparar os resultados obtidos por esses pesquisadores. Grande parte dos documentos foi realizado com normas distintas e muitas delas foram modificadas ou adaptadas para se adequarem aos corpos de prova e máquinas utilizadas para os ensaios laboratoriais. Por este motivo os valores e parâmetros resultantes desses ensaios não podem ser utilizados de forma generalizada para o cálculo estrutural teórico, onde os parâmetros utilizados precisam estar embasados em orientações e critérios pré-definidos.

Alguns países possuem um conhecimento avançado sobre o bambu, por este motivo é possível encontrar inúmeras normas técnicas internacionais para o uso do bambu na construção civil, além de normas para colheita, tratamento, secagem e industrialização desse material.

Países como Colômbia (REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCIÓN SISMO RESISTENTE NSR-10, 2010), Peru (REGLAMENTO NACIONAL DE EDIFICACIONES: NORMA NTE E.100, 2012) e Equador (NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN: NEC - ESTRUCTURAS DE GUADÚA (GAK), 2017) já possuem Normas Técnicas para utilização do bambu na construção. O principal motivo para que estes países sejam pioneiros na normatização do bambu na América do Sul é o fato de que o bambu nesses lugares está presente de forma concreta nas construções e habitações populares. E seu uso está sendo expandido para construções de maior porte e para classes com maior poder aquisitivo, provando o potencial do bambu como material de construção.

Existem outros países que também já normatizaram processos de ensaios laboratoriais para medir as resistências mecânicas para o bambu, como é o caso da Índia (BUREAU OF INDIAN STANDARDS: IS 6874, 2008). Esse país possui também uma variedade significativa de bambus nativos e o seu uso para o desenvolvimento de habitações é muito antigo. Contudo a norma mais utilizada ainda é a norma internacional ISO (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2004). A ISO também disponibiliza uma lista com diversas outras normas existentes sobre o bambu no mundo (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2015).

OBJETIVOS

Com base no exposto, para a elaboração da presente dissertação, foram estabelecidos os objetivos, divididos em geral e específicos, descritos a seguir:

Objetivo geral

Desenvolver uma análise comparativa das normas técnicas internacionais disponíveis para o emprego do bambu na construção. Apresentar de forma clara as normas técnicas internacionais para o emprego do bambu em estruturas prediais, destacando suas semelhanças e diferenças, afim de melhor repassar as orientações e informações destas normas, visando sua possível aplicação em estruturas no Brasil.

Objetivos específicos

- a) Selecionar as normas técnicas internacionais existentes relacionadas ao adequado uso do bambu na construção, analisar e traduzir as informações relevantes dessas normas que possam ser utilizadas no emprego do bambu – colmo no Brasil.
- b) Compilar as partes traduzidas das diversas normas em um único documento que possa servir para o entendimento do emprego do bambu na construção por brasileiros interessados.
- c) Exemplificar a análise com a construção de uma estrutura de 63 m² em bambu – colmo (protótipo), desde sua concepção de projeto, escolha do bambu a ser utilizado e etapas de construção, facilitando assim uma melhor compreensão das orientações das normas em uma construção real, além das dificuldades e observações relacionadas a construções com bambu.

METODOLOGIA (ANÁLISE)

- a) Proposição de uma fundamentação teórica, juntamente com a elaboração de um banco de informações sobre a temática.
- b) Consulta aos profissionais que tenham conhecimento sobre normas técnicas “internacionais”, sendo então montado um acervo com as normas existentes e mais pertinentes à realidade brasileira.
- c) Levantamento da bibliografia mediante a leitura e entendimento do seu conteúdo, selecionando aquelas que sigam critérios mais próximos, o que vai facilitar uma

correlação entre as mesmas, visando à sistematização de conhecimentos dessas normas.

- d) Tradução de cada norma, com a seleção de trechos, partes, tabelas, gráficos, figuras, valores, parâmetros ou qualquer outra informação que seja útil para um melhor aproveitamento dos documentos utilizados, em seguida, a separação das informações selecionadas por áreas de interesse levando em conta o material bambu (produção de colmos) e sua aplicação em estruturas prediais.
- e) Apresentação de conhecimento padronizado e normatizado sobre o bambu, de forma a criar referência para o adequado uso do bambu em estruturas prediais, que poderão servir para aqueles interessados no emprego técnico dessa matéria prima na construção, e também aos pesquisadores e os profissionais envolvidos com normas técnicas destinadas a esse fim.
- f) Separação das informações selecionadas nas diversas normas estudadas, de forma a orientar a adequada produção, beneficiamento e aproveitamento estrutural do bambu – colmo, e também para orientar a utilização do bambu – colmo no desenvolvimento de estruturas prediais, com segurança, eficiência e durabilidade.
- g) Apresentação, como exemplo, da construção de um protótipo, que utiliza uma estrutura executada em bambu - colmo, para melhor entendimento das normas estudadas. Essa estrutura será analisada desde sua concepção estrutural (projeto) até seu processo de execução, dessa forma as informações estudadas durante o desenvolvimento da dissertação poderão ser melhor entendidas para o efetivo uso do bambu - colmo em estruturas prediais. Serão também apresentadas informações relacionadas com a parte prática do processo de aproveitamento estrutural do bambu, processos e detalhes construtivos, entendendo de forma prática as etapas e dificuldades de se utilizar o bambu - colmo em sistemas construtivos prediais.

ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A estrutura que compõe a dissertação, está dividida em quatro capítulos organizados para facilitar a compreensão desse trabalho.

A revisão de literatura, Capítulo I, se divide nas seguintes seções:

1. Bambu: A Planta. Nesta seção são abordados os aspectos essenciais ao conhecimento do bambu, em termos de planta, da sua distribuição geográfica,

seus aspectos botânicos, sua anatomia, taxa de crescimento, rebrota e produção estimada de plantios comerciais. Apresentação de espécies mais utilizadas para execução de estruturas prediais. Evidenciando a sua importância ambiental e a versatilidade de usos, juntamente com seu aproveitamento pelo homem.

2. Bambu: Elemento Estrutural. Nesta se destaca o uso do bambu na construção civil, apresentando as características que possibilitam o seu uso como matéria-prima nesse importante setor. História da arte sobre sistemas construtivos com Bambu, vantagens e qualidades de estruturas de bambu. Potencial de aproveitamento do bambu em estruturas e as possibilidades de produção de madeira de bambu. Além de apresentar as normas internacionais existentes para o uso do bambu em construções prediais.
3. Síntese do Capítulo I - Potencial de aproveitamento do bambu em estruturas prediais. Nesta é apresentada uma síntese da revisão de literatura e do panorama do atual cenário de aproveitamento do bambu no Brasil e no mundo.

Em “Apresentação das informações estudadas sobre as normas”, Capítulo II, encontra-se a apresentação das informações selecionadas nas normas estudadas, afim de fornecer as orientações normatizadas para produzir, ensaiar, projetar, dimensionar e executar estruturas prediais com Bambu. O Capítulo II se divide nas seguintes seções:

4. Orientações para ensaios laboratoriais: apresenta as orientações e recomendações para ensaios laboratoriais de corpos de prova de bambu afim de obter parâmetros necessários para estimar as resistências do bambu às diferentes solicitações que podem ocorrer durante o seu uso.
5. Recomendações para produção de bambu - colmo para uso estrutural: apresentação das orientações e informações selecionadas das normas estudadas, que orientarão o processo de aproveitamento de colmos de bambu com qualidade e características recomendadas para seu uso em estruturas prediais.
6. Recomendações sobre preservação do bambu - colmo para uso estrutural: apresentação das orientações e informações selecionadas das normas estudadas, tendo como finalidade a preservação de colmos de bambu com qualidade e características recomendadas para seu uso em estruturas prediais.

7. Recomendações de secagem, transporte e armazenagem para bambu - colmo de uso estrutural: apresentação das orientações e informações selecionadas das normas estudadas para um adequado processo de secagem, transporte e armazenagem de colmos de bambu com qualidade e características recomendadas para seu uso em estruturas prediais.
8. Orientações para projeto e execução de estruturas de bambu: apresentação das orientações e informações selecionadas das normas estudadas para o projeto e execução de estruturas prediais com bambu.
9. Orientações para sistemas conectivos: apresentação das orientações e informações selecionadas das normas estudadas para o projeto e execução de sistemas conectivos em estruturas prediais com bambu.
10. Orientações para vedações estruturais com bambu: apresentação das orientações e informações selecionadas das normas estudadas para o projeto e execução de vedações estruturais em estruturas prediais com bambu.
11. Orientações para vigas e lajes em estruturas de bambu: apresentação das orientações e informações selecionadas das normas estudadas para o projeto e execução de vigas e lajes em estruturas prediais com bambu.
12. Orientações para a ligação entre a estrutura de bambu e a fundação: apresentação das orientações e informações selecionadas das normas estudadas para o projeto e execução de ligações entre as estruturas prediais com bambu e a fundação da obra.
13. Orientações para o cálculo estrutural: apresentação das orientações e informações selecionadas das normas estudadas para um adequado dimensionamento dos elementos estruturais submetidos a esforços de flexão, cisalhamento, esmagamento, tração e compressão em estruturas prediais com bambu.
14. Síntese do Capítulo II – Normas Internacionais: apresentação de uma síntese das normas internacionais estudadas, desenvolvendo uma relação entre elas e demonstrando qual delas seria melhor aproveitada para o desenvolvimento de estruturas prediais com bambu no Brasil.

Em “Construção de um Protótipo”, Capítulo III, é apresentado o processo de concepção e execução de uma estrutura de 63 m² em bambu desenvolvida pelo autor em 2011, com técnicas e conhecimento disponíveis na data de sua execução. O intuito desse Capítulo é apresentar as técnicas e orientações estudadas em um caso prático, favorecendo o aprendizado e facilitando o entendimento das informações estudadas.

15. Estrutura de Bambu: apresentação do modelo arquitetônico para a estrutura a ser estudada. Projeção de como a estrutura modelo deve ser construída e as etapas sugeridas para a execução da obra. Explicação da escolha de qual bambu foi utilizado na obra, suas características conhecidas e os dados obtidos sobre o bambu utilizado na obra (testes de compressão).
16. Processos Construtivos: apresentação das etapas de construção da estrutura apresentada como prática construtiva. Essas etapas são divididas em fundação, estrutura e cobertura.
17. Síntese do capítulo III – Obra finalizada: apresentação de uma síntese sobre a construção do protótipo da estrutura de bambu, apresentando as informações relacionadas ao processo de execução e suas observações.

Em “Considerações Finais”, Capítulo IV, são feitas as conclusões sobre os resultados alcançados com a elaboração dessa dissertação, apontando algumas diretrizes para trabalhos futuros que contribuam para o aperfeiçoamento do sistema construtivo proposto. Por fim, são reunidos em Referências bibliográficas todos os autores e fontes de pesquisa utilizadas, fundamentais no desenvolvimento dessa dissertação.

18. Conclusão: apresentação da conclusão resultante de todo o conhecimento teórico e prático adquirido durante o desenvolvimento da dissertação apresentada.
19. Recomendações para trabalhos futuros: apresentação de informações relevantes para o desenvolvimento de trabalhos futuros.
20. Referências Bibliográficas: apresentação dos documentos que foram utilizados como referências no desenvolvimento da dissertação apresentada.
21. Endereços eletrônicos: apresentação dos sites que foram utilizados como referências no desenvolvimento da dissertação a apresentada.

CAPITULO I – REVISÃO DE LITERATURA

1. BAMBU: A PLANTA

1.1 Bambu

O bambu é um representante da Família das Gramíneas, Gramineae ou Poaceae, Subfamília Bambusoideae que é dividida em duas tribos: a primeira é a Bambuseae com espécimes de maior porte, xilemáticos, ou seja, com colmos lenhosos; a segunda é a Olyreae com espécimes de menor porte, herbáceos (BERALDO; PEREIRA, 2016)

O bambu pode se diferenciar em mais de 75 gêneros, e mais de 1250 espécies que se distribuem naturalmente dos trópicos às regiões temperadas, tendo, no entanto, maior ocorrência nas zonas quentes e com chuvas abundantes das regiões tropicais e subtropicais da Ásia, África e América do Sul. Os bambus (Fig. 1) crescem naturalmente em todos os continentes, exceto a Europa, sendo que 67% das espécies são nativas da Ásia e Oceania, 30% das Américas e 3% da África (LÓPEZ, 2003). De acordo com Pereira (2012), considera-se que 75% das espécies de bambu tenham algum uso local nos vários países em que existem e que 50 destas espécies sejam efetivamente utilizadas e exploradas.

Organismos internacionais ligados à cultura do bambu recomendam a introdução e experimentação de 19 espécies consideradas como prioritárias, com base em critérios relativos à sua utilização, cultivo, processamento e produtos, recursos genéticos e agroecologia. Muitas destas espécies prioritárias já foram introduzidas em nosso país e encontram-se adaptadas às nossas condições de clima e solo (PEREIRA, 2012).

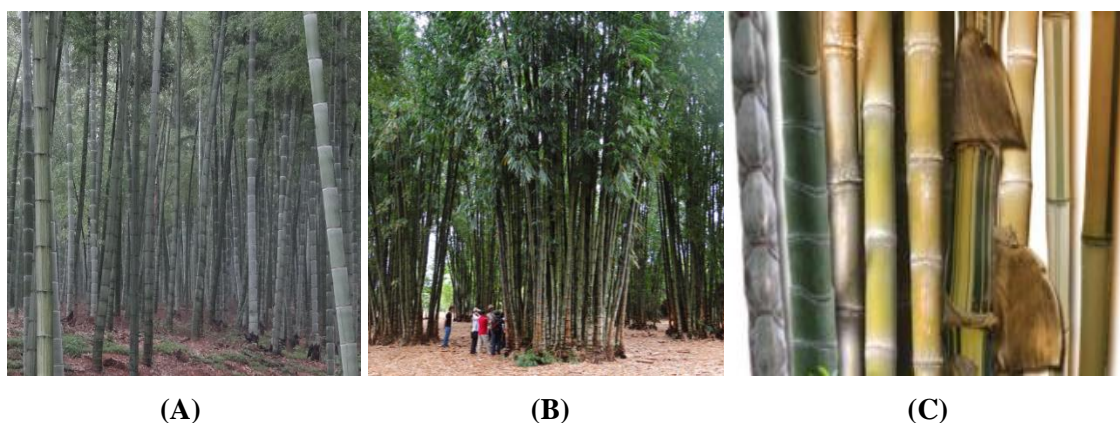


Figura 1 - Figura 1a: Floresta de bambu *Phyllostachys pubescens* na China. Figura 1b: Touceiras de bambu *Dendrocalamus asper* em Bauru. Figura 1c: Diferentes cores e formas de bambus. Fotos: Autor (2011).

De acordo com Lopez (2013) o bambu é uma planta predominantemente tropical e que cresce rapidamente, levando em média de 3 a 6 meses para um broto atingir sua altura máxima de até 40 m ou mais em espécies gigantes. O bambu não apresenta crescimento radial, o colmo já surge com seu diâmetro máximo na base e afunila em direção à parte superior (Fig. 2), assumindo sua forma cônica.

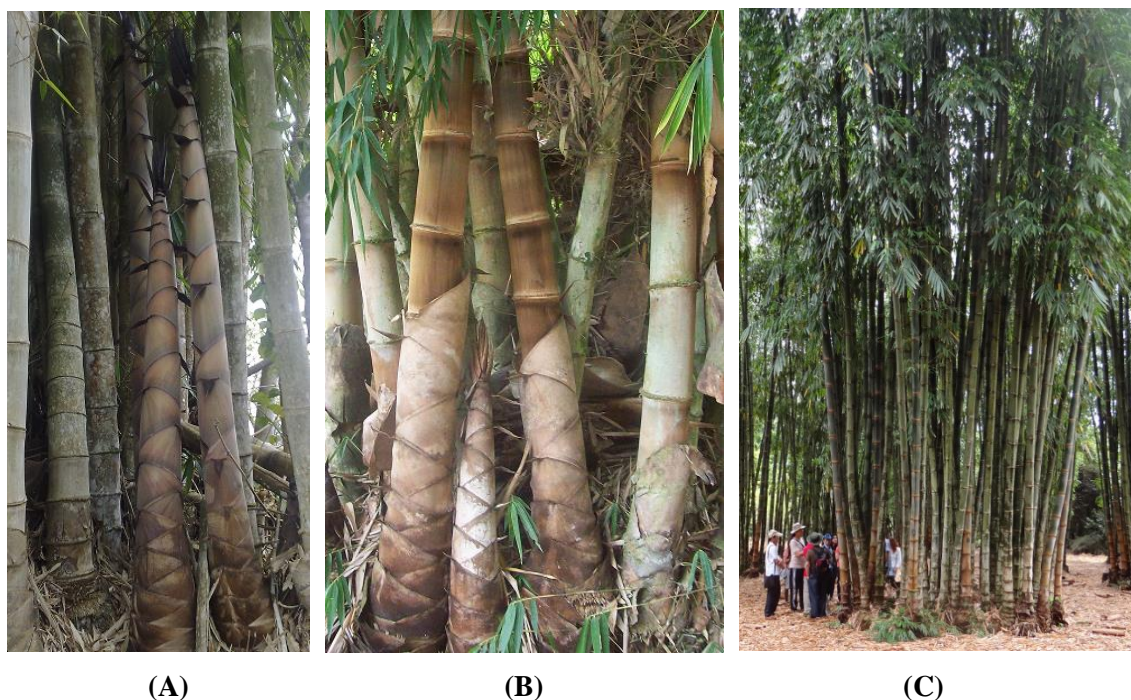


Figura 2 - Figura 2a: Brotos de *D. asper* em crescimento. Figura 2b: Colmos jovens de *D. asper*. Figura 2c: Touceira de *D. asper* manejada com 17 anos de plantada. Fotos: Autor (2012).

1.2 Anatomia do Bambu

Geralmente apresenta uma sequência de entrenós ocios, sendo estes mais curtos na base, aumentando seu comprimento na parte mediana e reduzindo novamente o tamanho à medida que se aproxima do ápice. Os entrenós são separados transversalmente uns dos outros por diafragmas, que aparecem externamente como nós (Fig. 3). Estes diafragmas conferem maior rigidez e resistência aos colmos, permitindo-lhes suportar a ação do vento e do próprio peso (SILVA, 2005; GRECO *et al.*, 2011).

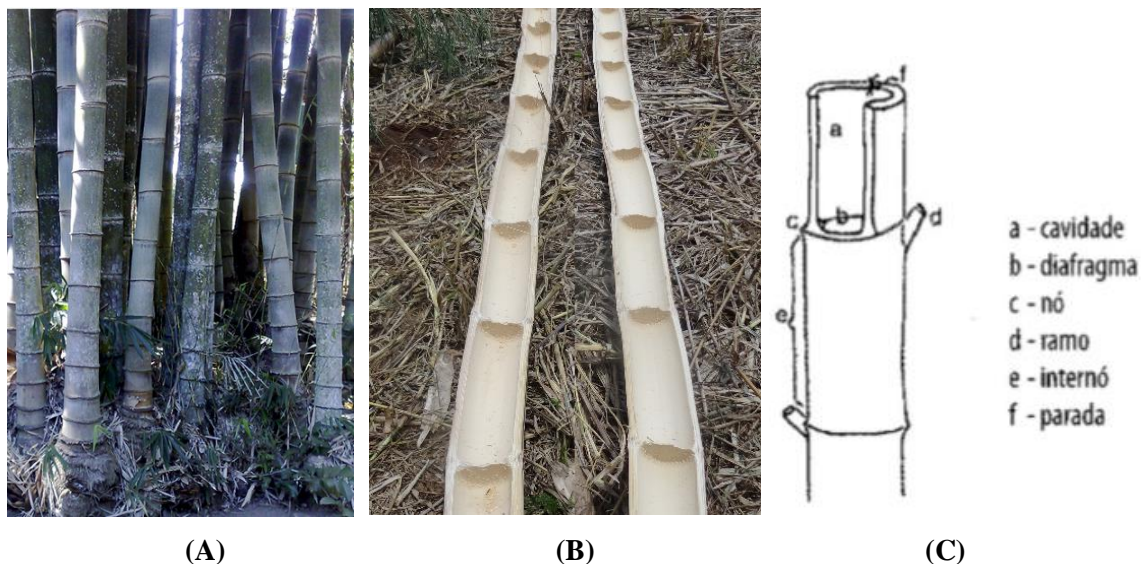


Figura 3 - Figura 3a: Touceira de *D. asper*. Figura 3b: Colmo de *D. asper* aberto. Foto: Autor (2010). Figura 3c: Seção de um colmo de bambu e suas denominações. Fonte: Pereira (2008).

O colmo consiste de entrenós (internó) e nós (Fig. 4). Nos entrenós, as fibras apresentam-se axialmente orientadas (paralelas ao eixo de crescimento), enquanto os nós proporcionam interconecções transversais apresentando fibras espessas, aforquilhadas e distorcidas, não existem nos entrenós elementos celulares radiais. Na região dos chamados diafragmas, a parte interna dos nós, as fibras fazem curvas e regressam à região da parede (Fig. 4c), sendo que na parte mais central, praticamente não existem fibras (PRATES, 2013).

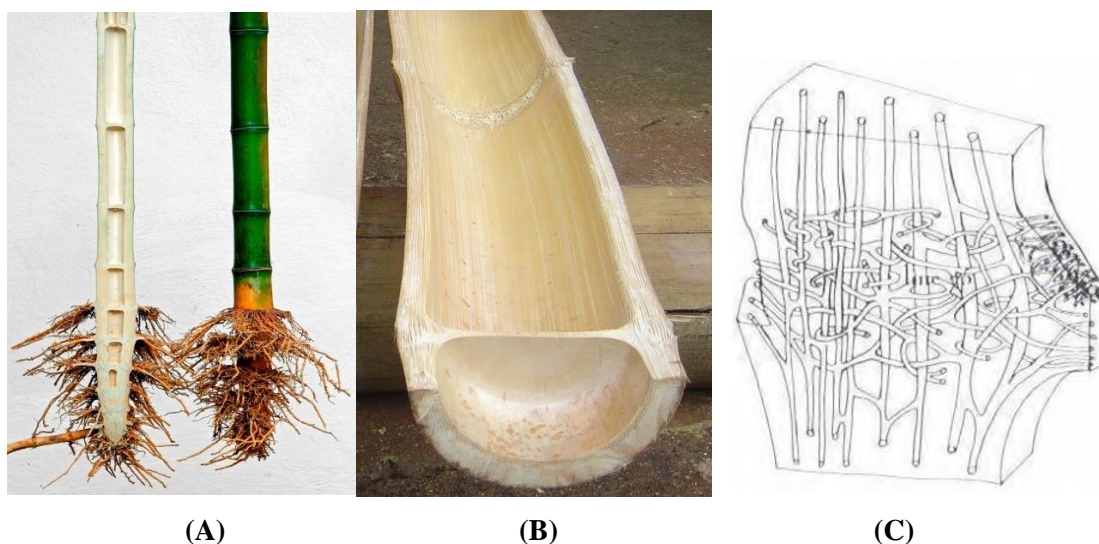


Figura 4 - Figura 4a: Corte transversal do colmo de bambu *Phyllostachys*. Fonte: Pinterest (Endereços eletrônicos). Figura 4b: Corte transversal do colmo de bambu *Dendroclamus asper*. Fotos: Autor (2008). Figura 4c: Distribuição dos feixes vasculares na região nodal. Fonte: Liese (1998).

A estrutura anatômica da seção transversal de qualquer entrenó é determinada basicamente pelos feixes vasculares, seu tamanho, forma, arranjo e número. De acordo com Pereira (2012), o tecido de um colmo é composto pelas células de parênquima, pelos feixes vasculares e pelas fibras. Basicamente o total do colmo apresenta 50% de parênquima, 40% de fibras e 10% de tecidos condutores, como vasos e tubos crivados (LIESE, 1980, 1992).

As fibras constituem o tecido esclerenquimático e são as principais responsáveis pela resistência dos colmos. Elas ocorrem nos entrenós como cobertura dos feixes vasculares, constituindo de 40 a 50% do tecido total do colmo e de 60 a 70% do seu peso. O comprimento das fibras geralmente aumenta da periferia para o centro da parede do colmo, e diminui daí até a parte interna, estando as menores fibras sempre perto dos nós e as mais longas no meio dos entrenós (PRATES, 2013).

Os feixes vasculares condutores compreendem o xilema e o floema (círculos mais claros), os quais são menores e mais numerosos na periferia do colmo e maiores e em menor número na parte interna (Fig. 5). Dentro da parede o número total de feixes diminui da base para o topo, porém sua densidade aumenta. Enquanto a parte basal do colmo contém em sua parte interna basicamente parênquima com maiores feixes vasculares em menor quantidade, esse tipo de tecido é reduzido ao longo do comprimento do colmo. A parte apical consiste principalmente de menores feixes vasculares com alta porção de fibras (manchas escuras), ou seja, ao longo do colmo o número de feixes vasculares diminui desde a base até o ápice e sua densidade aumenta correspondentemente, enquanto que a concentração de células parenquimáticas diminui no mesmo sentido (LIESE, 1998; GRECO *et al.*, 2011).

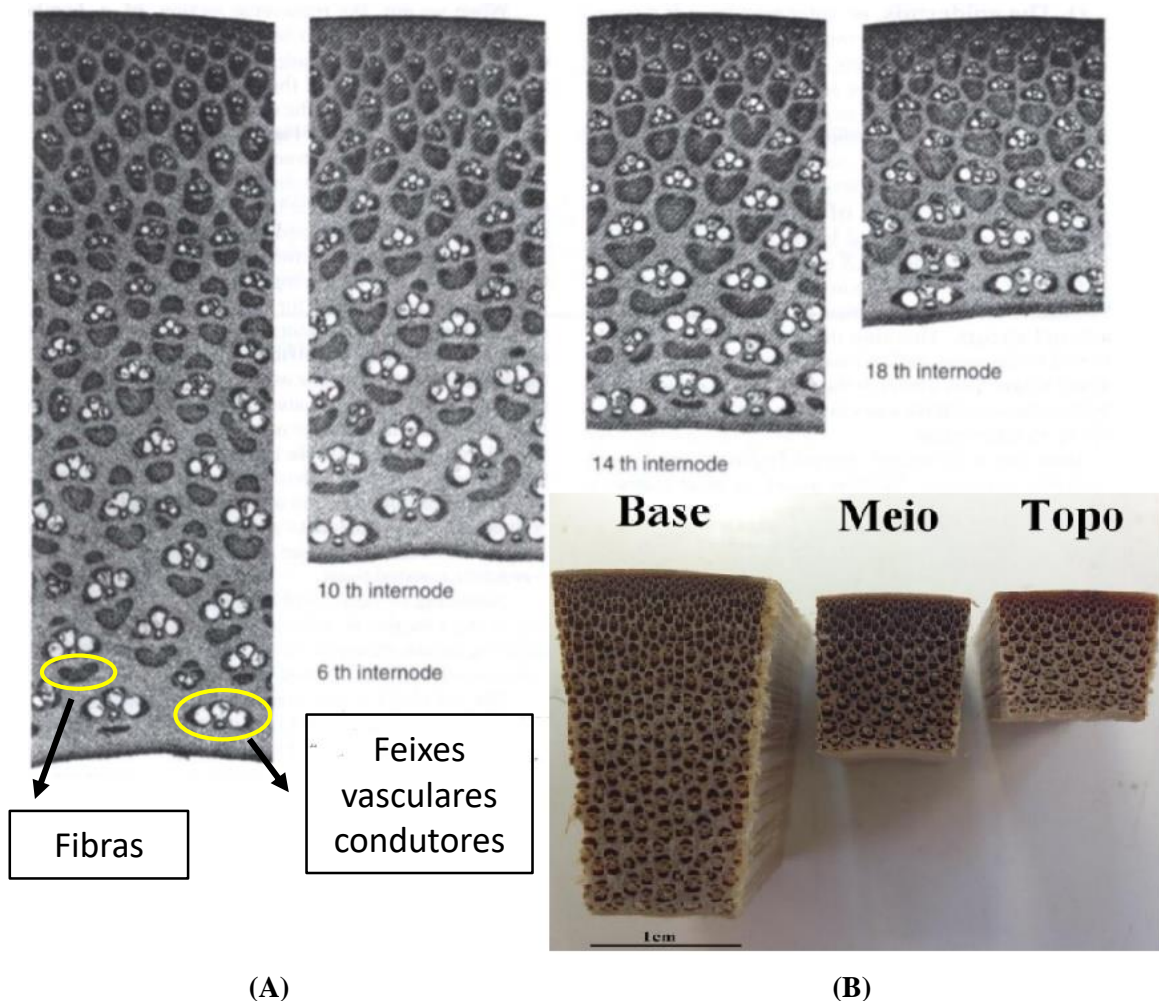


Figura 5 – Figura 5a: Mudanças na estrutura do feixe vascular no 6º, 10º, 14º e 18º entrenós ao longo da altura do colmo de *Oxytenanthera nigrociliata*. Fonte: Lopes (2003), adaptado. Figura 5b: – Extensão da parede do colmo de *Dendrocalamus asper* nas três alturas. Fonte: Prates (2013).

A Funcionalidade Graduada da macroestrutura do bambu pode ser observada pela variação do diâmetro e da espessura com a altura, e a da microestrutura é devido à distribuição de fibras de celulose na espessura (Fig. 6). Esses feixes de fibras estão distribuídos de tal modo que a zona interna contém de 15% a 30% desses feixes, e a zona externa, de 40% a 70% (CRUZ, 2002; GHAVAMI *et al*, 2003). Possuindo assim as camadas externas maiores resistências e menor susceptibilidade ao ataque de insetos e fungos (Fig. 6b).

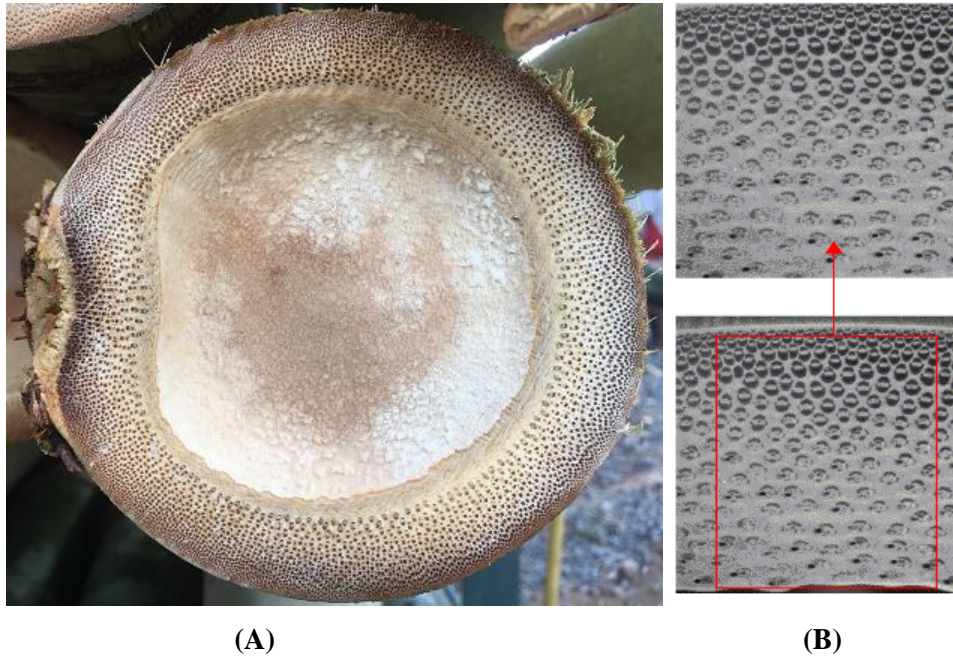


Figura 6 - Figura 6a: Corte perpendicular do colmo do bambu. Foto: Autor (2017).
Figura 6b: Aumento da densidade de feixes de fibras na parede do bambu. Fonte: Liese (1998).

1.3 Desenvolvimento (produtividade) do bambu

Para uma mesma espécie o diâmetro dos colmos é função da idade da touceira ou floresta (dependendo da forma de crescimento) e das condições locais. Segundo Pereira e Beraldo (2008) o diâmetro médio dos colmos de uma dada espécie é também influenciado pelo meio ambiente, principalmente pelo solo e clima. A taxa de crescimento do bambu pode ser melhorada pelo uso de fertilizantes e irrigação.

O colmo do bambu completa seu crescimento poucos meses após o surgimento do broto, alcançando sua altura máxima em um máximo de 180 dias para as espécies gigantes. De acordo com Pereira (2012) os colmos brotam anualmente (Fig. 7), geralmente na estação das chuvas e estes brotos podem se alongar continuamente de 20 cm até 1 m diários, dependendo da espécie. Após este período inicial de crescimento o colmo começa o processo de amadurecimento que dura até cerca de três anos, quando suas propriedades de resistência mecânica estão bem desenvolvidas (MARÇAL, 2011).

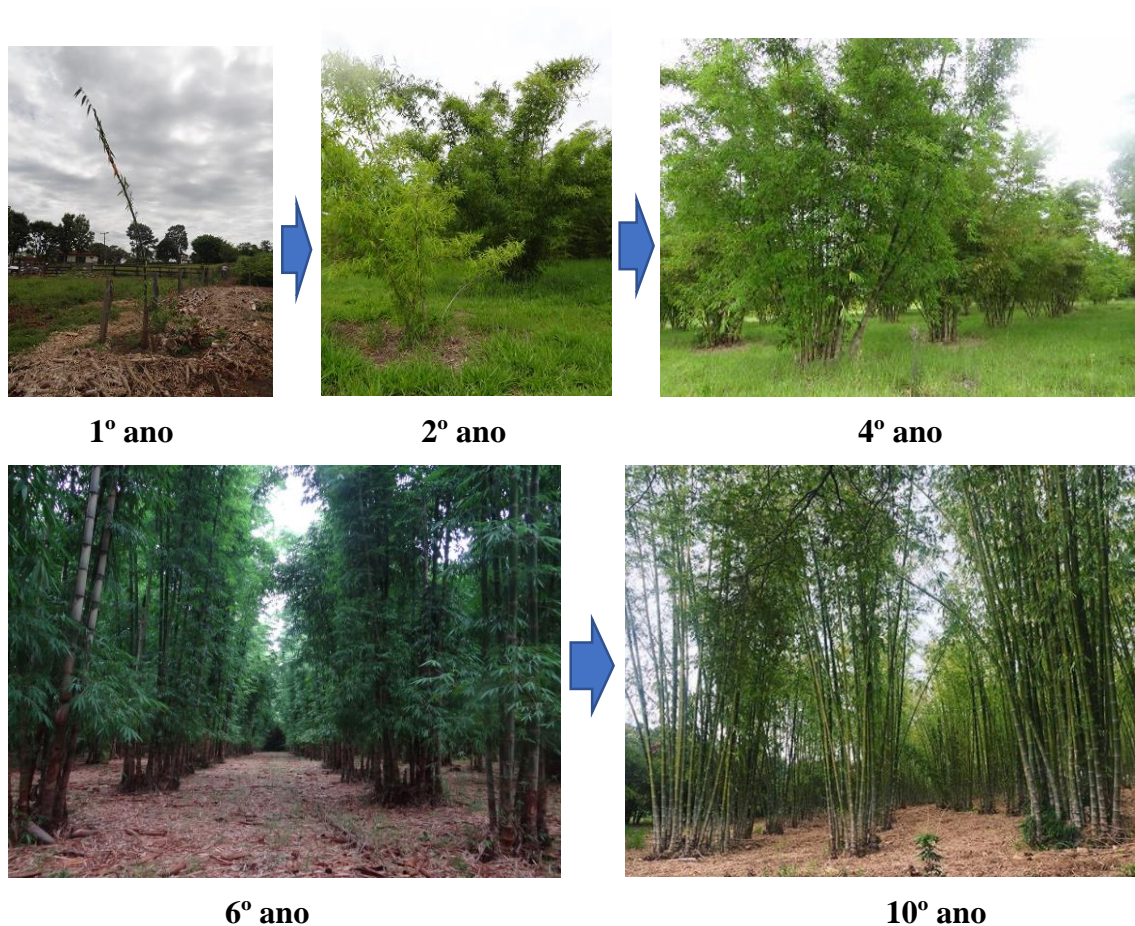


Figura 7 - Evolução esquemática do desenvolvimento do bambu *Dendrocalamus asper* a partir de uma muda. Fotos: Autor (2016).

De acordo com Pereira (2012), dependendo da espécie e das condições locais, 5 a 10 novos colmos são formados anualmente, o que, sob condições naturais, ocorre sempre no verão ou até outono, mas, via de regra, os novos colmos se formam na estação chuvosa seguinte a uma estação seca. Os novos colmos crescem em diâmetro e altura anualmente, até que há uma estabilização nas dimensões dos colmos após alguns anos, o que provavelmente deve significar que as touceiras atingiram sua maturidade em termos de dimensões e produção.

1.4 Bambu *Guadua angustifolia*

De acordo com Herrera e Ospina (2007), na América, o gênero *Guadua* é considerado como um dos bambus de maior interesse devido a sua importância para o homem, já que é o gênero mais utilizado pelas comunidades que habitam entre 0 e 2.000 metros de altura sobre o nível do mar. O gênero *Guadua* é considerado o maior bambu nativo em relação a comprimento e diâmetro, e economicamente mais interessante da América Latina.

Existem diferentes espécies relacionadas ao gênero *Guadua*, que se diferenciam pelos hábitos de crescimento e dimensões máximas da espécie. Sendo a espécie *Guadua angustifolia* (Fig. 8) aquela que apresenta as melhores características para o uso estrutural em edificações. Isto se deve a suas dimensões avantajadas e pouca variação dimensional entre colmos, além de possuir pouca variação de conicidade e espessura, e dependendo da qualidade do colmo pouca tortuosidade.

Ainda de acordo com Herrera e Ospina (2007), um colmo de *Guadua* em condições normais possui entre 70 e 80 entrenós, com distância média entre os nós de 26 cm. Os colmos de *Guadua* atingem alturas médias entre 18 e 20 metros de comprimento, com alturas máximas de até 30 metros. Apresenta diâmetros médios entre 10 e 12 cm, com diâmetros máximos de 20 cm. Seus colmos possuem paredes com espessura média entre 2 e 5 cm.



Figura 8 - Florestas nativas de *Guadua angustifolia* na Colômbia. Fotos: Autor (2010).

As gemas (Fig. 9a) presentes nos nós lançam espinhos (Fig. 9b e 9c) que se transformam em ramas laterais (Fig. 9d). Sendo esses espinhos considerados o principal inconveniente para o manejo dos guaduais. Essas ramas podem apresentar espinhos em todo seu comprimento, que tem em média 3 a 3,5 metros, podendo chegar até 8 metros de comprimento.

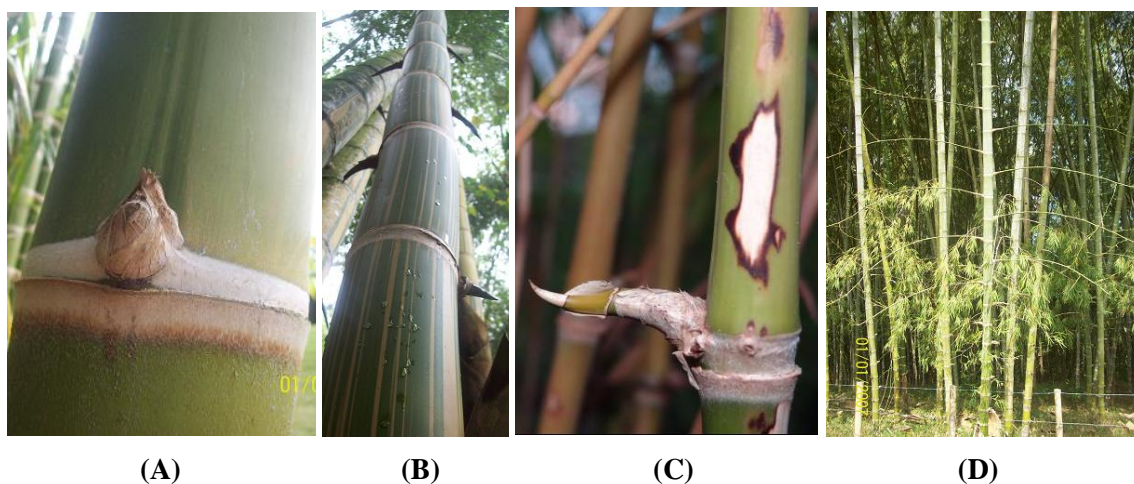


Figura 9 - Figura 9a: Gema do nó. Figura 9b: Crescimento das gemas laterais. Figura 9c: Espinho da *guadua*. Figura 9d: Ramos laterais da *guadua*. Fotos: Autor (2010).

1.5 Bambu *Dendrocalamus asper*

O bambu *Dendrocalamus asper* (Fig. 10) se destaca pela excelente qualidade e resistência mecânica de sua “madeira”. De acordo com Montiel (2006) essa é uma espécie asiática, originada no Sudeste da Ásia, provavelmente natural da Malásia, introduzida e cultivada em vários países tropicais.

Seus colmos são altamente prezados como material de construção, apresentando parede espessa, e diâmetro de até 25 cm, e ainda, o broto dessa espécie é considerado um dos melhores para alimentação (DRANSFIELD, 1980). É um bambu de porte gigante, que apresenta colmos de 15 a 25 m de altura, comprimentos dos entrenós de 30 a 50 cm e diâmetro dos colmos entre 12 e 25 cm. Segundo Prates (2013), é importante ressaltar que essa espécie, é algumas vezes, erroneamente classificada como *Dendrocalamus giganteus*.



Figura 10 - Touceiras de bambu *Dendrocalamus asper*. Fotos: Autor (2012).

1.5.1 Produtividade do bambu *Dendrocalamus asper*

Devido as características inerentes a essa espécie de bambu, seus plantios comerciais são crescentes. Porém o acesso a informações sobre produtividade, custos e retornos econômicos ainda são pequenos. Para estimar a quantidade de biomassa produzida em um plantio comercial de bambu *Dendrocalamus asper* para produção de colmos é possível observar os dados obtidos pelo pesquisador Marcos Pereira (2016) na tabela 1.

Segundo pesquisas realizadas em 23 touceiras plantadas no ano de 1994 na Unesp de Bauru, com espaçamento de 8 x 8 m, foram coletados os valores de biomassa colhidas apenas do 4° ao 8° ano de produção, além dos valores de: produção anual de novos colmos por touceira, diâmetro a altura do peito desses colmos e altura total dos colmos. Com esses dados é possível visualizar o tempo necessário para adaptação da touceira, chegando a parâmetros com pouca variância depois de 10 anos de plantio. A produção de biomassa partir do ano de 2003 não foi calculada.

Tabela 1 - Produtividade do Bambu *Dendrocalamus asper* plantados em 1994. Fonte: (Pereira, 2016).

	Ano após plantio	Nº de colmos por moita	Diâmetro[cm] [DAP]	Altura [m]	Biomassa [kg]
1998	4°	8,4	6,9	11,7	4.188
1999	5°	8,9	8,2	13,8	6.888
2000	6°	9,9	8,9	14,6	8.196
2001	7°	10,1	9,9	17,5	12.383
2002	8°	8,5	11,7	17,4	11.344
2003	9°	9,4	11,3	17,4	(-)
2004	10°	7,6	12,1	18,6	(-)
2005	11°	8,6	11,9	18,4	(-)
2006	12°	9,8	12,4	19,2	(-)
2007	13°	4,5	11,8	19,1	(-)
2008	14°	12,8	12,3	19,3	(-)
2009	15°	8,6	12,7	19,9	(-)
2010	16°	10	13,7	21,1	(-)
2011	17°	9,7	13,6	21	(-)
2012	18°	6,9	12,6	20	(-)
2013	19°	8,9	13,8	21,6	(-)
2014	20°	2	13,2	20,4	(-)
2015	21°	8,1	13,5	21	(-)

1.6 Aproveitamento do bambu pelo homem

Farrelly (1984) comenta que sua admirável vitalidade, grande versatilidade, leveza, resistência, facilidade em ser trabalhado com ferramentas simples, sua formidável beleza ao natural ou processado, são qualidades que tem proporcionado ao bambu o mais longo e variado papel na evolução da cultura humana do que qualquer outra planta.

De acordo com Xiaobing (2007), por causa de suas características naturais especiais, os bambus têm sido usados como material universal pelos seres humanos já no início da evolução humana. Na China, o uso de bambus remonta a 5000 anos atrás na Idade da Pedra e Idade do Bronze. Em Wu Xin, uma pequena cidade no sudeste da China, mais de 200 objetos de bambu foram recuperados, estimasse que foram feitos há cerca de 4700 anos atrás. Entre os objetos estavam cestas de bambu, esteiras e redes de pesca, e já mostravam um alto nível de habilidade manual (Fig. 11).



Figura 11 - Demonstração dos usos do bambu na china antiga. Museu do bambu em Anji na China. Foto: Autor (2011).

Vélez (2000) faz uma retrospectiva sobre o aparecimento do bambu na história. Segundo ele, o bambu já existia no Período Terciário, há 3 milhões de anos, na Europa, tendo sido extinto com o início da Era do Gelo. A próxima menção histórica do bambu teria sido no período de 5550 a 3500 a.C., quando cientistas apontam para a existência de construções em bambu na civilização Valdívia, no Equador. Na China, outras descobertas científicas apontam para o uso do bambu em cestarias, no período entre 3300 a 2800 a.C.

Segundo Sastry apud Pereira (2012), historicamente, o bambu tem acompanhado o ser humano fornecendo alimento, utensílios (Fig. 12a), abrigo (Fig. 12b), mobilidade (Fig.12c), e uma infinidade de outros itens. Atualmente, estima-se que contribua para a subsistência de mais de um bilhão de pessoas. Segundo Lopez (2013) o bambu era um dos materiais mais importantes para os nativos americanos (Sul e central). Essas populações indígenas, estavam em contato com este material desde o momento em que

vieram ao mundo, quando seu cordão umbilical foi cortado com uma faca de bambu, até o final de suas vidas, quando seu corpo foi enterrado envolvido com placas de bambu ou “tapetes” de bambu. Eles passaram suas vidas em casas de bambu, cercados por fortes de bambu, cozinhando usando entrenós de bambus, usando instrumentos musicais e armas feitos de bambu.

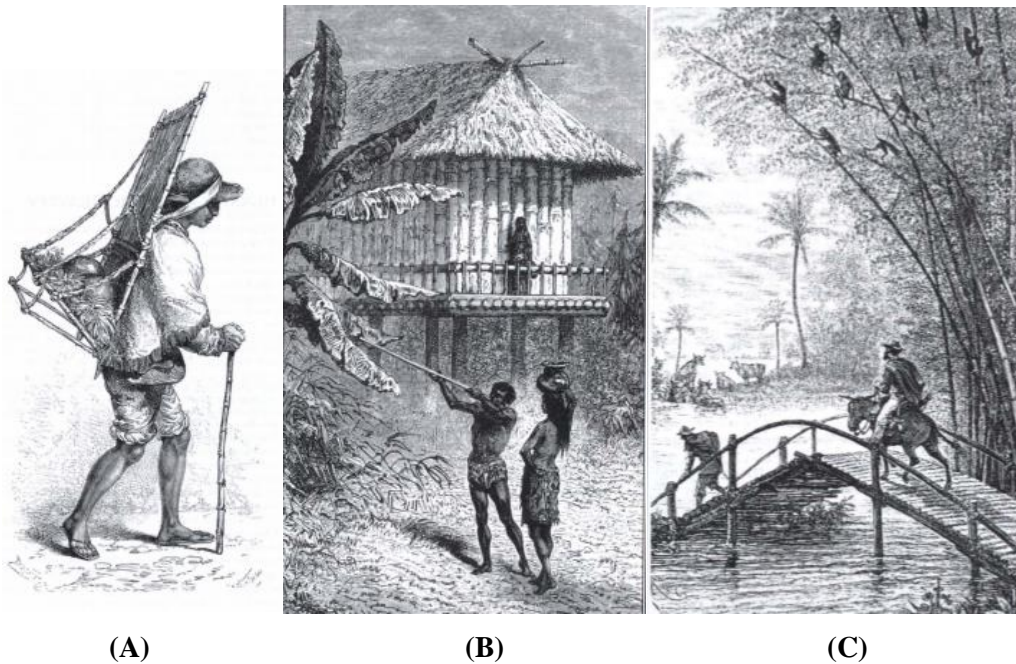


Figura 12 - Figura 12a: Carregador com cadeira de bambu (Desenho de Ferdinandu).
Figura 12b: Casa de Bambu (Desenho de Neuville). Figura 12c: Ponte de Bambu (Desenho de Riou). Geografia Pintoresca da Colômbia de 1869. Fonte: Lopez (2003).

Segundo Pereira e Beraldo (2016) a utilização do bambu é historicamente conhecida e seu uso tem sido de grande importância, principalmente nos países da Ásia. Existe nestes países uma variada gama de usos e aplicações do bambu, desde a culinária e artesanato às industriais químicas, farmacêuticas e de construção civil.

De acordo com Xiaobing (2007) os amplos usos do bambu foram registrados na literatura histórica. Na Dinastia de Jing (265 - 316 a.C) Kaizi Dai escreveu o livro "Enciclopédia de bambu", que é considerado o primeiro livro sobre pesquisa de bambu no mundo. A evidência de usar amplamente o bambu na sociedade humana pode ser encontrada nos caracteres chineses. Em chinês, o caractere "竹" (Zhu) não é único, é também parte de outros caracteres, ou letras, através do qual o significado das palavras tem mais ou menos relações com o bambu. No dicionário oficial chinês "XinHuaZiDian" existem 209 caracteres com o símbolo "竹", por exemplo: "筒" (Jian) significa o primeiro

livro que foi feito de bambus antes do papel ser inventado. "篾" (Kuai) significa pauzinhos, que podem ser feitos de bambu, madeira ou ossos de animais, mas originalmente eram feitos de bambus. "箬" (Zheng) significa "pipa" porque originalmente os quadros de pipas eram feitos de tiras de bambu. Cada um dos 209 caracteres chineses com o símbolo de bambu "竹" pode contar uma história sobre o bambu de uma perspectiva especial.

1.7 Aproveitamento sustentável do Bambu

De acordo com Bueno apud Teixeira (2006), sustentável é aquilo que se pode manter; conservar, resistir; amparar; impedir a ruína; proteger. Em outras palavras, é o que permanece e continua, o que não se esgota pelos processos de renovação. Biologicamente, a sustentabilidade ocorre na medida em que os elementos químicos que formam o ar, a água, o solo, as rochas, a fauna e a flora são consumidos e retornam à natureza para serem reutilizados continuamente, como uma reciclagem natural.

De acordo com Pereira e Beraldo (2008) a exploração da cultura do bambu e sua cadeia produtiva podem beneficiar o meio ambiente e gerar renda e emprego, contribuindo para fixar o homem ao campo. Por se tratar de uma planta perene, renovável e que produz colmos anualmente sem a necessidade de replantio, o bambu apresenta um grande potencial agrícola.

De acordo com Oliveira (2006), o bambu possui um grande potencial para geração de trabalho e consequente renda para a população, uma vez que seu aproveitamento demanda trabalho manual intensivo, ao invés das tecnologias mais modernas que utilizam máquinas sobre a mão de obra humana.

Como demonstrado o bambu pode ser aproveitado por um longo prazo de tempo, com produção constante e considerável. O aproveitamento comercial do bambu terá melhores resultados seguindo algumas orientações e recomendações de boas práticas.

Deverão ser realizadas limpezas periódicas nos bambuzais, eliminando assim caules secos, velhos, quebrados, com a finalidade de deixar as touceiras mais arejadas. Com isto, haverá maior recebimento de raios solares nos novos colmos (TEIXEIRA, 2006). Esse processo também gera bastante matéria orgânica que ao ser decomposta fornece nutrientes para a touceira.

O bambu exige cuidados com corte, manuseio, métodos de secagem e armazenagem, proporcionando um aproveitamento total do seu excelente potencial. De acordo com Beraldo (2016), a extração precisa ser realizada anualmente, colhendo não somente os colmos que serão aproveitados, mas também retirando os defeituosos e velhos. Este procedimento evita o congestionamento pela grande quantidade de colmos e garante o fortalecimento do bambuzal.

O bambu em geral é suscetível ao ataque de fungos e insetos. Os primeiros atacam bambus com alto teor de umidade, começando sua ação desde o interior do colmo devido a sua grande concentração de parênquima, e os insetos, especialmente os cupins, brocas e insetos xilófagos, atacam os bambus desde o momento do corte no bambuzal, em busca de nutrientes. A proteção do material contra o ataque de fungos e insetos deve ser iniciado desde o aproveitamento do bambuzal, ou corte dos colmos. Deve-se garantir que os bambus sejam armazenados em condições de umidade mínima e que os bambus recebam tratamento de controle de infestações durante seu empilhamento (LOPEZ, 2003).

As operações de carga e descarga das peças de bambu (colmos já divididos em mais de 2 partes) devem ser realizadas com cuidado, evitando possíveis danos ao material. Deve-se evitar sobrecarregar os colmos durante o transporte e armazenamento.

O bambu é um material higroscópico e poroso que absorve água do ambiente em forma de vapor ou líquido. Se a umidade do bambu aumentar o mesmo estará mais vulnerável ao ataque biológico, por este motivo, o armazenamento de peças de bambu deve ser feito em local seco, com cobertura, com boa ventilação e boa drenagem (PEREIRA, 2012). Durante o processo de secagem deve-se evitar a deterioração do material pela ação do clima, agentes biológicos e outras causas.

De acordo com Marçal (2016) é possível observar que o bambu, como material de construção, possui uma maior eficiência em relação as emissões de CO₂ para a produção de elemento estrutural no mesmo espaço e tempo se comparado com o eucalipto.

2. BAMBU: ELEMENTO ESTRUTURAL

2.1 Sistemas estruturais com Bambu

Segundo Peixoto (2008) a palavra estrutura tem amplo significado, não sendo aplicado somente às edificações. Pelo contrário, ela faz parte de tudo a nossa volta, formando um sistema composto de elementos conjugados para desempenhar uma função.

Assim, de modo geral, somente através de suas estruturas os sistemas permanecerão estáveis e manterão suas funções essenciais de sustentação da forma material.

No caso das edificações, a estrutura é também um conjunto de elementos – fundações, lajes, vigas e pilares – que se inter-relacionam – laje apoiando em viga, viga apoiando em pilar – para determinar uma função: criar um espaço em que pessoas exercerão diversas atividades (REBELLO, 2003).

Segundo Pereira (2012) o que diferencia o bambu de outros materiais vegetais estruturais é a sua alta produtividade. Dois anos e meio após ter brotado do solo, o bambu adquire resistência mecânica estrutural. Somam-se às suas características favoráveis uma forma tubular acabada, estruturalmente estável, um baixo peso específico, uma geometria circular oca, otimizada em termos da razão resistência mecânica/peso do material.

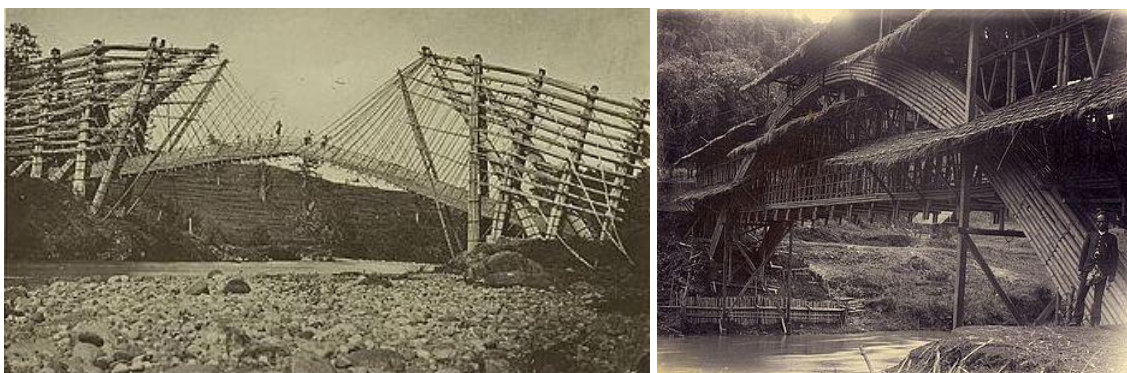
De acordo com Xiaobing (2007) o bambu é um material com estrutura e cultura. O bambu, material, desde sua longa história de utilizações versáteis na vida diária das pessoas, tornou-se uma espécie de "cultura de bambu" em países como a China, o Japão e muitos outros países.

Este tipo de cultura de bambu pode ser lido a partir de três perspectivas: primeiro o bambu é o meio pelo qual as culturas locais foram representadas, transferidas e desenvolvidas. Um exemplo disso é a cerimônia do chá japonês, para a qual os utensílios de bambu foram exclusivamente usados. Em segundo lugar, o bambu se torna uma certa "cultura material" por meio das inúmeras utilizações de produtos de bambu na vida cotidiana das pessoas. Em terceiro lugar, o bambu é tomado como um motivo na vida cultural das pessoas (em comparação com a cultura cotidiana na segunda categoria), como poemas de bambu, pinturas de bambu e filosofia de bambu.

Ainda de acordo com Xiaobing (2007), a utilização do bambu como material para construção, retoma do mesmo tempo que os seres humanos tentaram usar madeira para suas construções. Com a adequada preservação, os bambus podem ser frequentemente usados na construção. Na China, na Dinastia de Qing (221 aC - 206 aC), já houve registros sobre palácios de bambu, mostrando que todos os edifícios em uma região no sudoeste da China eram feitos de bambus.

Assim como na China países como: Filipinas, Tailândia, Malásia e o Sudeste Asiático, também possuem abundantes exemplos de edifícios de bambus tradicionais. É

possível observar a magnitude e complexidade de algumas estruturas já construídas em bambu a mais de 100 anos (Fig. 13) em Java, na Indonésia.



(A)

(B)

Figura 13 – Figura 13a: Ponte de bambu sobre o “Tjipaït Tjitaroem Preanger” em 1893, West Java, Indonésia. Figura 13b: Ponte de bambu em “Preanger Regencies” em 1902, West Java, Indonésia. Fonte: Autor desconhecido.

Para o ocidente, o bambu era um artigo exótico, vindo das colônias asiáticas, como presente para ser plantado nos jardins europeus, principalmente a partir do século XVI ao século XIX. Porém, segundo Lopez (2003) espécies nativas de bambu de grande porte como o *Guadua angustifolia* já era utilizado por populações indígenas para produção de ferramentas, moradia e até armas (Fig. 14).



Figura 14 - Conquistadores espanhóis atacando um forte indígena. Fonte: Lopes (2003).

Como descrito por Lopez (2003), de acordo com as informações dos cronistas espanhóis e dos sacerdotes que chegaram na América no século XVI com Colombo, e

mais tarde com os conquistadores espanhóis, naquela época havia imensas florestas repletas de colmos de bambu gigantes. Muitas dessas áreas eram habitadas por nativos que costumavam morar em cidades localizadas dentro das florestas de bambu, cercadas por fortes que construía usando bambus vivos como forma de proteção contra as tribos inimigas e depois contra os conquistadores espanhóis.

De acordo com Lopez (2003) é possível concluir que antes da chegada de Colombo, havia uma cultura do bambu nas Américas semelhante à da Ásia, e os dois centros de cultura de bambu mais destacados estavam localizados na Guatemala, América Central, e na área da Colômbia e do Equador. Os nativos destas áreas desenvolveram as melhores tecnologias de construção em casas e pontes de bambu, e se tornaram os melhores construtores com bambu das Américas. Este é o caso da tribo Paeces, que ainda existe no sul da Colômbia, e inventou as pontes estaiadas, originalmente feitas de bambu e que hoje são feitas com cabos de aço e concreto.

Ainda de acordo com Lopez (2003), com a chegada dos conquistadores espanhóis às Américas, começou uma perseguição sanguinolenta aos nativos para roubar seus tesouros ou subjugar-los como escravos. No final do século XVI, exterminaram 90% da população indígena das Américas, que, na sua grande maioria, pereceram incineradas pelos conquistadores espanhóis nas florestas de bambu onde buscavam proteção e onde tinham suas cidades e fortalezas de bambu.

Com eles desapareceram suas tradições e a cultura de bambu pré-colombiana que existia em todos os países do México até o Peru. E que estava mais desenvolvida na área da Colômbia e do Equador, onde existiam as melhores tecnologias na construção de casas e pontes. Desde então, o bambu só foi usado pelos nativos sobreviventes e seus descendentes e, mais tarde, pelas pessoas pobres e camponeses na construção de suas habitações.

Depois de ter sido um símbolo da identidade e da cultura dos nativos, o bambu se transformou em um símbolo de "sua miséria, escravidão e morte" e se tornou no momento da Colônia (após a conquista da América), a planta de ódio para os espanhóis e seus descendentes.

No meio do século XVIII, na Colômbia, centenas de "Antioqueños" ou descendentes de espanhóis, que moravam no Estado de Antioquia, emigraram com suas famílias para as montanhas dos Andes, onde fundaram o estado de Caldas e a cidade de

Manizales como sua capital. Durante sua longa viagem através das florestas de bambus e árvores nas montanhas, vales e rios, eles costumavam contratar indígenas como guias que também ajudavam na obtenção de comida e na construção de jangadas de bambu, pontes e moradias temporárias, em que os antioquenos costumavam passar semanas ou meses, e esse era o início do grande número de cidades que eles fundaram. O uso de técnicas tradicionais com bambu se fundiu as técnicas Europeias de construção, favorecendo o aproveitamento de construções com bambu nessa região da Colômbia.

A partir do século XIX, com o desenvolvimento de um Estilo Internacional na arquitetura mundial, valorizando artigos com aço, ferro, vidro e concreto, o uso do bambu se limitou às culturas orientais mais tradicionais e na América do Sul, às comunidades mais carentes da Colômbia e Equador, que utilizavam o bambu para construções (Fig. 15) e utensílios domésticos, pois estes países possuem uma ampla reserva natural de bambu da espécie *Guadua angustifolia*.



Figura 15 - Casas construídas com bambu em favelas e áreas rurais da Colômbia. Fotos: Autor (2015).

Considerando a variedade de usos do bambu, a facilidade de integração entre plantio, corte, transporte, manuseio e resistência deste material, isso tem levado diversos segmentos sociais e econômicos a considerá-lo como a madeira do século 21, podendo ser útil para a construção de moradias, principalmente para beneficiar camadas sociais mais carentes (ADAMS, 1997).

O bambu é um material que apresenta bastante versatilidade. Seu uso vai desde a produção de alimento e de artesanato, até a sua aplicação na construção civil. Ghavami (1992) afirma que o bambu é um material vantajoso para ser usado no Brasil, pois é bem adaptado ao clima tropical úmido, podendo ser encontrado em abundância na natureza. Se cultivado em grande escala, apresenta fácil manejo e

baixo custo de produção. Exige menos consumo de energia para a sua adequação a construção civil, do que os materiais industrializados convencionais. Portanto, o uso do bambu pode se caracterizar como uma prática construtiva capaz de gerar menos impactos sobre o meio ambiente, e assim, menos poluição.

De acordo com Oliveira (2006) nos anos de 1960, com a valorização de potencialidades locais e regionais, em diversas áreas, o bambu ressurgiu enquanto tecnologia construtiva, principalmente apontado por livros e autores de cunho mais ambientalista, já demonstrando uma futura preocupação com o meio ambiente, a poluição e o desperdício energético advindos da industrialização.

Atualmente alguns arquitetos e construtores, bastante especializados no uso do bambu, têm demonstrado um sentido estético apurado em suas construções, explorando o limite da resistência físico-mecânica do material na busca de formas plásticas de resultado singular e unicamente obtido pelas características do bambu. Como o pavilhão do pensamento, desenvolvida pelo arquiteto Simon Velez, em Manezales na Colômbia (Fig. 16a). Além de estruturas desenvolvidas em fazendas e zonas rurais na Colômbia (Fig. 16b).



Figura 16 - Figura 16a: Pavilhão do pensamento, Manezales, Colômbia (Arq. Simon Velez). Figura 16b: Estrutura de bambu na “La Pequeña granja da Mamá Lulu”, Quindío, Colômbia. Fotos: Autor (2010).

De acordo com Oliveira (2006) o bambu pode ser usado de diversas formas na arquitetura (Fig. 17), apresentando estilos e propósitos funcionais diferentes, por exemplo, em formas orgânicas, formando teias, até estruturas treliçadas de coberturas. A força e resistência deste material são facilmente identificadas diante das grandiosas construções encontradas em países da América do Sul e Indonésia, entre muitos outros. A beleza natural de suas peças, o crescimento e renovação de forma rápida contribuem

para a notoriedade deste material, que podem ser um excelente atrativo para construções turísticas e ambientalmente saudáveis.



Figura 17 - Estruturas de bambu em Bali. Fonte: <http://qz.com/367284/spectacular-bamboo-architecture/>

A trabalhabilidade do bambu é única, as peças são leves e já possuem acabamento natural. O bambu pode ser associado a diferentes materiais, em estruturas de concreto armado (Fig. 18), metálicas e de madeira, de forma a aproveitar da melhor forma possível suas propriedades físicas e mecânicas.



Figura 18 - Estrutura de concreto armado, estrutura da cobertura de bambu e telhas cerâmicas, na Colômbia. Foto: Autor (2010).

As características relacionadas à orientação das fibras propiciam seu processo de industrialização, no qual é possível transformar um bambu roliço em (uma série) de ripas de bambu (Fig. 19).

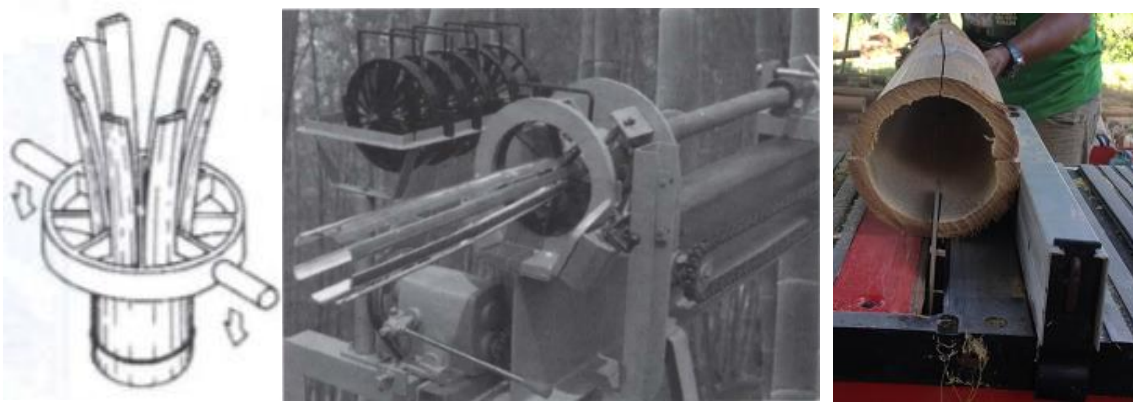


Figura 19 - Figura 19a: Ripas produzidas com faca radial. Figura 19b: Ripas produzidas com faca radial automatizada. Fonte: Lopez (2003). Figura 19c: Abertura do colmo com serra circular de bancada. Foto: Autor (2016).

Estas ripas podem ser trabalhadas de diferentes maneiras e empregando inúmeras tecnologias para o desenvolvimento de “laminados colados” que possuem resistências comparadas as madeiras mais nobres. O uso dessas mesmas ripas sem nenhum tipo de industrialização também pode ser empregado na construção civil, desenvolvendo estruturas produzidas com um conceito de casca (Fig. 20), no qual as formas orgânicas e simétricas e a sobreposição de ripas podem desenvolver diversas estruturas.



Figura 20 - Estrutura com bambu cilíndrico e ripas de bambu realizada durante o curso de Jorg Stamm, Colômbia (2010). Foto: Autor (2010).

Segundo Liese (1998), Janssen (2000), López (2003), o bambu possui excelentes propriedades mecânicas, as quais são influenciadas pelo conteúdo de umidade do colmo, e se correlacionam com a idade e densidade deste, mas dependem principalmente da quantidade de fibras, principal responsável pela sua resistência. Na condição seca a resistência é maior do que na condição verde, sendo um conceito geral que os bambus estão maduros com cerca de três anos, quando alcançam sua máxima resistência.

O uso do bambu pode ser observado em diferentes países, cada um tem suas utilidades para essa incrível matéria prima, e graças as tecnologias, esses conhecimentos podem ser transmitidos rapidamente, de forma a aumentar o conhecimento geral.

Podendo dessa forma auxiliar o desenvolvimento de novas formas de aplicação do bambu, agregando conceitos de outras áreas e intensificando suas características positivas além de melhor entender e desenvolver métodos de controle de suas características menos favoráveis.

De acordo com Oliveira (2006), mais recentemente, os conhecimentos sobre a técnica de utilização do bambu para bens industrializados vêm ganhando espaço no mercado, principalmente internacional.

O bambu tem sido apresentado como a madeira do século 21, devido às suas características de grande resistência mecânica, beleza e multiutilidades. Existe um crescimento da indústria de móveis, acessórios para decoração e artesanato, voltada para materiais rústicos e fibrosos, que estão empregando cada vez mais o bambu como matéria-prima para a produção destes produtos.

Outros produtos como revestimento laminado para móveis, piso em placas prensadas e coladas de bambu também têm sido uma novidade no mercado de revestimentos. O importante centro de pesquisas chinês China Bamboo Research Center (CBRC, 2011) destacou que a partir dos anos 1980 tem havido uma intensificação do uso do bambu em diversas áreas industriais, sobressaindo-se a produção de alimentos, a fabricação de produtos, além de aplicações em engenharia e na química. Produtos à base de bambu processado (“madeira” de bambu) podem substituir, ou até mesmo evitar, o corte e o uso predatório de florestas tropicais.

Destacando-se, outros produtos como: chapas de aglomerados, chapas de fibra orientada (Fig. 21), chapas entrelaçadas para uso em fôrmas para concreto (compensado de bambu), painéis, produtos à base de bambu laminado colado (tais como pisos, forros, lambris), esteiras, compósitos, componentes para construção, habitação e indústria moveleira, dentre outros.

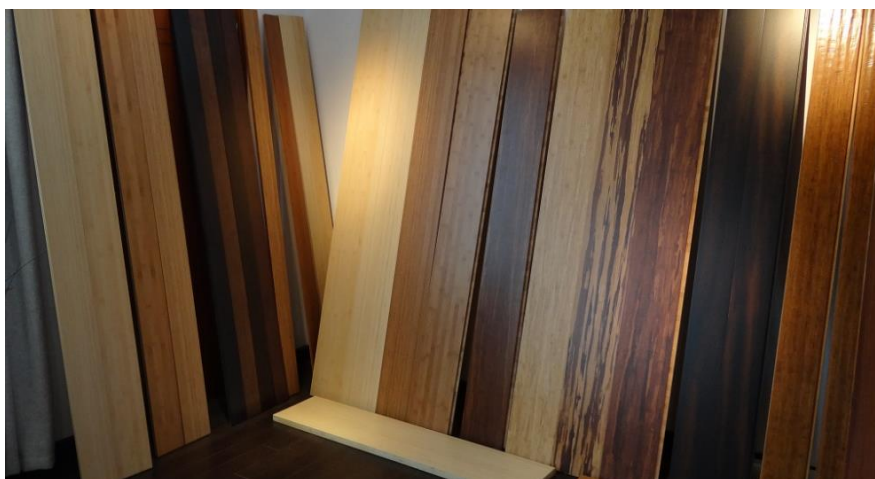


Figura 21 - Diversos tipos de laminados de bambu produzidos na China. Foto: Autor (2011).

2.2 Normas de construção com Bambu

Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas, uma norma técnica é um documento estabelecido por consenso e aprovado por um organismo reconhecido que fornece, para uso comum e repetitivo, regras, diretrizes ou características para atividades ou para seus resultados, visando à obtenção de um grau ótimo de ordenação em um dado contexto. Seu objetivo é simplificar e reduzir procedimentos na elaboração de produtos e serviços, para facilitar o intercâmbio comercial e tecnológico, com base em referências padronizadas para evitar regulamentos conflitantes sobre produtos e serviços em diferentes países (MELO, 2010).

De acordo com Melo (2010), a normalização dos materiais de construção é de importância fundamental para seu uso de forma racional, econômica e segura. Materiais mais homogêneos exigem procedimentos de caracterização mais simplificados.

Atualmente o bambu é utilizado na execução de diversas obras estruturais, seu uso já está presente desde pequenas estruturas de jardim até construções de múltiplos pavimentos. Por este motivo é necessário que o bambu seja regulamentado e seu uso na construção civil também seja normatizado. Dessa forma os profissionais poderão utilizar essa norma para construir de forma mais segura e padronizada, além de possibilitar o acesso do material a programas habitacionais, e efetivar o bambu como material de construção no Brasil.

Existem inúmeras obras que utilizam o bambu com função estrutural no país, e diversos profissionais que já trabalham com o bambu nos mais diversos sistemas estruturais. O bambu não é um novo material, seu uso já é antigo e diversas civilizações

foram construídas com o uso desse material (LOPEZ, 2003). Alguns países possuem um amplo conhecimento sobre o bambu, por este motivo já existem inúmeras normas técnicas para o uso do bambu na construção civil, além de normas para colheita, tratamento, secagem e industrialização desse material.

López (2003) comentou que cada espécie de bambu possui características mecânicas, físicas e anatômicas próprias, as quais dependem de fatores ligados às condições ambientais onde crescem, incluindo clima, tipo de solo e sua constituição química, altitude e condições topográficas locais, bem com relação à idade do colmo e às partes do colmo que são estudadas. Dessa forma, comentou ser difícil a extrapolação e utilização de dados obtidos entre diferentes localidades e espécies, também muitas vezes utilizando diferentes metodologias.

Alguns países foram pioneiros em normas técnicas para testes físicos e mecânicos, e orientações construtivas com bambu, como é o caso da Índia (INDIAN STANDARD 6874) que foi inicialmente desenvolvida em 1973. País que também possui uma variedade muito grande de bambus nativos e o seu uso para o desenvolvimento de habitações já é muito antigo. Contudo a norma mais utilizada ainda é a norma internacional ISO (International Organization for Standardization), que serviu para o desenvolvimento de quase todas as outras normas existentes sobre o bambu.

A ISO possui 3 normas técnicas que são muito utilizadas para o uso do bambu na construção: Structural design - ISO 22156: 2004; Determination of physical and mechanical properties - Part 1: Requirements - ISO 22157-1: 2004; Determination of physical and mechanical properties - Part 2: Laboratory manual - ISO 22157-2: 2004. Utilizando essas normas ISO como base, alguns países possuem normatizações nacionais, adicionando informações pertinentes aos seus sistemas estruturais e problemas relacionados aos locais de implantação das obras, como terremotos e ventos.

Países como Colômbia (Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente: NSR-10), Peru (Reglamento Nacional de Edificaciones: Norma NTE E.100) e Equador (Norma Ecuatoriana de la Construcción: NEC - Estructuras de Guadúa (GaK)) já possuem normas sobre a utilização do bambu na construção. O principal motivo para que estes países sejam pioneiros na normatização do bambu na América do Sul, é o fato de que o bambu pode ser encontrado nesses lugares de forma concreta, nas construções e habitações populares. E seu uso está sendo expandido para construções de maior porte e

para classes com maior poder aquisitivo, provando o potencial do bambu como material de construção.

Com a necessidade de normatizar o seu uso, estes países fortaleceram as pesquisas sobre o bambu na construção. Grupos de profissionais se uniram e redigiram normas que pudessem ser utilizadas por outros profissionais com o intuito de garantir o uso correto do bambu nas construções a serem realizadas. Outro fator importante é a quantidade de bambus com características para serem utilizados na construção civil, uma vez que nesses países o bambu do gênero *Guadua* é espécie nativa, e sua presença é muito grande em algumas regiões.

As normas redigidas por esses países são bem completas e não somente estão preocupadas com os ensaios físico mecânicos de amostras de bambu, mas também com orientações para o correto uso do material das mais diversas formas e situações. Essas normas facilitam o entendimento do uso estrutural do bambu e normatizam os mais variados sistemas estruturais.

Durante os últimos anos cada país tem desenvolvido sua própria normatização (Fig. 22) levando em conta os conhecimentos locais relacionados as construções e tipo de bambu que mais costumam utilizar em suas obras, contudo essas normas possuem muitas similaridades. Em muitos casos sendo referência normativa para as normas seguintes.

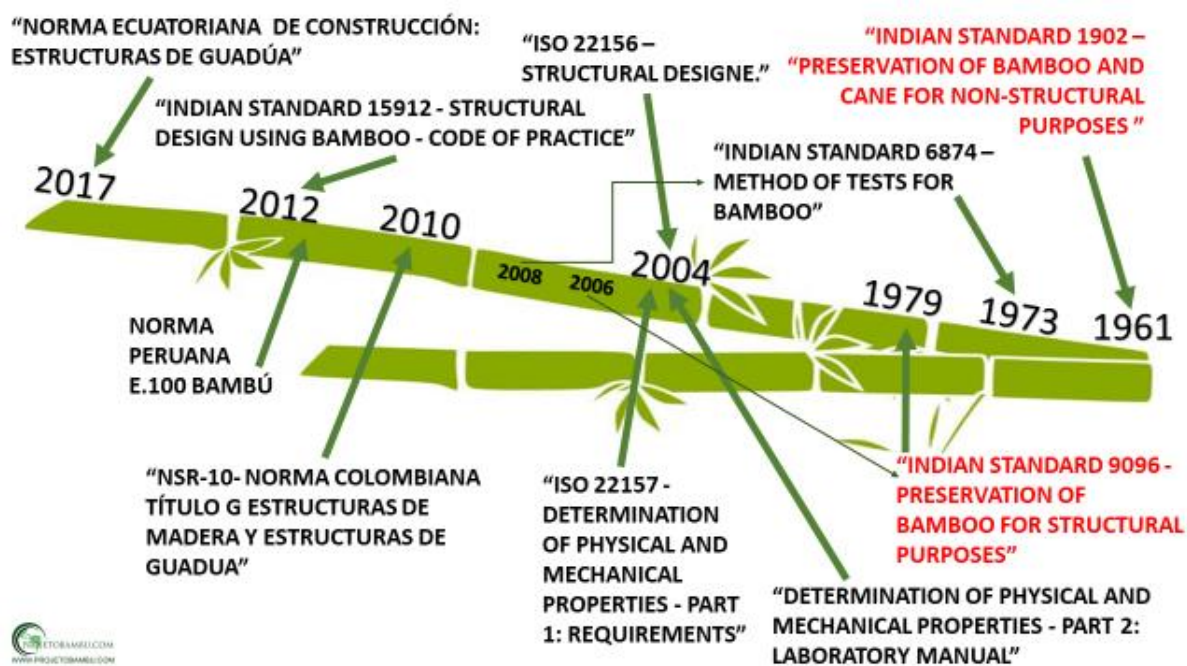


Figura 22 - Normatizações sobre bambu em ordem cronológica. Fonte: Autor (2017).

De acordo com Soares (2013), a utilização das normas é fundamental para o correto dimensionamento das estruturas em bambu, sendo as normas mais importantes as anteriormente citadas (Colombiana, Peruana e a Indiana) e a norma internacional (ISO). Soares (2013) também relata que as edições mais recentes das normas nesses países se apoiam muito na norma internacional, embora existam naturalmente aspectos práticos e de evolução local que as caracterizam, e que no global ajudam a caracterizar melhor a maneira de abordar as dificuldades.

2.2.1 – Norma Indiana

A primeira norma sobre testes físicos mecânicos com bambu, “Indian Standard 6874 – “Method of tests for bamboo”, surgiu em 1973, e foi reeditada em 2008. Contudo a primeira normatização para o bambu na Índia aconteceu em 1961, com o desenvolvimento da norma “Indian Standard 1902 – “Preservation of bamboo and cane for non-structural purposes ”. Existe também na Índia a norma “Indian Standard 9096 - “Preservation of bamboo for structural purposes”, que foi inicialmente publicada em 1979 e reeditada em 2006.

De acordo com Soares (2013) mesmo antes do desenvolvimento das normas nesse país, já haviam sido feitos muitos ensaios com esse material, porém, uma grande dispersão de resultados era encontrada, isto se deve ao fato que cada investigador definia os seus critérios e desenvolvia as suas técnicas de análise, o que tornava a comparação de resultados bastante difícil. A norma Indiana foi desenvolvida com o objetivo de permitir que o bambu pudesse ser utilizado na construção de forma sistemática, fazendo frente a outros materiais e com diferentes variáveis a serem analisadas e comparadas.

Em 2012 a Índia também publicou normas para o uso do bambu em construções denominada “Indian Standard (IS) 15912-2012: Structural Design using Bamboo - Code of Practice”. Esta normatização foi criada com o intuito de facilitar e melhorar o uso do bambu na construção civil. A Índia possui mais de 100 espécies de bambu nativas das quais 16 são recomendadas para o uso estrutural e foram sistematicamente estudadas e testadas. Essas 16 espécies foram separadas em 3 grupos baseados nas suas resistências físicas (Tab. 2).

Tabela 2 – Tabela de agrupamento de espécies de Bambu na Índia. Fonte: Structural Design using Bamboo - Code of Practice (2012), adaptada.

	Módulo de Ruptura (R) (N/mm ²)	Módulo de Elasticidade (E) à Flexão (10 ³ N/mm ²)	Tensão Máxima de Compressão (f_{c, max}) (N/mm ²)
Grupo A	R > 70	E > 9	TMC > 35
Grupo B	70 ≥ R > 50	9 ≥ E > 6	35 > TMC > 30
Grupo C	50 ≥ R > 30	6 ≥ E > 3	30 > TMC > 25

As tensões de ruptura podem ser calculadas com o uso da norma indiana (INDIAN STANDARD 6874, 2008). Esses valores devem então ser minorados por fatores de correlação apropriados para que sejam obtidas as tensões admissíveis de projeto. Para o cálculo desses valores é necessário levar em consideração alguns fatores como variabilidades relacionadas aos colmos, tipos e formas das cargas atuantes, localização e forma de atuação dos esforços, carregamentos dinâmicos e duração das cargas.

2.2.2 – Norma Internacional ISO

ISO (Organização Internacional de Estandarização) é uma federação mundial de organismos nacionais de normatização. O trabalho de elaboração de Normas Internacionais é normalmente realizado através dos Comitês Técnicos ISO. Cada órgão membro interessado em um assunto para o qual um comitê técnico foi estabelecido, tem o direito de ser representado nesta comissão. Organizações internacionais, governamentais e não governamentais, em ligação com a ISO, também participam do trabalho.

Discussões sobre a necessidade de uma normatização internacional sobre bambu foram iniciadas em 1988, durante o Workshop Internacional de Bambu em Cochin na Índia. Porém devido à falta de recursos o trabalho foi efetivamente iniciado em 1997, quando o INBAR (International Network for Bamboo and Rattan), com sede em Beijing na China, foi criado como uma agência internacional e obteve recursos necessários do governo Holandês. Em 1998, textos preliminares foram escritos e distribuídos para um grupo de especialistas do INBAR. O primeiro encontro dos membros desse grupo ocorreu em 1998 em São José na Costa Rica. Durante o ano de 1999 os resultados desse e outros

encontros foram incorporados os textos preliminares até que o texto melhorado fosse submetido formalmente a ISO.

No ano de 2001 foram publicados alguns documentos que serviram de base para as normas atualmente utilizadas: ISO/TC 165N315 - Laboratory Manual on Testing Methods for Determination of Physical and Mechanical Properties of Bamboo; ISO/TC165 N314 - Determination of Physical and Mechanical Properties of Bamboo; ISO/TC165 N313 - Bamboo Structural Design.

Em 2004 foram publicadas as normas internacionais que são utilizadas até hoje: ISO 22157 - Determination of Physical and Mechanical Properties - Part 1: Requirements; ISO 22157 - Determination of Physical and Mechanical Properties - Part 2: Laboratory manual; e ISO 22156 – Structural design.

A norma ISO 22157 - Determinação de propriedades físicas e mecânicas do bambu, foi originalmente preparada e submetida pelo INBAR, com o objetivo de demonstrar que o bambu esta equiparado ao nível de aproveitamento de diversos materiais de construção e engenharia, internacionalmente reconhecidos e aceitos. Essa norma é dividida em duas partes: Parte 1 – Requisitos e Parte 2 – Manual de laboratório. Essa norma especifica métodos de testes para avaliar as seguintes características físicas e propriedades de resistência do bambu: teor de umidade, massa por volume, encolhimento, compressão, flexão, cisalhamento e tração. A parte de requisitos está organizada para fornecer informações e orientações para testes padrões a serem realizados para determinar as propriedades do bambu como material de construtivo. O manual para funcionários de laboratório, ISO 22157- Parte 2, complementa as informações necessárias para os testes laboratoriais.

A norma ISO 22156 - Bambu – Projeto Estrutural, se aplica ao uso do bambu em estruturas, seja ele cilíndrico, ripado ou laminado e colado. Essa norma é baseada no projeto para estados limites e no desempenho das estruturas. A maior preocupação dessa norma são os requisitos para resistência mecânica, capacidade de manutenção e durabilidade das estruturas de bambu.

Para o desenvolvimento dessa padronização internacional é necessário que os seguintes pressupostos sejam seguidos: as estruturas são projetadas por pessoal apropriadamente qualificado e experiente, a verificação das qualificações do profissional para a concepção de uma estrutura de bambu é da responsabilidade da jurisdição em que

o projeto deve ser construído; supervisão adequada e controle de qualidade são fornecidos em fábricas, plantas e no local; a construção é realizada por pessoal com a habilidade e experiência apropriadas; os materiais e produtos de construção são utilizados conforme especificado na norma, ou em material relevante ou especificações do produto; a estrutura será mantida adequadamente; a estrutura será usada de acordo com a orientação do projeto.

2.2.3 – Norma Colombiana NSR-10

O regulamento colombiano de construções sísmo resistentes (Reglamento Colombiano de Construcción Sísmo Resistente: NSR-10) é uma norma técnica colombiana promulgada e sancionada em 2010. Essa norma regulamenta as condições necessárias para que as construções apresentem comportamento adequado e resistência estrutural favorável em condições de abalo sísmico.

O Capítulo G.12 dessa norma, fornece requisitos para o projeto estrutural de construções cujo elemento estruturante principal é o bambu *Guadua angustifolia* Kunth (bambu nativo da Colômbia). As informações e parâmetros presentes nessa norma podem ser utilizados para o projeto de elementos estruturais construídos totalmente com guadua, ou para estruturas mistas de guadua e outros materiais.

Outras espécies de bambus não são levadas em consideração para o desenvolvimento desta norma, limitando o uso dos parâmetros e recomendações apenas ao bambu *Guadua angustifolia*. Esta norma limita em até dois pisos os projetos estruturais que utilizem o bambu, não permitindo paredes de alvenaria ou paredes de concreto no nível superior da edificação.

Essa norma não deve ser usada para projetos de pontes ou estruturas diferentes de edificações como: residência, comércio, indústria e educação. Quando as estruturas construídas possuem uma área superior a 2000m², é recomendado realização de provas de carga antes da mesma entrar em funcionamento.

2.2.4 – Norma Peruana NTE E.100

Para o desenvolvimento da Norma Peruana NTE E.100 foram utilizadas como referências as normas ISO e a normas Colombianas anteriormente comentadas. A norma peruana de construção com bambu foi sancionada em 2012 e tem como objetivo estabelecer as diretrizes técnicas que devem ser seguidas para o projeto e construção de

edificações sísmo resistentes com bambu *Guadua angustifolia* e outras espécies de características físico mecânicas similares.

Esta norma se aplica de forma obrigatória para edificações de bambu com até dois pisos, com cargas vivas máximas distribuídas de até 250 Kgf/m². Por razões de segurança com relação a terremotos e incêndios, toda edificação deve estar distanciada das outras construções laterais de acordo com normas específicas.

2.2.5 – Norma Equatoriana

A norma equatoriana de construções com bambu foi desenvolvida por uma equipe de trabalho liderado pelo “Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI)” , integrado por grupos de profissionais nacionais e internacionais com experiência sobre construções com Bambu, juntamente com a participação de entidades públicas e privadas, instituições de educação superior e a importante participação da “Red Internacional de Bambú y Ratán (INBAR)” e da “Universidad Católica Santiago de Guayaquil (UCSG)”.

A norma equatoriana de construção com bambu foi publicada em 2017 e teve como referência normativa: Norma Técnica NTE E.100 Bambu do “Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento” do Peru; Norma Sísmo Resistente NSR-10 “Reglamento Colombiano de Construcción Sísmo Resistente”; e as normas Internacionais ISO.

A norma Peruana é direcionada ao projeto estrutural de edificações com bambu *Guadua angustifolia* Kunth (GaK) e outras espécies de características físico mecânicas similares, com até dois pisos, para o projeto de casas, equipamentos em geral e estruturas de suporte e infraestrutura, com cargas vivas máximas distribuídas de até 2,0 kN/m². São necessários projetos estruturais para: estruturas com vãos maiores de 3 metros; edificações com superfícies maiores que 200 m²; e tipologias arquitetônicas como casas ou equipamentos cujo modelo seja replicado em mais de 15 unidades ou mais de 3000 m² de área construída. As recomendações mínimas estabelecidas nessa norma podem ser usadas tanto para projetos de estruturas desenhadas totalmente em bambu quanto para estruturas mistas.

3. SÍNTESE DO CAPÍTULO I - POTENCIAL DE APROVEITAMENTO DO BAMBU - COLMO EM ESTRUTURAS PREDIAIS

O bambu é um material com características interessantes. Sua utilização é muito antiga e seus diversos usos podem ser tão amplos quanto a própria imaginação humana.

No âmbito da construção civil, o bambu se apresenta como uma alternativa segura, prática, econômica, sustentável, atraente e durável.

Como apresentado, o bambu possui um potencial muito grande para aproveitamento em sistemas construtivos e estruturas prediais. Sua utilização é tão antiga quanto a própria necessidade de se construir, fazendo com que as técnicas e conhecimentos necessários para sua utilização, fossem aprimorados e melhorados durante os diversos séculos que esse material já é amplamente aproveitado.

Sua alta resistência mecânica, aliado a uma produção contínua, sem necessidade de replantio, que produz novos colmos anualmente, e que em um curto espaço de tempo já estão aptos para serem utilizados na construção civil, faz desse material uma excelente alternativa para “novos” materiais construtivos.

Estruturas de pequeno, médio e grande porte são projetadas e executadas por diferentes culturas, em diversos locais do planeta, mostrando que o bambu pode ser usado de forma segura, eficiente e esteticamente atraente. As pesquisas realizadas em diversos países, sobre os pontos fortes e fracos desse material, já são suficientes para orientar os produtores e construtores a melhor aproveitar o potencial de aproveitamento estrutural dessa matéria prima.

Em países como a Colômbia, é possível observar estruturas construídas com bambu que estão íntegras e esteticamente atraentes mesmo após o uso constante (Fig. 23). É possível encontrar obras centenárias de bambu, e tantas outras que possuem décadas desde construídas, e que passaram por desastres naturais, como terremotos. Essas estruturas podem ajudar no entendimento dos sistemas construtivos com bambu. Assim é possível observar as possibilidades de se construir com este material, podendo melhor entender aqueles pontos que ainda demandam um pouco mais de atenção por parte dos projetistas e construtores.



Figura 23 - Estruturas de bambu na Colômbia. Fotos: Autor (2010).

Em diversos países é possível encontrar estruturas executadas com bambu, como a Big Tree Farms (Fig. 24a), ou o pavilhão de bambu construído pelo arquiteto Markus Heinsdorff na Expo Shangai em 2010 (Fig. 24c). Essas estruturas demonstram que essa matéria prima pode ser parte integrante dos sistemas construtivos atuais, e que as possibilidades de uso dessa incrível gramínea são surpreendentes.



Figura 24 – Figura 24a: Fábrica de chocolate construída em Bali. Figura 24b: Estrutura desconhecida. Figura 24c: Pavilhão de bambu na Expo Shangai. Fonte: Internet (Endereços eletrônicos).

Muitos arquitetos, engenheiros, projetistas e entusiastas tem utilizado o bambu no desenvolvimento de estruturas prediais. No Brasil também é possível observar várias estruturas projetadas e executadas por profissionais que utilizam o bambu como mais uma matéria prima no desenvolvimento de sistemas estruturais. Obras como do centro cultural Max Feffer, projetada pela arquiteta Leiko Motomura em Pardinihos/SP (Fig. 25a), assim como as diversas estruturas desenvolvidas pela arquiteta Celina Llerena em Mauá/RJ (Fig. 25b e c).



Figura 25 - Figura 25a- Centro de Cultura Max Feffer, Pardinihos/ SP. Figura 25b e 25c- Estruturas de bambu desenvolvidas pela arquiteta Celina Llerena, Mauá/ RJ. Fotos: Autor (2011).

Como mostrado na presente dissertação, as recomendações e orientações para utilização do bambu em estruturas prediais (normas técnicas) já existem e são utilizadas desde 2001, contudo esse material já é utilizado de forma eficiente e segura a centenas de anos. Utilizar o bambu como um material de construção, capaz de somar aos sistemas

construtivos convencionais, poderia tornar as obras mais ambientalmente saudáveis, além de mudar a forma de pensar em sistemas construtivos modernos.

Grande parte das obras atuais acabam sendo modificadas ou reformadas em um curto espaço de tempo, gerando resíduos que não serão rapidamente degradados pelo meio ambiente. O Bambu além de todas as características anteriormente citadas, também é biodegradável, sempre que a preservação utilizada também o seja, não sendo um gerador de resíduos quando a estrutura não for mais necessária.

Outro fator importante é a quantidade de energia necessária, para produzir os materiais de construção atualmente utilizados. Todo o processo de extração, seleção, transporte e produção são fatores que fazem os diferentes materiais de construção se tornarem sustentáveis. O bambu demanda um pequeno gasto energético para estar apto a ser usado na construção civil, possuindo assim um potencial muito grande de redução energética em sua produção.

Sua forma cilíndrica, peso próprio, beleza natural, leveza, facilidade de transporte e trabalhabilidade, são características que ajudam o bambu a ser amplamente utilizado em diversas obras e sistemas estruturais. Um maior conhecimento sobre essa planta, agregado a capacitação de empresas e profissionais para seu correto beneficiamento e utilização na construção civil, será muito importante para que o bambu venha a ocupar o espaço que seu potencial de aproveitamento lhe permite.

Também é importante ressaltar que um dos maiores problemas encontrados por quem trabalha com bambu no Brasil é a falta de fornecedores de material de qualidade e em quantidade necessária. A maioria das obras é realizada com bambus recém cortados e muitas vezes sem tratamentos corretos ou processos de secagem adequados. A preservação (Fig. 26b) é primordial para garantir uma vida útil da estrutura contra fungos e insetos. Já um adequado processo de secagem em estoque (Fig. 26d) evita o aparecimento de fissuras, pois grande parte delas ocorre pela perda de umidade durante a secagem (Fig. 26c). Como em qualquer espécie de madeira o percentual de umidade do bambu deve ser reduzido de forma progressiva e controlada até pelo menos atingir equilíbrio com o ambiente, desta forma grande parte da água presente no material é extraída, permitindo que o bambu possa ser armazenado, comercializado e transportado sem sofrer de forma comprometedora durante a troca de ambiente. Para desenvolver plantios comerciais (Fig. 26a) e tecnologias que permitam realizar este processo de

beneficiamento, é necessário um grande investimento por parte dos produtores, que acarreta em um aumento do valor do bambu no mercado. É necessário que as novas leis de incentivo ao plantio e ao beneficiamento do bambu (BRASIL, 2011) possam tornar possível este desenvolvimento e finalmente tornar real o comércio de bambus de qualidade no Brasil.



(A)

(B)

(C)

(D)

Figura 26 - Figura 26a: Plantio comercial de bambu. Figura 26b: Tratamento por submersão. Fonte: autor desconhecido. Figura 26c: Secagem em pátio. Figura 26d: Armazenagem e secagem. Fotos: Autor (2010-2014).

CAPITULO II – APRESENTAÇÃO DAS INFORMAÇÕES ESTUDADAS SOBRE AS NORMAS

Nesse capítulo se apresentam as informações selecionadas nas normas estudadas, afim de fornecer as recomendações e orientações normatizadas para produzir, ensaiar, projetar, dimensionar e executar estruturas prediais com Bambu.

4. ORIENTAÇÕES PARA ENSAIOS LABORATORIAIS

4.1 Norma Indiana

A norma “Indian Standard 6874 – “Method of tests for bamboo” apresenta inicialmente uma referência sobre os termos a serem utilizados durante o documento e informações sobre as propriedades físicas e mecânicas.

Para cada espécie a ser estudada, seis colmos maduros devem ser colhidos de forma aleatória de uma população bem maior, sendo que cada colmo deve ser colhido de uma touceira diferente, em distintas posições geográficas que cubram o raio de produção da espécie selecionada. As variações devem ser as menores possíveis e os colmos devem estar livres de defeitos. Não devem ser utilizados colmos fissurados.

Devem ser seguidas recomendações de colheita e acondicionamento durante o manuseio do material. As amostras que serão analisadas devem ser retiradas de diferentes posições do colmo: parte basal, mediana e apical. Essas partes devem ser marcadas logo após a colheita do colmo, que deve ser cortado em tamanhos aproveitáveis (2 ou 3 peças) e identificadas sobre a qual posição do colmo pertenciam.

Para o cálculo das resistências físicas e mecânicas, as peças de bambu devem ser acondicionadas em ambiente controlado, com temperatura de $27 \pm 2^\circ\text{C}$ e 65 ± 5 por cento de umidade relativa do ambiente por pelo menos 1 semana, de modo a alcançar um teor de umidade de equilíbrio de 12 por cento.

Analisando a norma Indiana é possível verificar que grande parte dos corpos de prova para o desenvolvimento dos diferentes ensaios apresentados nela são oriundos de ensaios anteriormente realizados, ou seja, após o ensaio de flexão (onde o mais longo corpo de prova é utilizado) são retirados pedaços não danificados que serão utilizados nos ensaios de compressão, tração, cisalhamento e teor de umidade.

Para o cálculo da densidade é necessário coletar amostras de diferentes partes do colmo recém cortado (basal, mediana e apical). Para o teste de encolhimento é recomendado utilizar corpos de prova da parte inferior dos colmos recém cortados.

Para os ensaios a flexão o comprimento das amostras deve ser pelo menos 30 vezes o diâmetro no ponto médio mais 1 m. Deve ser usada uma máquina de ensaio adequada, capaz de medir cargas próximas a 100 N e deflexão próximo de 1 mm. O ensaio deve ser um ensaio de flexão de quatro pontos. O teste deve ser montado em apoios adequados de tal maneira que as forças de reação nos suportes sejam transmitidas para os nós mais próximos. A peça de bambu deve permitir-se rodar livremente nos suportes. A carga deve ser aplicada em dois pontos, com o apoio apropriado de forma a posicionar o suporte sobre os nós do bambu (Fig. 27). A carga deve ser aplicada de forma contínua, com a parte móvel da máquina se deslocando a uma velocidade de 0,5 mm/s. O deslocamento deve ser medido com o uso de um gabarito lateralmente instalado, a cada 500 N de aumento da carga. A carga máxima para o rompimento do corpo de prova deve ser anotada.

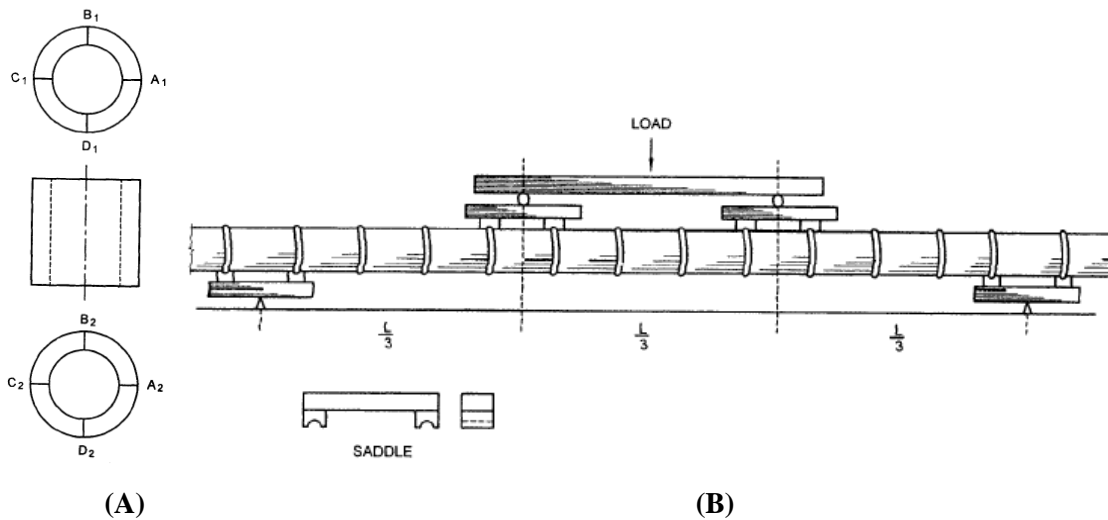


Figura 27 - Figura 27a - Pontos de medição de diâmetro e espessura da parede da amostra de bambu. Figura 27b - Método de aplicação de carga e suporte de apoio para teste de flexão. Fonte: IS 6874 (2008).

O momento de inércia I em mm^4 é calculado da seguinte forma:

$$I = \frac{\pi}{64} [D^4 - (D - 2t)^4]$$

Onde:

D = Diâmetro externo, em mm

t = espessura da parede, em mm

A tensão admissível $\sigma_{ult.}$, no cálculo de flexão estática, em N/mm^2 , deve ser determinado da seguinte forma:

$$\sigma_{ult} = \left[\frac{1}{6I} \left(FL \frac{D}{2} \right) \right]$$

Onde:

I = Momento de inércia, em mm⁴

F= Carga máxima, em N

L= Vão efetivo, em mm

D= Diâmetro externo, em mm

Módulo de elasticidade E, em N/mm², deve ser calculado da seguinte forma:

$$E = \frac{23 s L^3}{1296 I}$$

Onde:

L= Vão efetivo, em mm

I = Momento de inércia, em mm⁴

s = Inclinação da parte linear do diagrama de tensão – deformação, em N/mm

Para os ensaios a compressão paralela as fibras os corpos de prova deverão ser retirados das pontas não danificadas das peças utilizadas nos ensaios a flexão. Os corpos de prova deverão ser retirados dos entrenós, não podendo conter nós. A altura será igual ao diâmetro externo. As faces de corte do corpo de prova devem estar perfeitamente paralelas com um desvio máximo de 0,2 mm. Um dos “pratos” da máquina a ser utilizada no ensaio deve ser livre a rotação e é sugerido o uso de uma camada de teflon ou material semelhante para minimizar o atrito entre o corpo de prova e os pratos da máquina. O corpo de prova deve ser posicionado com o centro alinhado ao centro do “prato” da máquina, e uma carga de no máximo 1 kN deve ser aplicada sobre o corpo de prova para estabiliza-lo. A carga deve ser aplicada de forma continua, com a parte móvel da máquina se deslocando a uma velocidade de 0,01 mm/s. A carga máxima para o rompimento do corpo de prova deve ser anotada.

A máxima tensão de compressão σ_{ult} , em N/mm², pode ser calculada da seguinte forma:

$$\sigma_{ult} = \frac{F_{ult}}{A}$$

Onde:

F_{ult} = Carga máxima, em N

A = Área da seção transversal do corpo de prova utilizado, em mm².

A equação para o cálculo da área é demonstrada abaixo.

$$\frac{\pi}{4} [D^2 - (D - 2t)^2]$$

Onde:

D= Diâmetro externo, em mm

t = espessura da parede, em mm

Para os ensaios a tração paralela as fibras os corpos de prova deverão ser retirados das pontas não danificadas das peças utilizadas nos ensaios a flexão. Os corpos de prova deverão conter um nó no ponto médio do mesmo. O comprimento do corpo de prova deve ser de 60 mm e largura entre 10 e 20 mm (Fig. 28). A espessura do corpo de prova deve ser a mesma da espessura do bambu ou menor.

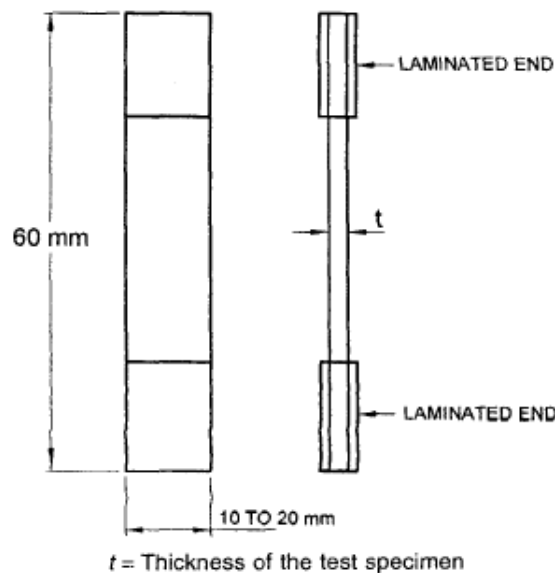


Figura 28 – Dimensões do corpo de prova para teste a tração. Fonte: IS 6874 (2008).

É muito importante que o corpo de prova esteja bem fixado aos grampos da máquina, evitando assim que o rompimento seja realizado por outros fatores que não à tração. Por este motivo é permitido que as pontas do corpo de prova sejam reforçadas com um laminado. A carga deve ser aplicada de forma contínua, com a parte móvel da máquina se deslocando a uma velocidade de 0,01 mm/s. A carga máxima para o rompimento do corpo de prova deve ser anotada.

A máxima tensão de tração σ_{ult} , em N/mm², pode ser calculada da seguinte forma:

$$\sigma_{ult} = \frac{F_{ult}}{A}$$

Onde:

F_{ult} = Carga máxima, em N

A = Área da seção transversal, na região do rompimento, do corpo de prova utilizado, em mm^2 .

Para os ensaios de cisalhamento paralelo as fibras os corpos de prova deverão ser retirados das pontas não danificadas das peças utilizadas nos ensaios a flexão. Os corpos de prova deverão ser retirados dos entrenós, não podendo conter nós. A altura será igual ao diâmetro externo. O corpo de prova deve ser posicionado em máquina de teste adequada. O suporte inferior deve ser feito de aço com a forma de 2 triângulos opostos. O suporte superior deve ter a mesma forma, porém rotacionado a 90° . Formando assim 4 planos de corte paralelos as fibras (Fig. 29).

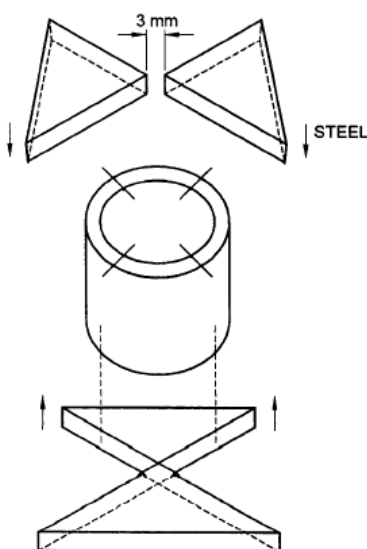


Figura 29 - Apoios para o ensaio de cisalhamento. Fonte: IS 6874 (2008).

O corpo de prova deve ser posicionado com o centro alinhado ao centro do “prato” da máquina, e uma carga de no máximo 1 kN deve ser aplicada sobre o corpo de prova para estabiliza-lo. A carga deve ser aplicada de forma contínua, com a parte móvel da máquina se deslocando a uma velocidade de 0,01 mm/s. A carga máxima para o rompimento do corpo de prova e a quantidade de planos de rompimento deve ser anotada.

A tensão máxima de cisalhamento σ_{ult} , em N/mm^2 , pode ser calculada da seguinte forma:

$$\sigma_{ult} = \frac{F_{ult}}{L t}$$

Onde:

F_{ult} = Carga máxima, em N

t = média da espessura da parede em 4 pontos, em mm

L = média do comprimento do corpo de prova nos 4 pontos onde as espessuras foram medidas, em mm

4.2 Norma Internacional ISO

A norma ISO 22157 - Determinação de propriedades físicas e mecânicas é dividida em duas partes: Parte 1 – Requisitos e Parte 2 – Manual de laboratório. A parte de requisitos está organizada para fornecer requisitos claros para testes padrões a serem realizados para determinar as propriedades do bambu como material de construção. O manual para funcionários de laboratório, ISO 22157- Parte 2, complementa as informações necessárias para os testes laboratoriais.

Antes de cada teste, as dimensões de cada amostra devem ser medidas corretamente na precisão de: 10mm para o comprimento do colmo, 1 mm para o comprimento ou altura de uma amostra paralela ao eixo do colmo, 1 mm para o diâmetro do colmo e 0,1 mm para a espessura da parede. O diâmetro deve ser medido 2 vezes em cada seção de corte, em direções perpendiculares, e a espessura de parede deve ser medida 4 vezes nos mesmos locais da medição do diâmetro. As amostras também devem ser pesadas anteriormente a cada teste com uma precisão de: 10g para o colmo, 1g para amostras com mais de 100g e 0,1g para amostras com menos de 100g.

Para evitar variações significativas nas propriedades de resistências, todas as amostras devem ser testadas com temperatura de $27 \pm 2^{\circ}\text{C}$ e 70 ± 5 por cento de umidade relativa do ambiente. No entanto, se os testes são feitos para o uso local dos resultados na própria região, ou se o laboratório não conseguir seguir as condições mencionadas acima, a temperatura e a umidade relativa ambiente podem ser usadas. Os valores exatos da temperatura e umidade relativa do ar devem ser registrados e mencionados no relatório do ensaio. Todos os aparelhos e equipamentos de ensaio utilizados na obtenção dos dados devem ser calibrados a intervalos suficientemente frequentes para garantir a precisão.

No caso de ensaios de propriedades para fins comerciais (comercialização de peças) o bambu utilizado para o desenvolvimento dos corpos de prova deve ser colhido de várias localidades diferentes, representativas de diferentes condições de crescimento, em toda a área geográfica da espécie utilizada. No caso de pesquisa científica, o bambu deve ser

colhido de localidades determinadas pelo propósito da pesquisa e mencionadas no relatório de projeto dos testes. As informações referentes ao local de colheita, seleção, marcações, entre outros, devem estar descritos em documento de referência.

Os bambus colhidos devem ser selecionados de diferentes populações plantadas, essa colheita deve ser supervisionada por uma pessoa que possa identificar a espécie e entender as várias implicações envolvidas na extração e nos testes. Quando necessário e conveniente, o responsável pelos testes laboratoriais pode inspecionar o local de colheita antes do corte. Para pesquisa científica os colmos colhidos devem estar livres de defeitos.

Para testar colmos de bambu vendidos para construção, os indivíduos a serem estudados devem representar de maneira justa a população total a ser usada para fins de construção, mesmo que toda a população tenha suas desvantagens. Os bambus fissurados, danificados e descoloridos devem ser descartados. Para testes comerciais os colmos devem apresentar idade similares.

O material colhido deve ser despachado o mais breve possível, preferencialmente em até 2 semanas após a colheita. Caso o material não possa ser enviado de imediato, o mesmo deve ser guardado em local sombreado, protegido de chuva e sem contato com o solo. Caso exista chance de rachaduras as pontas podem ser cobertas com alcatrão de carvão, parafina ou verniz, ou qualquer outra cobertura apropriada. Os colmos devem ser recebidos pelo responsável pelos testes laboratoriais, que deve verificar as informações e identificação dos diversos colmos e guardar apropriadamente essas informações. Os colmos de bambu devem ser armazenados pelo menor prazo de tempo possível, de forma que não ocorram deteriorações no material.

Os colmos devem ser cortados para a produção dos diferentes corpos de prova, assim como devem ser feitas marcações com o máximo de informações relevantes sobre o material para melhor identificação sobre cada corpo de prova. O número de corpos de prova para cada tipo de teste não deve ser inferior a 12.

Imediatamente após cada ensaio mecânico é necessário determinar a teor de umidade da amostra. Isso é feito pesando a amostra até que a mesma atinja massa constante durante o processo de secagem, a amostra deve ser secada em forno a uma temperatura de $103 \pm 2^\circ\text{C}$. O número de amostras para o teste de teor de umidade deve ser igual a quantidade de corpos de provas utilizado para os testes físico mecânicos. As amostras devem ter a forma de prisma, com aproximadamente 25 mm de largura, 25 mm

de comprimento e a espessura da parede do bambu utilizado. As amostras devem ser retiradas de local próximo de onde ocorreu a falha nos testes mecânicos, e devem ser estocadas em condições que assegurem que o teor de umidade não seja modificado até o ensaio.

Também é importante medir a densidade do bambu para os testes físico mecânicos. As amostras devem ter as mesmas dimensões daquelas utilizadas para o teor de umidade, porém também é permitido preparar o corpo de prova de um corte transversal completo (pedaço de entrenó) do colmo de bambu. É necessário medir as dimensões do corpo de prova e calcular seu volume, ou determinar o volume por um processo adequado (ex. imersão), a medida inicial é realizada com o material recém colhido. Depois as amostras devem ser secas até massa constante, porém esse processo deve ser realizado de forma gradual para minimizar deformações e rachaduras. A pesagem deve ser realizada imediatamente após a secagem.

Os testes de Encolhimento das amostras de bambu devem ser realizados com pedaços cilíndricos do colmo de bambu. Esse procedimento é realizado com as medições dos diâmetros externos, espessuras das paredes e peso das amostras, antes e após o processo de secagem. Os pontos onde as medições forem realizadas devem ser marcados de forma a facilitar que as mesmas sejam realizadas sempre no mesmo local. As amostras devem ter altura de 100mm. As amostras devem ser retiradas do colmo de bambu completo o mais próximo possível do local onde as amostras para os testes de compressão, cisalhamento e tração foram retiradas. No caso dos testes a flexão as amostras devem ser retiradas o mais próximo possível de onde houve o rompimento dos corpos de prova.

De qualquer forma as mostras devem estar livres de rachaduras iniciais. Se os testes de encolhimento forem realizados independentes de qualquer outro teste, as amostras devem ser retiradas da seção mais baixa do colmo (parte basal). Deve-se permitir que a amostra seque lentamente, com controle gradual de diminuição de umidade e aumento da temperatura. Pesos e volumes devem ser medidos constantemente até que as dimensões estejam constantes e um ciclo completo de climatização tenha acabado. As amostras devem finalmente ser colocadas em uma estufa com temperatura de $103 \pm 2^{\circ}\text{C}$ até que a amostra esteja completamente seca, finalmente as dimensões devem ser medidas uma última vez.

Para os testes de Compressão paralela às fibras, é possível obter a carga e tensão máxima para o rompimento do corpo de prova, além do módulo de elasticidade nominal.

O teste deve ser realizado em um equipamento adequado, pelo menos um dos pratos de apoio do corpo de prova deve estar equipado com um rolamento hemisférico, para obter distribuição uniforme do carregamento sobre as pontas do corpo de prova. Para reduzir o atrito entre as pontas do corpo de prova e a placa de aço da máquina de teste, é recomendado o uso de chapas de aço fino, teflon e cera. As amostras devem ser retiradas das partes basais, medianas e apicais do colmo de bambu, as mesmas também devem ser marcadas de forma a identificar de onde vieram. As amostras não devem conter nós e a altura deve ser igual ao diâmetro externo. Porém caso a amostra possua 20mm ou menos de diâmetro, a altura deve ser 2 vezes o diâmetro externo.

Essas orientações são dadas para teste com função comercial, entretanto para testes destinados a pesquisas científicas o responsável pode definir as dimensões da forma que achar mais conveniente. Os planos da extremidade do corpo de prova devem estar perfeitamente em ângulo reto ao comprimento da amostra. Os cortes das pontas devem ser planos, com um desvio máximo de 0,2 mm. Pelo menos dois medidores devem ser utilizados para determinar o módulo de elasticidade em cada corpo de prova, cada um em um lado oposto da mesma.

O corpo de prova deve ser posicionado de forma que seu centro coincida com ao centro do “prato” da máquina, e uma carga de no máximo 1 kN deve ser aplicada sobre o corpo de prova para estabiliza-lo. A carga deve ser aplicada de forma continua, com a parte móvel da máquina se deslocando a uma velocidade de 0,01 mm/s. A carga máxima para o rompimento do corpo de prova deve ser anotada. A expressão para o cálculo é a mesma utilizada na norma Indiana.

A máxima tensão de compressão σ_{ult} , em MPa (ou N/mm²), pode ser calculada da seguinte forma:

$$\sigma_{ult} = \frac{F_{ult}}{A}$$

Onde:

F_{ult} = Carga máxima, em N

A = Área da seção transversal do corpo de prova utilizado, em mm².

A equação para o cálculo da área e demonstrada abaixo.

$$\frac{\pi}{4} [D^3 - (D-2t)^2]$$

Onde:

D= Diâmetro externo, em mm

t = espessura da parede, em mm

Para os testes de Flexão, é possível obter a carga máxima, a capacidade de resistência a flexão de colmos de bambu usando o teste de 4 pontos, a curva de carga X deflexão vertical e o módulo de elasticidade a flexão. Caso a máquina utilizada para o teste tenha apenas um ponto de aplicação de carga, é necessário utilizar uma peça complementar de forma a conseguir que a carga seja aplicada em dois pontos. Para evitar que o seguimento de colmo sofra esmagamento, a aplicação das cargas e os pontos de apoio devem estar próximos aos nós, o uso de aparatos apropriados para facilitar a transferência dos esforços pode ser necessário. O seguimento de colmo deve estar livre para rotação no apoio dos suportes. O vão livre da peça a ser ensaiada deve ter no mínimo 30 vezes o diâmetro externo da peça, e estar livre de defeitos aparentes. O tamanho total da peça deve ser de pelo menos o tamanho do vão livre acrescido de meio entrenó em cada ponta. A peça de bambu deve ser colocada sobre os apoios, permitindo que a peça encontre naturalmente sua própria posição, posteriormente deve ser posicionada a peça que divide a aplicação da carga, alinhando visualmente todos os elementos do teste junto à máquina. A carga deve ser aplicada de forma contínua, com a parte móvel da máquina se deslocando a uma velocidade de 0,5 mm/s. Deve-se observar as rachaduras e descrever como ocorreu o rompimento. Após o teste deve-se medir novamente o diâmetro externo e a espessura da parede o mais próximo possível do ponto de aplicação da carga, podendo-se calcular o momento de Inércia.

- a) O momento de inércia I em mm⁴ é calculado da seguinte forma:

$$I_B = \pi/64 \times [D^4 - (D-2t)^4]$$

Onde:

D = Diâmetro externo, em mm

t = espessura da parede, em mm

- b) A tensão admissível $\sigma_{ult.}$, no cálculo de flexão estática, em MPa (ou N/mm²), deve ser determinado da seguinte forma:

$$\sigma_{ult} = F \times L \times \frac{D/2}{6} \times I_B$$

Onde:

I_B = Momento de inércia, em mm^4
 F = Carga máxima, em N
 L = Vão efetivo, em mm
 D = Diâmetro externo, em mm

c) Módulo de elasticidade E , em MPa, deve ser calculado da seguinte forma:

$$E = 23 \times F \times L^3 / 1296 \times \delta \times I_B$$

Onde:

L = Vão efetivo, em mm
 I_B = Momento de inércia, em mm^4
 δ = Deflexão no meio do vão, em mm

Para os testes de cisalhamento, é possível obter a maior carga e tensão necessária para rompimento do corpo de prova a cisalhamento paralelo as fibras. O teste deve ser realizado de forma análoga ao teste de compressão, porém sem a necessidade da camada intermediária entre o corpo de prova e o apoio. O suporte inferior deve ser feito de aço com a forma de 2 triângulos opostos. O suporte superior deve ter a mesma forma, porém rotacionado a 90° . Formando assim 4 planos de corte paralelos as fibras, assim como a norma Indiana. As amostras devem ser retiradas das partes basais, medianas e apicais do colmo de bambu, as mesmas também devem ser marcadas de forma a identificar de onde vieram. Metade dos corpos de prova devem conter nós e a outra metade devem ser retirados dos entrenós, e a altura dos corpos de prova deve ser igual ao diâmetro externo. As faces de corte devem estar planas e as medições de altura e espessura de parede devem ser realizadas nas quatro regiões de cisalhamento. O corpo de prova deve ser posicionado com o centro alinhado ao centro do “prato” da máquina, e uma carga de no máximo 1 kN deve ser aplicada sobre o corpo de prova para estabiliza-lo. A carga deve ser aplicada de forma contínua, com a parte móvel da máquina se deslocando a uma velocidade de 0,01 mm/s. A carga máxima para o rompimento do corpo de prova e a quantidade de planos de rompimento deve ser anotada.

A tensão máxima de cisalhamento τ_{ult} , em MPa, pode ser calculada da seguinte forma:

$$\tau_{ult} = \frac{F_{ult}}{\sum(t \times L)}$$

Onde:

F_{ult} = Carga máxima, em N

$\sum(t \times L)$ = somatória dos quatro produtos de t e L

t = espessura da parede em cada um dos 4 pontos, em mm

L = Comprimento do corpo de prova em cada um dos 4 pontos onde as espessuras foram medidas, em mm

Para os testes de tração, é possível obter a carga máxima e tensão última de rompimento à tração paralela as fibras. As garras de apoio do corpo de prova devem assegurar que a carga está sendo aplicada no eixo longitudinal da peça testada, e deve prevenir rotação longitudinal da mesma. As garras devem pressionar o corpo de prova perpendicularmente as fibras e em direção radial. A carga deve ser aplicada de forma contínua, com a parte móvel da máquina se deslocando a uma velocidade de 0,01 mm/s. A carga máxima para o rompimento do corpo de prova deve ser anotada. As amostras devem ser retiradas das partes basais, medianas e apicais do colmo de bambu, as mesmas também devem ser marcadas de forma a identificar de onde vieram. Os testes devem ser realizados em corpos de prova com um nó, que deve estar na região de menor área. Essas orientações são dadas para testes com função comercial, para testes para pesquisas científicas o responsável pode definir os parâmetros da forma que achar mais conveniente. A região a ser testada deve possuir uma seção retangular, com dimensões próximas a espessura da parede do bambu na direção radial, e de 10 mm a 20 mm na direção tangencial. O comprimento da região a ser testada deve ser entre 50mm a 100mm. As pontas do corpo de prova devem assegurar que a falha aconteça na região de menor área. Para minimizar as concentrações de tensão na área de transição e permitido que as pontas dos corpos de prova sejam laminadas. A região de menor área deve ser medida em 3 diferentes pontos de forma a obter o valor médio das medições. Após prender as garras nas pontas do corpo de prova a uma distância segura da região de menor área, deve-se aumentar a carga a uma velocidade constante até o rompimento. Resultados obtidos por rompimento fora da região de menor área devem ser descartados.

A máxima tensão de tração σ_{ult} , em MPa, pode ser calculada da seguinte forma:

$$\sigma_{ult} = \frac{F_{ult}}{A}$$

Onde:

F_{ult} = Carga máxima até o rompimento, em N

A = Área média da seção transversal, na região de menor área, do corpo de prova utilizado, em mm².

5. RECOMENDAÇÕES DE PRODUÇÃO DE BAMBU - COLMO PARA USO ESTRUTURAL

5.1 Norma Indiana

Essa norma recomenda que apenas colmos de bambus com mais de 4 anos, e pelo menos 6 semanas de secagem natural, sejam usados para estruturas, além da necessidade de tratamento segundo a norma IS 9096. O uso de bambu sem secagem adequada pode demandar atenção as mudanças de dimensões do material após a execução da obra. Outro ponto importante é que a resistência do colmo de bambu aumenta à medida que seu teor de umidade diminui, sendo recomendado para uso estrutural colmos de bambu com teor de umidade entre 20 – 25%.

O comprimento mínimo recomendado é de 6 metros para facilitar as uniões entre peças. A conicidade não deve ser maior que 5.8 mm por metro (0,58%). A curvatura máxima não deve ser maior que 75 mm em uma peça de 6 metros de comprimento. Preferencialmente devem ser usados peças com no mínimo 8 mm de espessura de parede, a menos que os cálculos realizados verifiquem uma necessidade inferior a esse valor.

5.2 Norma Internacional ISO

A ISO recomenda atenção a algumas “práticas sólidas de construção” como: o uso de bambus secos ao ar e de detalhes que asseguram que o bambu nas estruturas permaneça seco, e que assegurem que o bambu, uma vez que se molhe, tenha a oportunidade de secar novamente antes que o material possa se deteriorar devido ao excesso de teor de umidade.

O bambu deve ser classificado de acordo com as regras aprovadas, garantindo que as propriedades do bambu sejam satisfatórias para uso, e especialmente que as propriedades de resistência e rigidez sejam confiáveis. As regras de classificação devem basear-se em uma avaliação visual do bambu e de uma forma não destrutiva, de uma ou mais propriedades, ou em uma combinação dos dois métodos. Deve ser dada especial atenção a propriedades como a idade, a conicidade do colmo, a retidão, o comprimento internodal e a distribuição dos nós.

5.3 Norma Colombiana NSR - 10

Essa norma apresenta alguns requisitos de qualidade para o bambu estrutural *Guadua angustifolia* Kunt, denominado de guadua¹, na Colômbia. A guadua cilíndrica utilizada como elemento de suporte estrutural em forma de coluna, viga, caibro, paredes,

¹ O substantivo “guadua” é utilizado nas normas estudadas com frequência, da mesma forma que o substantivo bambu.

lajes, etc., deve cumprir com os seguintes requisitos: a idade de corte para guaduas estruturais deve ser de no mínimo 4 anos e no máximo 6 anos; o teor de umidade deve estar em equilíbrio com o ambiente; a guadua estrutural deve possuir uma boa durabilidade natural e estar adequadamente preservada.

As peças cilíndricas de guadua estrutural não podem apresentar deformação inicial em seu eixo maiores que 0,33% do comprimento da peça. Esta deformação pode ser verificada colocando a peça sobre um piso plano e medindo as distancias entre a peça e o piso nos locais que apresentem maior afastamento. As peças de guadua estrutural não devem apresentar conicidade superior a 1,0%.

As peças não podem apresentar fissuras perimetrais na região dos nós, e não podem apresentar fissuras longitudinais ao longo da linha neutra do elemento estrutural. No caso da peça de guadua apresentar fissuras, essas devem estar posicionadas na parte superior ou inferior do elemento estruturante. Peças de guadua estrutural com fissuras superiores ou iguais a 20% do comprimento da peça não serão consideradas aptas para uso estrutural.

As peças de guadua estrutural não devem apresentar perfurações causadas por ataque de insetos xilófagos antes de serem utilizadas. Não podem ser utilizadas guaduas que apresentem qualquer grau de apodrecimento. As peças de guadua para uso estrutural devem sempre passar pelo processo de preservação e secagem recomendados pela norma colombiana NTC 5301.

5.4 Norma Peruana NTE E.100

Essa norma apresenta algumas características técnicas para a bambu estrutural. Para aplicação da presente norma deve-se cumprir com os seguintes requisitos: a idade de corte para bambus estruturais deve ser de no mínimo 4 anos e no máximo 6 anos; o teor de umidade deve estar em equilíbrio com o ambiente; o bambu estrutural deve possuir uma boa durabilidade natural e estar adequadamente preservado.

As peças de bambu estrutural não podem apresentar deformação inicial em seu eixo maiores que 0,33% do comprimento da peça. Esta deformação pode ser verificada colocando a peça sobre um piso plano e medindo as distancias entre a peça e o piso nos locais que apresentem maior afastamento. As peças de bambu estrutural não devem apresentar conicidade superior a 1,0%. As peças não podem apresentar fissuras perimetrais na região dos nós, e não podem apresentar fissuras longitudinais ao longo da linha neutra do elemento estrutural. No caso de a peça de bambu apresentar fissuras, essas

devem estar posicionadas na parte superior ou inferior do elemento estruturante. Peças de bambu estrutural com fissuras superiores ou iguais a 20% do comprimento da peça não serão consideradas aptas para uso estrutural. As peças de bambu estrutural não devem apresentar perfurações causadas por ataque de insetos xilófagos antes de serem utilizadas. Não podem ser utilizados bambus que apresentem qualquer grau de apodrecimento.

5.5 Norma Equatoriana

Os produtores de bambu devem possuir um controle de idade de cada colmo em suas plantações, a composição ideal de colmos em uma plantação de bambus é de aproximadamente 10 % de brotos, 30 % de colmos jovens e 60% de colmos maduros.

Os colmos que possuem idade entre 4 e 6 anos apresentam vários sinais visíveis que indicam sua maturidade: Cor verde escura; manchas espaçadas de líquens no colmo, em forma de pontos com cor esbranquiçada, que são indicativos de que esse é um colmo maduro e apto para seu aproveitamento na construção; se o colmo está totalmente coberto de líquens e possui uma cor esbranquiçada amarelada, é um indicativo de que esse é um colmo velho ou *sobremaduro*, não apto para ser usado em construções, isto se deve ao mesmo não possuir a mesma resistência físico-mecânica que um colmo em estado ótimo de madures; os colmos que possuem buracos produzidos por aves e insetos, ou que apresentem morte descendente (quando a planta começa a secar desde sua parte mais alta para baixo) devem ser descartados.

Uma vez selecionados os colmos de bambu que podem ser aproveitados para a construção, e para realizar um corte adequado e otimizar o aproveitamento deste recurso, é necessário ter em conta os seguintes aspectos: os colmos maduros selecionados, serão cortados na altura do primeiro nó inferior, com o objetivo de evitar que a parte basal do colmo possa acumular água e prevenir o apodrecimento do sistema radicular da planta; depois do corte é necessário tombar ou “deitar” o colmo de forma segura, evitando que este, em sua caída, possa receber impactos que possam produzir fissuras ou rompimento do colmo; o corte das ramas será realizado com facção ou serra, cortando desde o ângulo inferior que forma cada rama com o colmo até sua parte superior, evitando a desagregação das fibras do colmo de bambu; logo após será necessário retirar os colmos de bambu da plantação, cuidando sempre que seus extremos não se deteriorem por arraste; o corte e seleção dos colmos de bambu serão realizados de acordo com os parâmetros comerciais ou especificações técnicas do construtor, tanto em comprimento como em diâmetro, sempre e quando cumpra com as orientações mencionadas anteriormente.

O bambu *Guadua angustifolia* Kunt (GaK) cilíndrico utilizado como elemento estrutural em forma de coluna, viga, cobertura, lajes, paredes, etc., deve cumprir com alguns requisitos de qualidade. A guadua deve estar seca, sendo assim seu teor de umidade deve ser igual ou inferior a umidade de equilíbrio do local, para garantir essa característica os colmos devem estar no local da obra com pelo menos 15 dias antes de serem utilizados. Os colmos de GaK devem seguir os processos de preservação e secagem recomendados.

As peças de guadua não devem apresentar deformações do eixo longitudinal da peça maiores que 0,33%, esta deformação pode ser verificada colocando a peça sobre um piso plano (ou com cordas) e medindo as distâncias entre a peça e o piso nos locais que apresentem maior afastamento (ou medindo a distância até a corda), este procedimento de verificação deve ser realizado pelo menos em cada terço do diâmetro do colmo.

A GaK é um material natural e seu diâmetro vai diminuindo constantemente pelo comprimento do colmo, sendo assim essa conicidade faz parte de sua anatomia, contudo, deve-se colocar alguns limites a esta diferença entre diâmetros. A tabela 3 apresenta os limites máximos permitidos para cada uma das partes comerciais de GaK, obtidos com a equação:

$$\%con = \frac{(D_+ - D_-)}{L} * 100$$

Onde:

%con = Porcentagem de conicidade da peça

D+ = Maior diâmetro em mm

D- = Menor diâmetro em mm

L = Comprimento da peça de GaK em mm

Tabela 3 - Conicidade admissível para GaK. Fonte: Norma equatoriana NEC GaK (2017).

Parte da Guadua	Conicidade
Basal	0,17%
Mediana	0,33%
Apical	0,50%

A GaK é um material que tende a apresentar fissuras naturalmente devido a diferença de densidade de suas paredes, por este motivo, deve-se estabelecer alguns limites para o tamanho e localização dessas fissuras. A fissura deve estar contida entre 2 nós, caso a fissura passe para o entrenó seguinte, esta não deve possuir mais de 20% do

comprimento da peça de bambu. Caso as peças de bambu apresentem fissuras após a utilização na obra, estes devem ser reforçados com o uso de cintas metálicas ou abraçadeiras.

As peças retiradas de colmos estruturais não podem apresentar “rugos” perimetrais, que evidenciem uma possível falha por compressão durante sua vida útil. Caso essa característica se apresente se deve cortar a parte defeituoso do colmo, podendo aproveitar o restando da peça de bambu que estiver adequada.

6. RECOMENDAÇÕES SOBRE PRESERVAÇÃO DO BAMBU - COLMO PARA USO ESTRUTURAL

6.1 Norma Indiana

A preservação é muito importante para a vida útil do bambu estrutural. A durabilidade natural do bambu é baixa e varia entre 12 meses e 36 meses dependendo da espécie e das condições climáticas. Bambus não tratados expostos as intempéries e em contato com o solo possuem vida útil de 1 a 2 anos. Para bambus não tratados protegidos de intempéries e afastados do solo a vida útil de 2 a 5 anos. A resistência mecânica dos bambus pode diminuir drasticamente com a presença de fungos. Bambus ripados são mais rapidamente degradados que bambus cilíndricos. Para tornar o bambu durável deve ser realizado um tratamento adequado para preservar o bambu. Além disso deve ser dada especial atenção ao impacto ambiental e aos aspectos de saúde do trabalho e dos usuários.

6.2 Norma Internacional ISO

Bambu e os materiais à base de bambu devem receber um tratamento preservativo, a menos que tenham uma durabilidade natural adequada para o uso pretendido. No caso de exportação, este tratamento deve ser suficiente, tanto para o ambiente de origem como para o ambiente de destino.

Deve ser dada especial atenção aos aspectos ambientais e aos aspectos da saúde, tanto para a mão de obra de trabalho quanto para os usuários da estrutura, durante todo o processo de preservação.

6.3 Norma Colombiana NSR - 10

O bambu em geral é suscetível ao ataque de fungos e inseto. Os primeiros atacam bambus com alto teor de umidade, começando sua ação desde o interior do colmo devido a sua grande concentração de parênquima, e os insetos, especialmente os cupins, brocas e insetos xilófagos, atacam os bambus desde o momento do corte no bambuzal, em busca

de nutrientes. A proteção do material contra o ataque de fungos e insetos deve ser iniciado desde o aproveitamento do bambuzal. Deve-se garantir que os bambus sejam armazenados em condições de umidade mínima e que os bambus recebam tratamento de controle de infestações durante seu empilhamento.

A preservação do bambu é um processo mediante o qual se aplica ao bambu um produto químico capaz de protegê-lo contra ataques de fungos e insetos. Qualquer bambu que seja utilizado como elemento estrutural deve, no mínimo, receber pelo menos um tipo de tratamento dos estipulados pela norma colombiana NTC 5301.

Para os procedimentos de aplicação manual de produtos químicos é necessário apresentar ao cliente as informações técnicas do produto imunizante. Durante o processo de aplicação do preservativo deve-se seguir todas as normas e recomendações de segurança demandadas pelo fabricante do produto. De nenhuma forma deve-se executar obras de bambu com colmos de bambu sem tratamento.

Para limpeza das peças de bambu deve-se utilizar materiais pouco abrasivos e processos adequados que não deteriorem a superfície do material.

6.4 Norma Equatoriana

A preservação é o procedimento mediante o qual os colmos de Bambu *Guadua angustifolia* Kunt (GaK) são submetidos a um processo que garanta sua proteção e conservação, evitando que sofram danos por ação de fatores biológicos (insetos xilófagos ou similares) que destroem ou afetam as características físico mecânicas dos elementos construtivos de GaK.

A GaK é um material orgânico constituído por celulose, lignina e sílica, que quando não é manejado corretamente (tratamento e detalhes de aplicação para a preservação), pode degradar-se em certas condições por ataque de fungos ou de insetos. Por este motivo em nenhum caso se deve instalar elementos estruturais de GaK sem prévia imunização.

A preservação da GaK se realiza por meio da impregnação de substâncias preservativas. Estas substâncias devem ser escolhidas considerando a maior afetividade de proteção da GaK, o menor impacto ambiental e os níveis de toxicidade de menor prejuízo para os seres humanos. Sempre se deve revisar as recomendações realizadas pelos fornecedores de produtos de preservação, sobre a manipulação, o grau de toxicidade e as reações químicas, para o caso de possíveis acidentes oriundos do processo de aplicação.

A imunização dos colmos de GaK pode ser realizada utilizando as mesmas substancias preservativas indicadas para as estruturas de madeira que possuem uma baixa durabilidade natural, que basicamente podem ser de dois tipos, preservantes hidrossolúveis e preservantes óleo solúveis. A efetividade do preservante a ser utilizado deve ser garantida em relação a durabilidade do material tratado. A escolha do método de preservação é decisão do fornecedor da matéria prima e do construtor. Os processos de tratamento mais utilizados são: preservação por “avinagrado”; preservação por imersão; preservação por pressão; preservação por difusão vertical.

A preservação por “avinagrado” é um método natural que, sem usar nenhum tipo de aditivo, pode ser realizado na plantação depois do corte, mantendo o colmo com suas respectivas ramas e folhas (Fig. 30), apoiado aos colmos não cortados de forma vertical pelo tempo de três semanas antes de serem retirados da plantação. Esse tratamento é ecológico e não demanda um investimento muito alto, contudo, é necessário que este método seja reforçado por outro tipo de tratamento de preservação química.

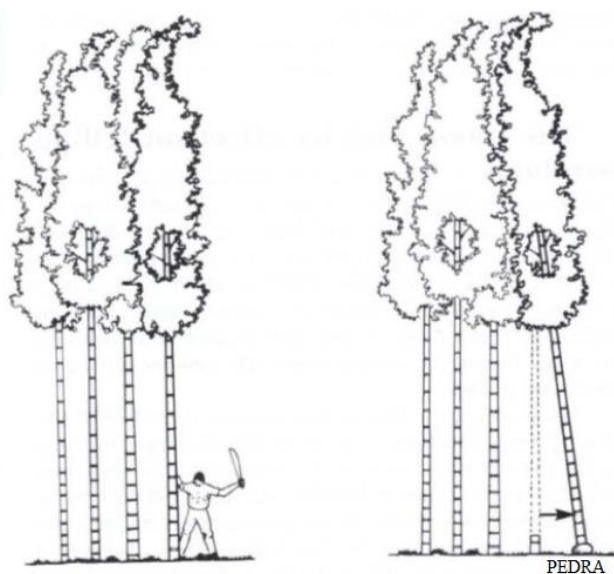


Figura 30 - Preservação por *avinagrado*. Fonte: Lopez (2003) adaptado.

A preservação por imersão é um dos métodos mais utilizados e pode ser realizado seguindo as seguintes recomendações: perfuração longitudinal dos diafragmas internos dos colmos (Fig. 31a), com o uso de um barra de ferro de 12 mm (1/2´´) a 16 mm (5/8´´) de diâmetro; o colmo deve ser limpo externamente para evitar a contaminação do líquido preservativo, para a limpeza devem ser usados materiais ou líquidos pouco abrasivos (Fig. 31b), que não arranhem ou deteriorem a superfície externa do colmo; os colmos devem ser colocados dentro do tanque de tratamento (Fig. 31c), onde previamente foi colocado

o líquido preservativo com a concentração de 96 litros de água para cada 2 Kg de cada um dos químicos (bórax e ácido bórico), a diluição das substâncias será otimizada se os sais mencionados forem diluídos de forma parcial em recipientes de 20 litros de água a temperatura entre 50°C e 80°C.



Figura 31 - Figura 31a: Perfuração dos diafragmas. Figura 31b: Limpeza de colmos de bambu com hidro lavadora. Fotos: Autor (2010). Figura 31c: Tanque de tratamento por submersão. Foto: Autor desconhecido.

A colocação dos colmos no tanque de tratamento deve ser realizada de forma que o extremo superior do colmo fique quase para fora da água, facilitando a saída do ar interno aos entrenós a medida que o colmo for sendo preenchido pela solução, fazendo bolhas.

Depois do tempo indicado para a preservação de imersão, mínimo 5 dias em condições de temperatura ambiente e 6 horas com temperatura controlada entre 60°C e 80°C, para GaK roliça, os colmos devem ser retirados e drenados para o processo de secagem final; depois de retirados do tanque de tratamento, os colmos devem ser posicionados de forma inclinada com a parte basal ou de maior diâmetro para cima, permitindo que o excesso de líquidos preservativos possam escorrer pelos entrenós (Fig. 32) antes que os colmos sejam levados para o local de secagem. Para que os colmos tenham capacidade de absorção do líquido preservativo, o teor de umidade deverá ser no mínimo 30% medido com o higrômetro digital.



Figura 32 - Posicionamento dos colmos após a preservação para escoamento do líquido preservativo (Empresa Induguadua, Colômbia). Fotos: Autor (2014).

Preservação por pressão, mais conhecido como método Boucherie (Fig. 33), este método necessita do uso de um equipamento de compressão ou tanque de pressão que injetará o líquido preservativo em cada colmo. Para a aplicação deste método é necessário que os colmos a serem tratados estejam recém cortados, máximo de 8 horas entre o corte e a preservação, antes que o processo de secagem natural feche os poros e vasos condutores do colmo. Caso isso aconteça, é recomendado cortar entre 0,10 e 0,15 m da ponta do colmo para facilitar a penetração do líquido preservativo.

O líquido preservativo deve ser colocado dentro de um tanque de pressão, os colmos devem estar em posição horizontal e suas bases estarão acopladas a mangueiras (conectados ao tanque de pressão) com conexões de borracha. Os diafragmas internos não devem ser perfurados. A quantidade do fluxo de ar e de líquidos preservativos serão regulados por válvulas de calibração. A efetividade do método pode ser comprovada mediante o controle do líquido deslocado e o líquido introduzido, por meio de papéis medidores de ácido ou de pigmentação colorida que permitam verificar a absorção do líquido preservativo nas paredes do colmo. Deve-se coletar o excedente do líquido preservativo afim de dar a preservação adequado para evitar a contaminação do ambiente.

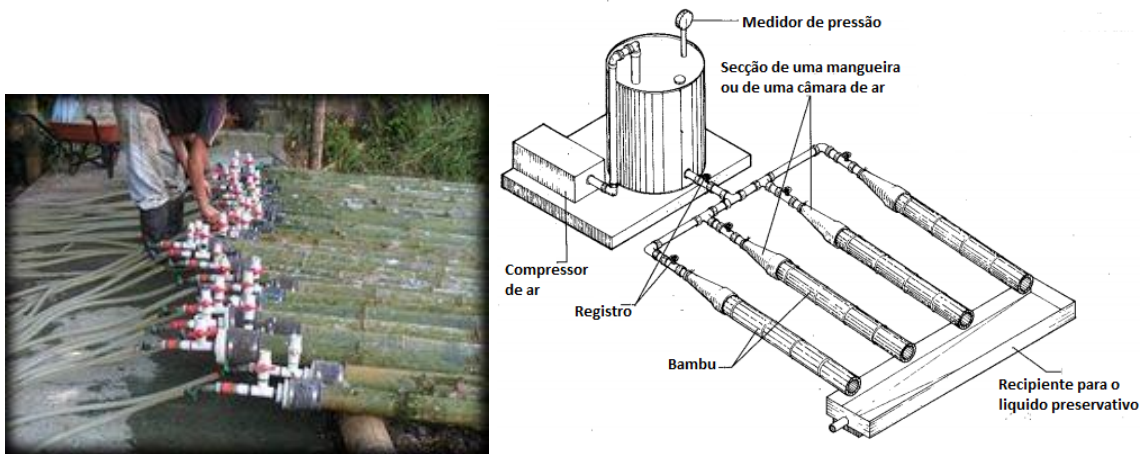
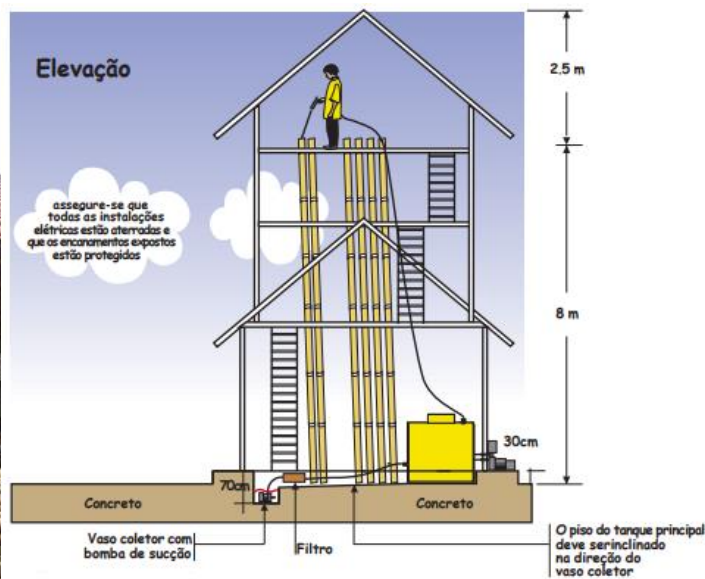


Figura 33 - Sistema de tratamento pelo método Boucherie. Fonte: Lopez (2003) adaptado.

Preservação por difusão vertical (Fig.34), para este método os colmos não devem apresentar fissuras nem buracos que possam ocasionar a saída do líquido preservativo. Os diafragmas internos dos colmos devem ser perfurados com exceção do último. A perfuração longitudinal dos diafragmas internos dos colmos, deve ser realizado com o uso de uma barra de ferro de 12 mm (1/2'') a 16 mm (5/8'') de diâmetro. Os colmos devem ser colocados em posição vertical com a parte basal para cima e com o diafragma não perfurado posicionado na parte inferior. Cada colmo deve ser preenchido com o líquido preservativo desde sua parte superior mantendo os colmos na mesma posição por três semanas, sempre cuidando para que o nível do líquido se mantenha constante. Depois desse tempo o último diafragma é perfurado, permitindo que o líquido preservativo possa escoar de dentro do colmo. Deve-se coletar o excedente do líquido preservativo afim de dar a preservação adequado para evitar a contaminação do ambiente e preservar a saúde daqueles que o manipulam.



(A)



(B)

Figura 34 - Figura 34a: Estação de tratamento por difusão vertical na Colômbia. Foto: Autor (2010). Figura 34b: Desenho esquemático para estação de tratamento por difusão vertical. Fonte: EBF (2003) adaptado.

7. RECOMENDAÇÕES DE SECAGEM, TRANSPORTE E ARMAZENAGEM PARA BAMBU - COLMO DE USO ESTRUTURAL

7.1 Norma Colombiana NSR - 10

De acordo com a norma colombiana NSR – 10 (2010), todo bambu destinado a construção de estruturas deve ser seco até um teor de umidade (CH%) mais próximo possível do teor de umidade de equilíbrio (CHE) com o meio ambiente do local aonde a construção será realizada. Como regra geral, os bambus para uso estrutural devem estar secos, para a execução de estruturas, próximo a um valor de 19% de teor de umidade (CH).

O processo de secagem natural ao ar será realizado mediante a exposição do bambu ao meio ambiente. Este processo deve ser realizado em pátio coberto com circulação de ar. Se recomenda que os bambus sejam acomodados em apoios verticais, caso não seja possível pode-se acomodá-los de forma horizontal, porém garantindo que os colmos não apresentem curvaturas exageradas durante o processo de secagem. Durante este processo deve-se evitar a deterioração do material pela ação do clima, agentes biológicos e outras causas.

Quando o teor de umidade necessário for inferior ao teor de umidade de equilíbrio do ambiente onde a estrutura será executada, ou quando se desejar bambus secos no menor tempo possível, pode-se utilizar métodos artificiais de secagem. Durante o

processo de secagem artificial deve-se garantir a integridade da peça de bambu, prevenindo rachaduras excessivas e esmagamentos.

Para o transporte de peças de bambu é necessário o uso de veículos com capacidade e dimensões apropriadas (Fig. 35). Estes devem ser fechado (baú ou lona), garantindo a proteção contra a ação direta da chuva e raios solares. Além de possuírem carroceria e pontos de fixação que impeçam o movimento da carga durante a viagem. As operações de carga e descarga das peças de bambu devem ser realizadas com cuidado, evitando possíveis danos ao material. É necessário evitar que as peças de bambu sobressaiam da carroceria dos veículos, caso isso não seja possível, as peças devem estar amarradas de maneira adequada. Deve-se evitar sobrecarregar os colmos estruturais durante o transporte e armazenamento. O número máximo de colmos empilhados um sobre o outro será de sete.



Figura 35 - Carregamento de colmos de bambu no pátio da empresa Induguadua na Colômbia. Foto: Autor 2010).

O bambu é um material higroscópico e poroso que absorve água do ambiente em forma de vapor ou líquido. Se a umidade do bambu aumentar o mesmo estará mais vulnerável ao ataque biológico, por este motivo, o armazenamento de peças de bambu deve ser feito em local seco, com cobertura, com boa ventilação e boa drenagem (Fig. 36). Preferivelmente as peças devem ser armazenadas em posição vertical, sem manter contato direto com o piso e materiais orgânicos.



Figura 36 - Estoque de colmos de bambu na Colômbia. Foto: Autor (2010).

Os pátios de armazenamento de material devem estar o mais próximo possível do local de execução da obra. A obra deve contar com uma área que permita a manipulação cômoda e segura dos elementos estruturais, de preferência com proteção contra chuva e umidade.

7.2 Norma Equatoriana

Logo que os colmos de bambu tenham passado pelo processo de corte é necessário que estes sejam transportados adequadamente para evitar danos importantes em sua estrutura, para isso deve-se levar em conta algumas considerações: o transporte do material para o local de tratamento e secagem será realizado com o uso de veículos cujo comprimento de carga seja igual ou maior que o comprimento de corte das peças de bambu retiradas dos colmos (6m, 9m, 12m); no caso de se usar transportes de plataforma, estes devem possuir estacas de segurança fixadas à plataforma que impeçam o deslocamento dos colmos; durante o embarque, movimentação e desembarque devem ser evitados todo tipo de impacto que afete o material; deve-se evitar sobrecarregar os colmos durante o transporte e armazenamento, os colmos devem ser empilhados em pilhas de até 2,0 m, colocando os colmos de maior diâmetro na parte inferior para evitar esmagamento; a disposição das guaduas será em camadas horizontais, alternando a cada camada o posicionamento das partes basais e apicais, favorecendo que as pressões entre os colmos sejam uniforme.

De acordo com a norma equatoriana (2017) a *Guadua angustifolia* Kunt (GaK) é um material higroscópico e poroso que absorve a umidade presente no ambiente seja na forma de vapor ou líquido. Se a umidade do material aumenta, este estará mais vulnerável

ao ataque dos fatores biológicos. Os colmos de GaK destinados à construção devem ser secos até atingir um teor de umidade igual ou inferior a umidade de equilíbrio do lugar. É necessário monitorar o teor de umidade dos colmos desde a colheita com o uso de um higrômetro. Um correto processo de secagem impedirá que os colmos sofram deformações, fissuras e danos irreversíveis com a perda de umidade após sua utilização estrutural.

O processo de secagem por ser realizado ao ambiente (Fig. 37). Os colmos podem ser secos de forma vertical em locais ventilados. Durante o processo deve-se evitar a deterioração do material pela ação do clima, agentes biológicos e outras causas. Os colmos devem ser colocados apoiados e intercalados nos dois lados de um cavalete. Os extremos basais devem estar posicionados em cima de um bambu aberto ou similar, para evitar o contato dos colmos com o solo. A altura do cavalete deve ser de 2/3 do comprimento dos colmos que serão armazenados. Os colmos posicionados no início, meio e no final do cavalete devem estar fixados ao mesmo com o uso de cordas para prevenir o deslizamento lateral dos colmos. Ao colocar e retirar os colmos do cavalete, deve-se proceder de forma alternada (em forma de tesoura) para evitar o tombamento do cavalete. Se os cavaletes forem deixados ao ar livre, os eixos devem estar orientados de leste para oeste, diminuindo a exposição dos colmos a incidência solar.



Figura 37 – Secagem ao ambiente de colmos de bambu na Colômbia. Fotos: Autor (2010).

Para um processo de secagem mais uniforme se recomenda um giro parcial e diário de cada um dos colmos sobre seu eixo longitudinal durante os primeiros 15 dias, depois com menos frequência. Dependendo das condições climáticas o tempo de secagem pode variar entre dois e seis meses. Uma vez que os colmos alcancem um teor de umidade igual ou inferior a umidade de equilíbrio do lugar, estes passarão a ser armazenados em baixo de área coberta ou podem ser utilizados em obras.

O processo de secagem também pode ser realizado de forma artificial. Dentro das técnicas de secagem artificial (artificial porque se modifica o ambiente) existem várias que utilizam diferentes graus de controle, sejam essas de ambiente interno que utilizam uma câmara de secagem, ou de qualidade do ar controlando a temperatura e umidade. Durante este processo se deve garantir a integridade dos colmos, prevenindo rachaduras excessivas ou esmagamentos. Antes de utilizar esse método é necessário partir de um processo de pré secagem durante oito dias, como detalhado no processo de secagem realizado ao ambiente.

A secagem artificial permite o controle de temperatura, umidade relativa e fluxo de ar em seu interior, esse processo demanda menos tempo que o processo de secagem ao ambiente. Existem diferentes sistemas que podem ser utilizados:

Forno de secagem – sua fonte de energia são combustíveis fósseis que podem ser líquidos, sólidos ou gasosos (Fig. 38).



Figura 38 - Forno de secagem da empresa Induguadua na Colômbia. Foto: Autor (2010).

Injeção de ar quente – os colmos devem estar posicionados horizontalmente em área coberta, com um ventilador e mangueiras de plástico conectadas ao interior de cada colmo se injeta ar quente (Fig. 39).



Figura 39 - Processo de secagem por injeção de ar quente realizado por Jorge Stamm na Colômbia. Foto: Autor (2010).

Secagem solar – o processo de secagem é obtido mediante ação solar e participação de equipamentos mecânicos que podem ser de dois tipos: secadoras solares passivas – são câmaras de secagem que demandam a presença de um coletor solar, os fluxos de saída de ar quente saturado de umidade e a entrada de ar frio que se obtém através de comportas, aproveitando o efeito físico termo sinfônico (Fig. 40); secadores solares ativos – são câmaras operadas por ação solar e participação de equipamentos mecânicos impulsionados por energia elétrica para acelerar os fluxos de ar.



Figura 40 - Processo de secagem solar passiva na Colômbia. Foto: Autor (2010).

Anteriormente a utilização de colmos de GaK, estes devem ser armazenados de forma adequada para evitar que sofram danos. Sendo assim, é possível realizar dois tipos de armazenamentos, de forma vertical ou horizontal, procurando que em ambos os casos o material não mantenha contato com umidade do solo, esteja protegido da radiação solar e o ambiente possua boa ventilação.

Quando os colmos de GaK forem armazenados de forma vertical, deve-se seguir as seguintes recomendações: os colmos serão posicionados de forma intercalada pelos

dois lados de um cavalete, sendo que seus extremos inferiores não devem estar em contato com o solo; a altura do cavalete deve possuir 2/3 do comprimento dos colmos a serem armazenados; os colmos posicionados no início, meio e no final do cavalete devem estar fixados ao mesmo com o uso de cordas para prevenir o deslizamento lateral dos colmos; se os cavaletes forem deixados ao ar livre, os eixos devem estar orientados de leste para oeste, diminuindo a exposição dos colmos a incidência solar.

Quando os colmos de GaK forem armazenados de forma horizontal (Fig. 41), deve-se seguir as seguintes recomendações: as camadas de bambu devem ser colocadas sobre suportes de madeira dura e preservada, evitando que a primeira camada de bambus fique em contato com o solo; os colmos devem ser dispostos em camadas ortogonais, cuja altura em nenhum caso pode exceder 2 m; cada colmo deve estar separado entre si de 20 a 30 cm (vertical e horizontalmente), facilitando a ventilação de ar entre os colmos.



Figura 41 - Estoque de colmos de bambu da empresa Induguadua na Colômbia. Fotos: Autor (2014).

8. ORIENTAÇÕES PARA PROJETO E EXECUÇÃO DE ESTRUTURAS DE BAMBU

8.1 Norma Indiana

De acordo com a Norma Indiana IS 15912-2012: Structural Design using Bamboo - Code of Practice, as estruturas devem ser projetadas e construídas por pessoas com habilidades e experiência apropriadas. As estruturas devem ser utilizadas para a função a qual foram inicialmente projetadas e devem receber manutenções adequadas.

Todos os elementos estruturais devem ter capacidade de suportar as cargas, sem exceder os limites calculados para a pior combinação de cargas atuantes. Um aspecto fundamental do projeto é determinar as forças as quais a estrutura está sujeita, começando

pelo telhado e transmitindo os esforços para baixo até o solo, passando pelos diversos elementos estruturais e conexões.

Diferente da madeira, as propriedades do bambu não são completamente inerentes as espécies, dependendo de outros fatores como: posição no colmo, posição geográfica e idade. Dessa forma, além de basear o projeto nos cálculos numéricos, é necessária uma experiência de trabalho com o material para melhor conhecimento dos limites e sistemas estruturais a serem utilizados.

Experiências antigas e tradicionais de construção com bambu devem ser preservadas como práticas não normatizadas, podendo ser utilizadas como bases informais para melhor entender os conceitos de utilização do material.

As principais aplicações estruturais com bambu podem incluir telhados e pisos, paredes estruturais, painéis de vedação, vigas, pilares, arcos, etc. Tanto do ponto de vista da capacidade, quanto de deformação, as treliças e estruturas modulares são opções muito melhores em bambu.

O bambu apresenta algumas peculiaridades muito interessantes como material para construção, como seu comportamento elástico até o rompimento, sendo que seu comportamento plástico não é considerado significante. Os colmos de bambu são analisados como estruturas tubulares ocas, não perfeitamente lineares. Os nós não ocorrem em intervalos regulares. Os apoios entre elementos estruturais devem ser feitos próximos aos nós.

8.2 Norma Internacional ISO

A norma ISO 22156: Bamboo – Structural design (2004), se aplica ao uso do bambu em estruturas, seja ele cilíndrico, ripado ou laminado e colado. Essa norma é baseada no projeto para estados limites e no desempenho das estruturas. A maior preocupação dessa norma são os requisitos para resistência mecânica, capacidade de manutenção e durabilidade das estruturas de bambu.

As construções com bambu devem ser projetadas de forma que: com aceitável probabilidade, permaneçam sendo utilizadas para o uso que foram projetadas; com graus adequados de confiabilidade, sustentará todas as ações e influências susceptíveis de ocorrer durante a execução e uso; e tenha durabilidade adequada em relação aos custos de manutenção.

A estrutura também deve ser projetada de forma que não seja danificada por eventos como: explosões, impacto ou consequências de erros humanos, até certo ponto desproporcional à causa original. Potenciais danos podem ser minimizados por uma ou mais escolhas apropriadas, como: evitando, eliminando ou reduzindo os perigos que a estrutura deve sustentar; selecionando uma forma estrutural que tenha baixa sensibilidade aos riscos considerados; selecionando uma forma estrutural e projeto que possam sobreviver adequadamente a remoção acidental de um elemento individual; selecionando uma forma estrutural e design que forneça uma suficiente continuidade entre elementos individuais.

Os conceitos de projeto de construção com bambu devem basear-se em cálculos, verificando que nenhum estado limite relevante ou nenhuma tensão admissível relevante seja excedida.

A experiência das gerações anteriores pode ser bem preservada nas tradições locais e transmitida com “atenção” às pessoas que vivem hoje. Esta experiência pode ser considerada como um "padrão" informal e não codificado. Porém, para que técnicas antigas e processos estruturais experimentais sejam utilizados é necessário que o conteúdo seja geralmente conhecido e aceito. Deve ser considerada como uma tradição antiga e eficiente, como sabedoria geral. A comunidade deve ser caracterizada por uma estrutura social não perturbada, com um padrão social bem reconhecido. As limitações para esse tipo de construções são: que essa prática só é aplicável em situações semelhantes, e após a migração a presença desta tradição não é mais evidente.

Relatórios baseados em avaliações feitas após desastres como terremotos e furacões, podem conter descrições de estruturas que sobreviveram a um desastre de grande magnitude. Dessa forma, estruturas similares poderão ser consideradas adequadas para desastres similares no futuro. Porém para que essas informações possam ser utilizadas o relatório deve ser redigido por engenheiros reconhecidos, com experiência adequada no campo, além de ser aceito pela comunidade técnica internacional e provado por outros profissionais. O relatório deve fornecer detalhes completos e informações completas, com as quais se pode construir estruturas similares, porém o relatório só pode ser aplicado em situações similares.

É permitido utilizar regras de design alternativas que diferem do padrão internacional. Desde que seja demonstrado que as regras alternativas cumprem os

princípios relevantes e são pelo menos equivalentes, em relação à resistência, facilidade de manutenção e durabilidade alcançada para estruturas projetadas e executadas seguindo as recomendações das normas ISO.

A ISO recomenda atenção a algumas “práticas sólidas de construção” como: o uso de bambus secos ao ar e de detalhes que asseguram que o bambu nas estruturas permaneça seco, e que assegurem que o bambu, uma vez que se molhe, tenha a oportunidade de secar novamente antes que o material possa se deteriorar devido ao excesso de teor de umidade; a permeabilidade das paredes, pisos e telhados feitos de bambu, causando pressões internas, que alteram a carga de vento atuante sobre o telhado, parede e piso; deve ser dada especial atenção para verificar se a mão-de-obra da força de trabalho, na fábrica e no local de construção, está de acordo com a necessidade da obra.

Quando as construções sejam realizadas com bambu em estado “verde”, deve-se levar em consideração as possíveis precauções para garantir que as peças ao secar possuam o dimensionamento mínimos de projeto. Também é necessário que o projeto se preocupe em proteger os bambus contra a umidade, a radiação solar, os insetos e os fungos.

A norma ISO 22156 também orienta sobre a utilização de treliças de bambu, recomendando que a menos que seja usado um modelo mais geral, as treliças devem ser representadas para fins de análise por elementos de feixe, definidos ao longo das linhas do sistema e conectados entre si além de outras informações mais específicas. A norma também orienta sobre o uso de painéis de bambu, em suas mais variadas formas, enfatizando que eles devem ser produzidos para que mantenham sua integridade e força na classe de serviço atribuída ao longo da vida esperada da estrutura.

O bambu utilizado como reforço em concreto, argamassa, gesso, etc., deve ser aplicado somente se os testes adequados demonstrarem que o bambu atenderá aos seguintes requisitos: funcionará como reforço durante a vida útil esperada da estrutura, com especial atenção ao inchaço e encolhimento do bambu, ao vínculo e à influência da umidade e do ambiente alcalino no bambu; a deformação deve atender aos requisitos para a estrutura.

O bambu utilizado como reforço no solo deve ser aplicado somente se os testes adequados mostrarem que o bambu funcionará como reforço durante a vida útil esperada da estrutura, com especial atenção à vida útil do bambu no ambiente orgânico.

Para garantir uma estrutura de bambu adequadamente durável, devem ser considerados os seguintes fatores inter-relacionados: a expectativa de vida útil do bambu; o uso da estrutura; os critérios de desempenho exigidos; as condições ambientais esperadas; composição, propriedades e desempenho dos materiais; a forma dos membros e os detalhes estruturais; a qualidade do trabalho e o nível de controle; as medidas de proteção específicas; a manutenção provável durante a vida útil pretendida.

As condições ambientais devem ser tidas em conta na fase de concepção para avaliar a sua importância em relação à durabilidade e para permitir disposições adequadas para a proteção dos materiais. Os parafusos metálicos e outras conexões estruturais devem, se necessário, ser inerentemente resistentes à corrosão ou ser protegidos contra corrosão.

O bambu deve ser classificado de acordo com as regras aprovadas, garantindo que as propriedades do bambu sejam satisfatórias para uso, e especialmente que as propriedades de resistência e rigidez sejam confiáveis. As regras de classificação devem basear-se em uma avaliação visual do bambu e de uma forma não destrutiva, de uma ou mais propriedades, ou em uma combinação dos dois métodos.

Deve ser dada especial atenção a propriedades como a idade, a conicidade do colmo, a retidão, o comprimento internodal e a distribuição dos nós. Além de cautela para evitar falhas nas conexões, causadas pela deterioração do bambu, devido ao acúmulo de umidade, falta de ventilação em torno das junções e ataque de insetos e fungos.

Para o desenvolvimento dessa padronização internacional é necessário que os seguintes pressupostos sejam seguidos: as estruturas são projetadas por profissional apropriadamente qualificado e experiente, a verificação das qualificações do profissional para a concepção de uma estrutura de bambu é da responsabilidade da jurisdição em que o projeto deve ser construído; supervisão adequada e controle de qualidade são fornecidos em fábricas, plantas e no local; a construção é realizada por profissional com a habilidade e experiência apropriadas; os materiais e produtos de construção são utilizados conforme especificado na norma, ou em material relevante ou especificações do produto; a estrutura será mantida adequadamente; a estrutura será usada de acordo com a orientação do projeto.

8.3 Norma Colombiana NSR – 10

A classificação mecânica de guaduas deve ser realizado seguindo a norma colombiana NTC 5525, em relação a sua capacidade de resistir a cargas de compressão paralela as fibras, corte paralelo as fibras, flexão e tração, assim como seu módulo de elasticidade.

Para calcular o peso próprio de estruturas de guadua se recomenda usar uma massa específica de 800 Kg/m³ para a espécie *Guadua angustifolia* Kunth, essa massa também pode ser calculada seguindo os procedimentos da norma de classificação mecânica. A obtenção e comercialização de guadua estrutural deve seguir as recomendações e legislações dos órgãos competentes.

O projeto de estruturas de guadua deve também levar em consideração as características dos materiais complementares como: pregos, parafusos, conectores, adesivos, suportes e painéis, seguindo as recomendações dos fabricantes. Deve-se tomar todas as medidas apropriadas de proteção para estes materiais contra a umidade, a corrosão e contra qualquer agente que degrade sua integridade estrutural.

Todos os elementos de guadua em uma estrutura devem ser projetados, construídos e conectados para resistir aos esforços produzidos por todas as combinações de cargas de serviço apresentadas em norma e manter os limites de deflexão estipulados por norma.

O projeto estrutural deve levar em consideração todas as possíveis cargas atuantes sobre a estrutura, durante as etapas de construção e serviço, além das condições ambientais que possam gerar mudanças em relação as suposições de projeto, ou que possam afetar a integridade de outros componentes estruturais. Os elementos estruturais são considerados homogêneos e lineares para o cálculo dos esforços produzidos pela aplicação das cargas.

Para garantir o correto funcionamento de estruturas construídas em guadua durante toda sua vida útil, deve-se ter em conta alguns fatores como: as estruturas devem ser projetadas por um profissional que cumpra os requisitos orientados por lei; a construção da edificação deve ser realizada por mão de obra devidamente capacitada e sobre a direção de um profissional seguindo os requisitos orientados por lei; as estruturas de guadua, por estarem fabricadas com um material de origem natural, devem receber uma adequada manutenção preventiva, que garanta, que os elementos não sejam atacados por

insetos e fungos durante sua vida útil; a estrutura deve ter durante toda sua vida útil o mesmo uso para o qual foi projetada.

Quando a estrutura de guadua for utilizada como cobertura de piscinas de natação onde se utilize cloro, deve ser levado em consideração no projeto e na execução que não haverá ataque pelo cloro à guadua da estrutura, tomando todas as precauções para evitar uma deterioração e uma diminuição de sua resistência estrutural por este motivo. Em nenhum caso se deve utilizar estruturas de guadua quando a temperatura exceder 65°C.

8.4 Norma Peruana NTE E.100

Os elementos estruturais da cobertura devem trabalhar em conjunto, estabilizados para cargas verticais e laterais, para isso deverão possuir as fixações e apoios necessários. O processo construtivo da cobertura deve seguir as normas técnicas estabelecidas. Para estruturas de bambu, as coberturas devem seguir as seguintes recomendações: a cobertura deve ser leve; os materiais utilizados para cobertura devem garantir uma impermeabilidade suficiente para proteger os bambus da umidade; o material utilizado deve proteger o bambu da radiação solar; para beirais maiores que 60 cm é necessário a utilização de apoios, salvo que se justifique estruturalmente. Quando se utilizem materiais que transmitam umidade por capilaridade, como telhas de barro, deve-se evitar o contato direto com o bambu, afim de prevenir sua deterioração.

As instalações sanitárias não devem estar embutidas dentro dos elementos estruturais de bambu. As instalações elétricas podem estar embutidas nas paredes estruturais de bambu. No caso que sejam necessárias perfurações estas não devem exceder 1/5 do diâmetro da peça de bambu. Os condutores elétricos devem estar dentro de tubos flexíveis ou serem do tipo blindado, com terminação em caixas de passagens metálicas ou de outro material antichamas. As instalações elétricas não devem ser perfuradas ou interrompidas pelos conectores que unem os elementos estruturais.

Toda edificação de bambu deve ser submetida a revisões, ajustes e reparações ao longo de sua vida útil. A manutenção do bambu deve ser realizada com materiais como ceras, vernizes ou pintura, e seguir as seguintes recomendações: para peças de bambu expostas as intempéries deve-se realizar a manutenção no mínimo a cada 6 meses; para peças externas de bambu, protegidas das intempéries, deve-se realizar a manutenção no mínimo a cada 1 ano; para peças estruturais de bambu interiores, deve-se realizar a manutenção no mínimo a cada 2 anos; deve-se reajustar os elementos que por contração

do bambu, por vibrações ou por qualquer outra razão tenham se desajustado; se forem encontradas rupturas, deformações excessivas, apodrecimentos ou ataque de insetos xilófagos em peças estruturais, estas deverão ser trocadas; se for detectado a presença de insetos xilófagos, deverá ser realizada preservação para a eliminação dos mesmos; garantir que os mecanismos de ventilação previstos no projeto original funcionem adequadamente; evitar a umidade que pode propiciar a formação de fungos e eliminar suas causas; deve-se verificar os sistemas especiais de proteção contra incêndio e as instalações elétricas; as partes da edificação próximas a fontes de calor devem ser isoladas ou protegidas com material não inflamável ou com substâncias retardantes ou prova de fogo, que garantam uma resistência mínima de 1 hora em relação a propagação das chamas; os elementos e componentes de bambu devem ser sobre dimensionados com a finalidade de resistir a ação do fogo por um tempo adicional pré-determinado; revisar as conexões periodicamente para substituir, readequar ou reapertar em caso de folga.

8.5 Norma Equatoriana

Para garantir um correto funcionamento de estruturas de bambu durante toda sua vida útil, deve-se ter em conta algumas recomendações. A construção da edificação deve ser realizada por mão de obra capacitada e sobre a supervisão de um profissional que conheça as recomendações normativas correspondentes e os princípios construtivos com bambu. Os materiais e produtos utilizados na construção devem ser empregados como especificado nessa norma e de acordo com as recomendações de uso do fabricante.

As estruturas de bambu *Guadua angustifolia* Kunt (GaK) por estarem fabricadas com um material de origem natural devem receber uma adequada manutenção preventiva, que garanta que os elementos utilizados não sejam atacados por insetos e fungos durante sua vida útil. A estrutura deve possuir durante toda sua vida útil o mesmo uso para o qual foi projetada.

Por meio do projeto, a exposição direta dos elementos estruturais de guadua às condições climáticas do lugar (chuva, sol, salinidade, entre outros) deve ser evitada. Para isso, a utilização de revestimento dos elementos estruturais com substâncias repelentes à água ou superfícies impermeáveis deve ser considerado.

Para evitar a condensação, a ventilação deve ser fornecida nos espaços interiores. Em ambientes cujo uso implica que os elementos estruturais estão expostos ao vapor,

como banheiros e cozinhas, além de ventilação, estes devem ser protegidos com elementos impermeáveis.

Quando a estrutura de GaK for utilizada como cobertura de piscinas de natação onde se utilize cloro, deve ser levado em consideração no projeto e na execução que não haverá ataque pelo cloro à GaK da estrutura, tomando todas as precauções para evitar uma deterioração e uma diminuição de sua resistência estrutural por este motivo. Em nenhum caso se deve utilizar estruturas de guadua quando a temperatura exceder 65°C.

O projeto de estruturas de GaK deve levar em conta as características dos materiais complementares segundo as recomendações dos fabricantes. Deve-se ter em consideração todas as medidas apropriadas de proteção destes materiais contra a umidade, a corrosão e qualquer agente que possa degradar sua integridade estrutural. Sob nenhuma circunstância é permitido que as instalações hidráulicas, elétricas, eletrônicas e mecânicas atravessem ou comprometam os limites do sistema estrutural.

Todos os elementos de uma estrutura de GaK devem ser projetados, construídos e conectados para suportar as tensões produzidas por combinações de cargas de serviço atuantes. O projeto das estruturas de GaK deve ter em conta as características de materiais complementares, como parafusos, conectores, adesivos, suportes e placas, de acordo com as recomendações dos fabricantes. Todas as medidas adequadas para a proteção desses materiais contra a umidade, corrosão ou qualquer agente que degrada sua integridade estrutural devem ser levadas em consideração

Toda a construção de GaK deve ter um sistema estrutural que atenda aos requisitos de resistência sísmica necessários. Recomenda-se o uso de pórticos com diagonais em conjunto com um sistema de painéis de ripas trançadas, ou em um sistema de colunas e vigas com uma limitação ao número de pisos igual a 2.

O projeto estrutural deve refletir todas as cargas possíveis que atuam sobre a estrutura durante as etapas de construção e serviço, além das condições ambientais que podem gerar mudanças nos pressupostos de projeto ou que podem afetar a integridade de outros componentes estruturais.

As colunas em estruturas de bambu podem ser constituídas por um colmo ou a união de duas ou mais peças de bambu, colocadas verticalmente com as bases orientadas para baixo. As colunas compostas por mais de uma peça de bambu devem ser unidas com amarrações ou parafusos, com espaçamentos não superior a um terço da altura da coluna.

A altura das colunas e a carga axial a suportar, exigem a análise estrutural da esbelteza dessas, para evitar possíveis flexões desses elementos. Um procedimento para reduzir a esbelteza das colunas é aumentar a sua seção com a adição de dois ou mais colmos que evitam possíveis flexões laterais ou flambagem.

A adição de colmos com alturas diferenciadas permite apoiar vigas superiores transversais, sejam estas duplas ou triplas, evitando a flexão lateral dessas vigas (Fig. 42).

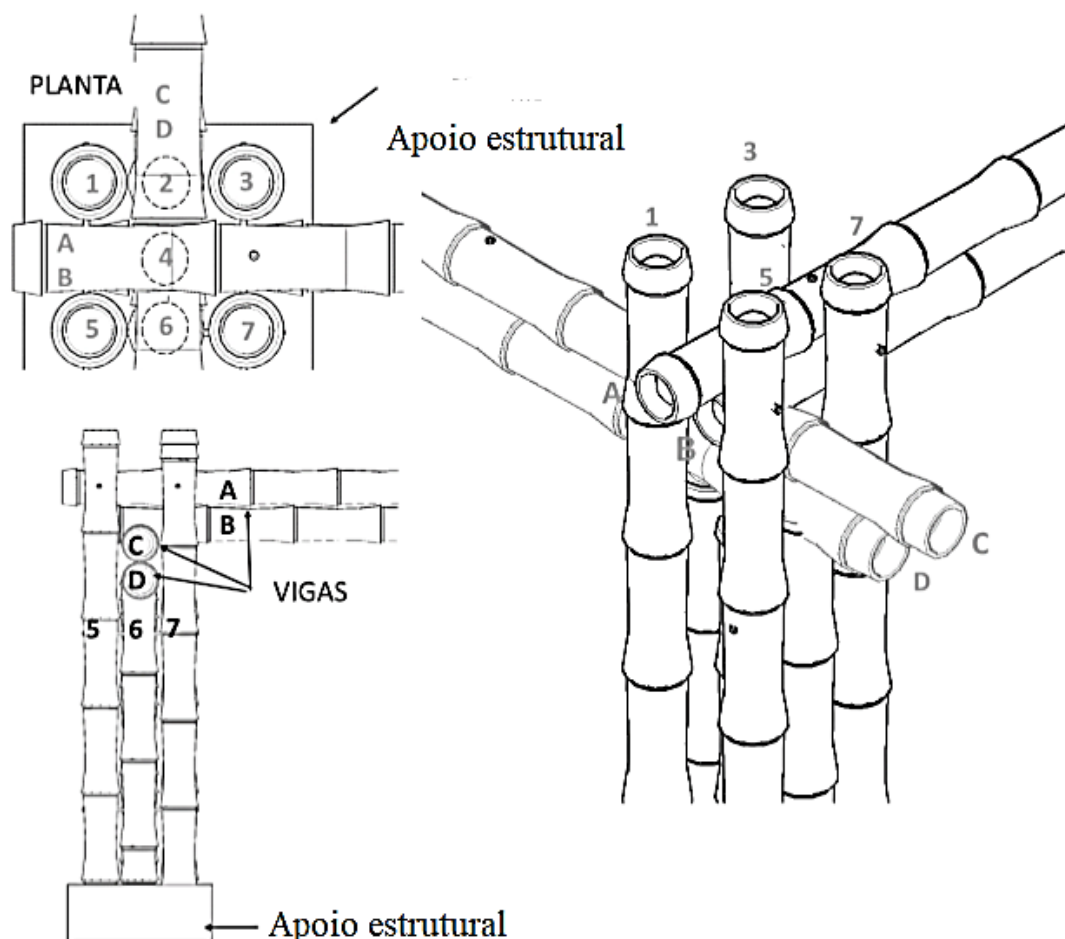


Figura 42 - Coluna composta por 7 colmos que suportam vigas duplas transversais.
Fonte: Norma Equatoriana (2017) adaptada.

O telhado deve ser leve, à prova d'água e com beirais que cubram as paredes das fachadas com um ângulo em relação à radiação solar, entre 20 e 30 graus, com a finalidade de cobrir as superfícies dos colmos de GaK contra os raios UV e chuva com vento.

Os elementos de estruturais do telhado devem formar um conjunto estável para cargas verticais e laterais, para o qual terão as fixações e travamentos necessários. Para beirais superiores a 0,6 m, será necessário um suporte adicional, a menos que seja estruturalmente justificado. A parte superior deve ser nivelada com uma corda, de modo

que os elementos estruturais do telhado estejam completamente alinhados e na mesma altura, considerando a conicidade dos colmos de GaK.

9. ORIENTAÇÕES PARA SISTEMAS CONECTIVOS

9.1 Norma Indiana

Os apoios entre elementos estruturais devem ser feitos próximos aos nós, assim como as conexões. As conexões devem ser consideradas como rotuladas, a menos que informação comprovadamente justificada a defina como uma junta fixa.

Uma das maiores dificuldades encontradas nos sistemas conectivos com bambu é a união dos elementos estruturais de suporte de carga em conjunto, para transferência efetiva de esforços, e alcançar a continuidade entre elementos com deslocamentos controlados.

Como as conexões são um ponto fraco em qualquer estrutura de bambu, essas devem ser feitas tão fortes e “rígidas” quanto possível. As conexões são bastante críticas em conjunto, e estas devem ser estáveis ao longo tempo.

A susceptibilidade a esmagamentos nas pontas, tendência de rachaduras, variações de diâmetros, espessura da parede e resistência, são alguns dos problemas associados que devem ser levados em consideração quando do projeto e detalhamento de sistemas conectivos em estruturas de bambu.

As conexões que utilizam amarrações com cordas ou outros materiais, com ou sem a presença de cavilhas (peça de bambu ou madeira com função de prego), possuem baixa eficiência para alguns casos, porém foram utilizadas durante muito tempo para construção de estruturas utilizando técnicas tradicionais de construção com bambu.

Existem diferentes tipos de conexões que podem ser usadas, dependendo do tipo de união e esforços atuantes no sistema conectivo a ser projetado. A norma Indiana descreve textualmente algumas uniões e processos construtivos. Algumas dessas técnicas construtivas serão demonstradas no decorrer da presente dissertação. É recomendado o teste em escala real dos sistemas conectivos em laboratório.

As conexões metálicas devem receber tratamento ou ser protegidas contra corrosão. O projetista deve assegurar que a construção deve permanecer “seca”, evitando deterioração devido à umidade.

9.2 Norma Internacional ISO

As conexões em estruturas de bambu devem ser projetadas para alcançar a continuidade estrutural entre elementos, que inclui: transmissão das forças de acordo com o projeto definido e deflexões que podem ser previstas e que devem ser mantidas dentro de limites aceitáveis. As ligações podem ser projetadas de maneiras diversas.

Na alternativa de juntas completas, a junção completa para uma determinada carga e geometria, é totalmente especificada para membros de um tamanho específico. Isso inclui a descrição de todos os tamanhos e locais dos elementos de fixação. Os dados para esta alternativa devem basear-se em testes em grande escala.

Na alternativa de capacidade de componente, é possível que uma conexão seja projetada para uma determinada carga usando a capacidade de cada um dos componentes dessa conexão (parafusos, chapas, etc). A capacidade de cada componente deve relacionar-se com uma geometria específica e direção de carga. Os dados sobre essa capacidade devem basear-se em testes em grande escala (protótipos).

Na alternativa de princípios de projeto, a mecânica básica das conexões e seus materiais deve ser especificado de forma a permitir que os projetistas criem uniões seguras e eficientes de variadas geometrias e direções de carga.

Ao usar diagramas de deformação de carga, obtidos a partir de testes em conexões, é necessário levar em consideração as seguintes observações: a capacidade de uma conexão de fixação múltipla será frequentemente menor que a soma das capacidades de fixação individuais; se, em uma junção, mais de um tipo de fixação está sendo usada, deve ter-se em conta o efeito de diferentes propriedades de fixação; a capacidade de uma conexão será reduzida se estiver sujeita a inversão da carga.

9.3 Norma Colombiana NSR - 10

Normalmente, apenas o bambu seco ou “curado” deve ser usado. Caso contrário, deve ser dada especial atenção às mudanças dimensionais que ocorrem durante o processo de secagem em uma conexão. Essas mudanças irão criar tensões internas na junção, possivelmente causando distorção e eventual falha.

A colômbia possui a norma NTC 5407 “Uniões em estruturas com *Guadua angustifolia* Kunt” que estabelece os requisitos mínimos que devem ser seguidos para a elaboração de uniões nas construções de sistemas estruturais utilizando a guadua. Todo elemento constituinte de uma união deve ser projetado para que não falhe por tração

perpendicular as fibras e corte paralelo às fibras. No caso do uso de cortes especiais em guadua devem-se tomar as medidas necessárias para evitar que estes induzam uma falha na união. Em nenhum caso é permitido uniões com pregos, uma vez que os pregos induzem fissuras longitudinais devido à disposição das fibras da guadua.

Os três tipos de cortes mais utilizados para a fabricação de uniões com elementos de guadua são: corte reto, corte plano perpendicular ao eixo da guadua (Fig. 43a); corte boca de pescada, corte côncavo transversal ao eixo da guadua, geralmente utilizado para unir dois elementos de guadua (Fig. 43b); corte bico de flauta, esse corte é utilizado para unir guaduas que se encontram com ângulos diferentes entre 0° e 90° , pode ser feito com uma boca de pescada inclinada ou com dois cortes retos (Fig. 43c).

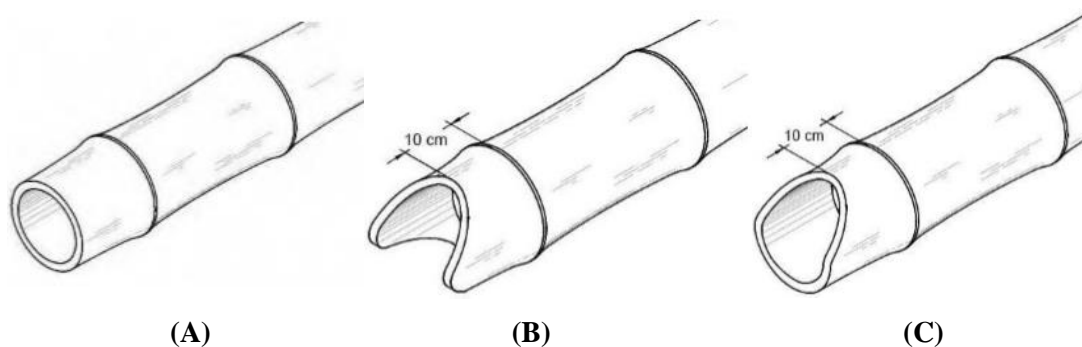


Figura 43 - Figura 43a: Corte reto. Figura 43b: Corte boca de pescada. Figura 43c: Corte bico de flauta. Fonte: Norma colombiana NSR-10 (2010).

As uniões podem ser aparafusadas entre dois ou mais elementos de guadua, também podem ser projetadas uniões de elementos de guadua com chapas metálicas, além de existirem uniões para fixação de guaduas a elementos de concreto utilizando conexões metálicas ou “âncoras”. As uniões aparafusadas são geralmente utilizadas quando as solicitações sobre uma conexão são relativamente grandes, requerendo a utilização de parafusos, normalmente acompanhados por chapas metálicas. Os parafusos ou chapas utilizadas em conexões aparafusadas devem ser de aço estrutural com esforço de fluência não inferior a 240 MPa; o diâmetro mínimo permitido para os parafusos é de 9,5 mm (#3) e a espessura mínima das chapas é de 4,8mm (3/16”).

As perfurações realizadas para a colocação de um parafuso devem estar bem alinhadas em relação ao eixo do elemento, e devem possuir um diâmetro maior do que o diâmetro do parafuso em 1,5mm (1/16”). As perfurações feitas para o preenchimento dos entrenós devem possuir um diâmetro máximo de 26mm, e devem estar devidamente tapadas com a mesma argamassa de preenchimento, dessa forma se garante a

continuidade estrutural do elemento. No caso de uma união aparafusada longitudinalmente em relação ao eixo da guadua, deve-se garantir que não haja falha dos elementos relacionados a conexão.

Todos os parafusos e demais elementos metálicos da união que estejam expostos a condições ambientais desfavoráveis devem receber algum tipo de tratamento anticorrosivo. É permitido o uso de abraçadeiras metálicas (Fig. 44) sempre e quando sejam tomadas as precauções pertinentes para evitar o esmagamento e falha por compressão perpendicular as fibras em elementos individuais, assim como a separação e o deslizamento entre os elementos conectados.

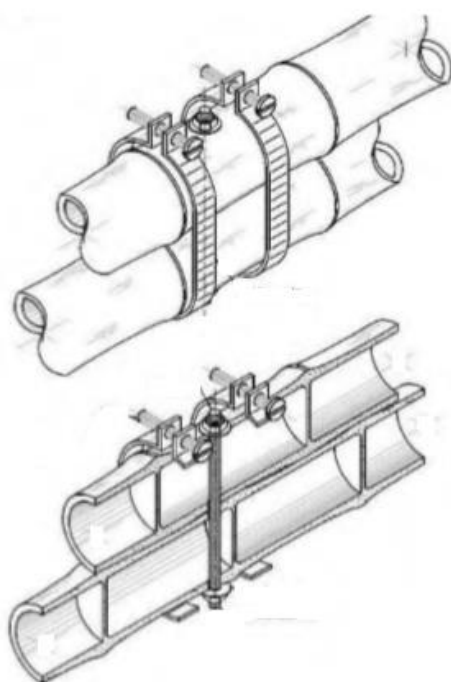


Figura 44 - Abraçadeiras metálicas em estruturas de bambu. Fonte: Norma colombiana NSR-10 (2010).

9.4 Norma Peruana NTE E.100

As uniões também podem ser amarradas (Fig. 45), desde de que impeçam o deslocamento e a folga da cinta de amarração ou da amarração em si. Pode-se utilizar vários materiais como: materiais metálicos; cordas; couros; plásticos e outros similares. O uso destas uniões deve estar devidamente justificado pelo projetista.



Figura 45 - Uniões cintadas e amarradas para bambu. Fonte: Norma peruana NTE.100 (2012) adaptada.

As uniões também podem ser realizadas com tarugos ou parafusos (Fig. 46). Os tarugos devem ser de madeira estrutural ou outro material de resistência similar. Devem-se utilizar arruelas, chapas metálicas ou outro material de resistência similar entre a porca do parafuso e o bambu. Os parafusos podem ser fabricados com barras de aço rosqueadas na própria obra ou com barras rosçadas contínuas comerciais. A perfuração do entrenó para o parafuso deve passar pelo eixo central do bambu.

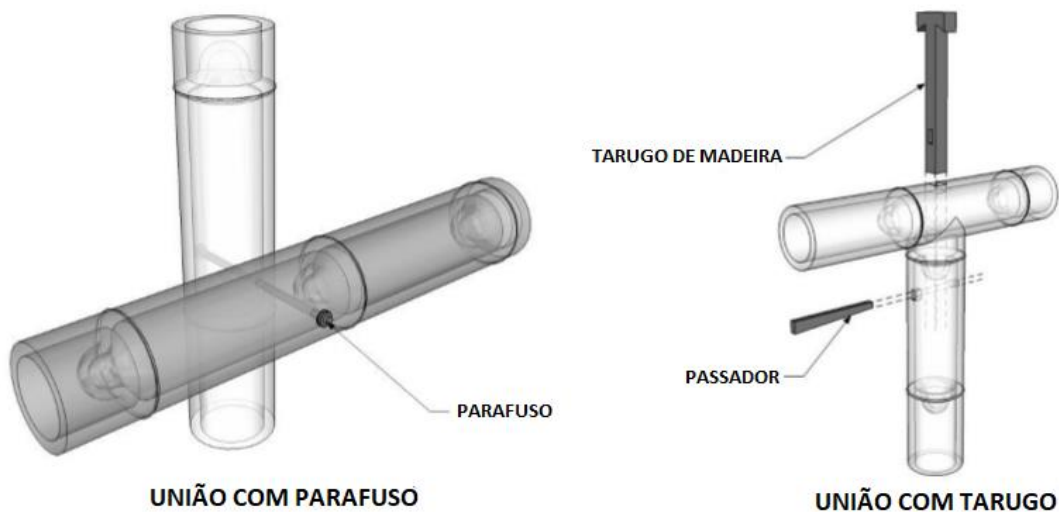


Figura 46 - Uniões entre bambus com parafuso e tarugo. Fonte: Norma peruana NTE.100 (2012) adaptada.

Quando um entrenó está sujeito a uma força de esmagamento, ou quando é necessário ser preenchido com argamassa, deve-se seguir as seguintes recomendações: a argamassa deve ser preparada com uma proporção máxima de 1:4 (cimento e areia grossa), devendo ser suficientemente fluida para preencher completamente os entrenós. Podem

ser usados aditivos redutores de água (para preparo) não corrosivos. Para introduzir a argamassa deve-se realizar uma perfuração com um diâmetro máximo de 4 cm no ponto mais próximo ao nó superior da peça de bambu, introduzindo a argamassa pelo orifício com a ajuda de um funil ou bomba (Fig. 47).

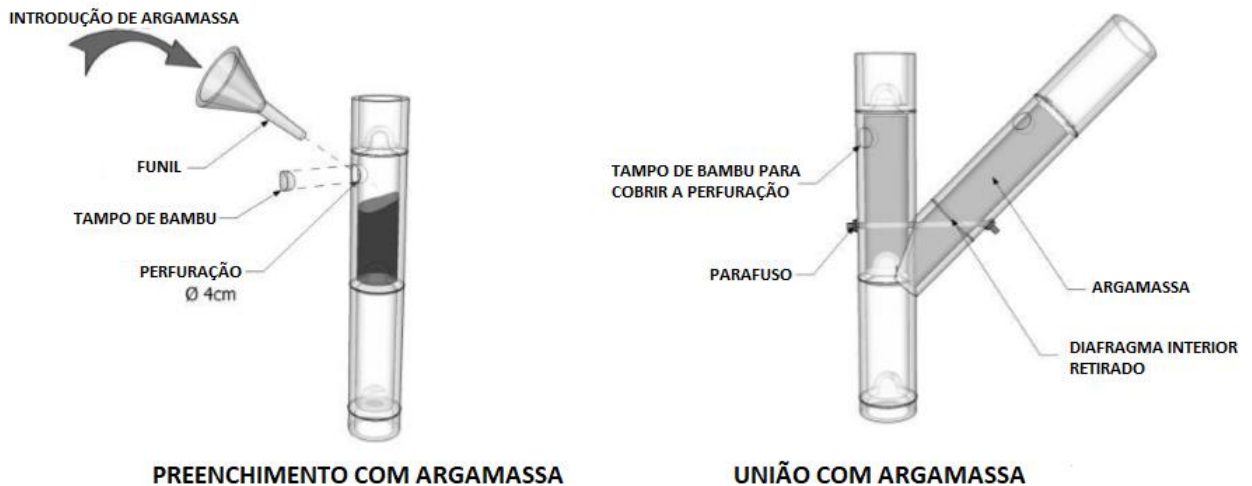


Figura 47 - União entre bambus e preenchimento com argamassa. Fonte: Norma peruana NTE.100 (2012) adaptada.

Para unir longitudinalmente duas peças de bambu (Fig. 48), deve-se selecionar peças com diâmetros similares e uni-las mediante elementos de conexão. Essa união pode ser realizada com o uso de uma peça de madeira por dentro das pontas das duas peças de bambu. Para fixar a união deve-se utilizar 2 parafusos com no mínimo 9mm, perpendicularmente entre si, em cada uma das peças. Os parafusos devem estar posicionados no máximo a 30 mm dos nós.

Δ (Delta) = Distância existente entre o parafuso e a borda da peça de madeira que conecta os bambus (Fig. 48). O valor de Δ (Delta) será no mínimo cinco (05) diâmetros do parafuso utilizado.

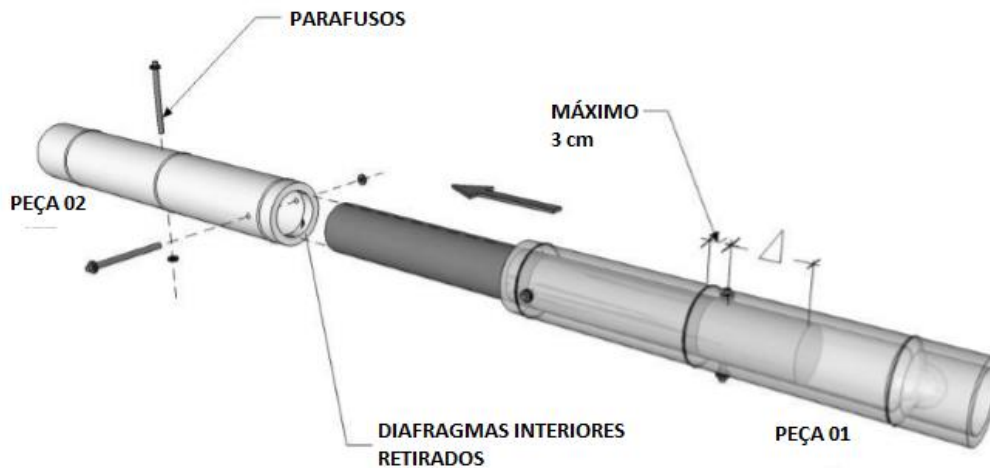


Figura 48 - União longitudinal de 2 peças de bambu com peça de madeira. Fonte: Norma peruana NTE.100 (2012) adaptada.

A união entre as duas peças de bambu também pode ser realizada com o uso de dois elementos metálicos, fixados com parafusos de no mínimo 9mm, paralelos ao eixo longitudinal da união (Fig. 49). Os parafusos devem estar distanciados no máximo 30mm dos nós.

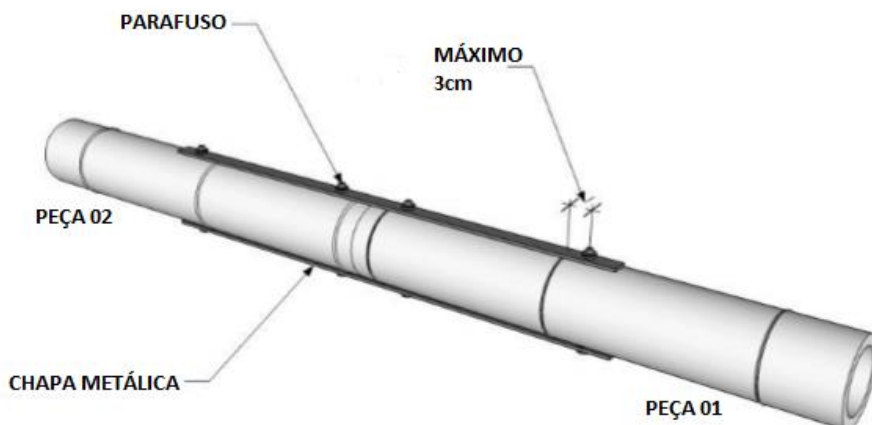


Figura 49 - União longitudinal de 2 peças de bambu com 2 chapas metálicas. Fonte: Norma peruana NTE.100 (2012) adaptada.

A união entre as duas peças de bambu também pode ser realizada da mesma forma da situação anterior, porém substituindo as chapas metálicas por dois pedaços de bambu roliço, fixados com parafusos de no mínimo 9mm, paralelos ao eixo longitudinal da união (Fig. 50). Os parafusos devem estar distanciados no máximo 30mm dos nós.

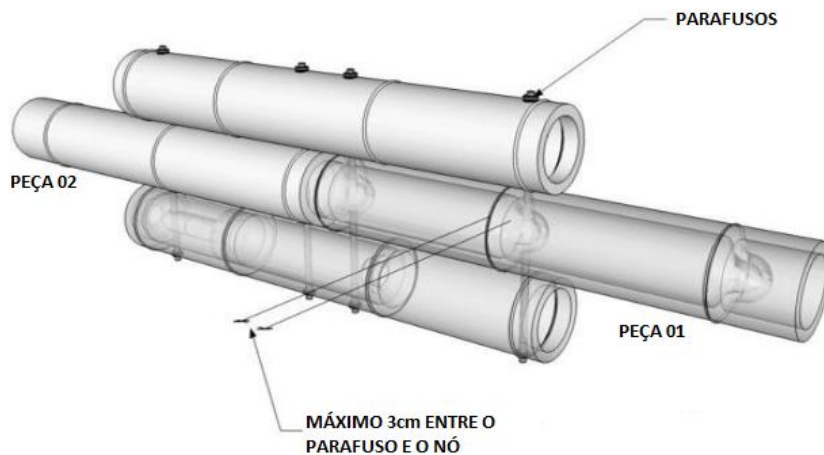


Figura 50 - União longitudinal de 2 peças de bambu com 2 pedaços externos de bambu.
 Fonte: Norma peruana NTE.100 (2012) adaptada.

Para as uniões entre peças de bambu na posição perpendicular ou diagonal (Fig. 51) deve-se buscar o maior contato entre as peças, realizando os cortes de forma correta e recomendada. Deve-se assegurar a rigidez da união utilizando os reforços necessários e recomendados nessa norma (Fig. 52).

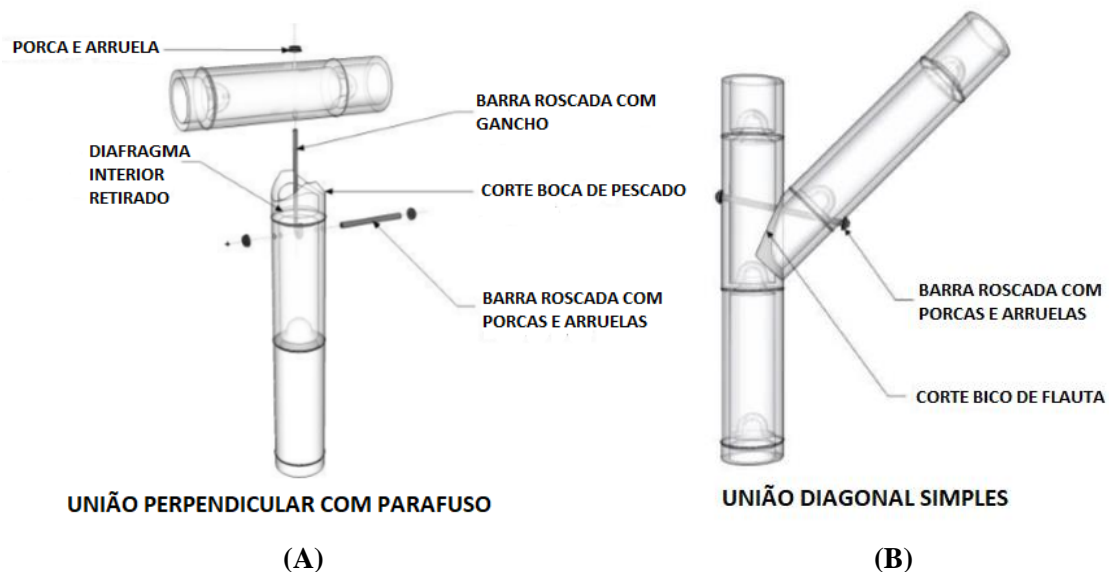


Figura 51 – Figura 51a: União perpendicular com parafuso. Figura 51b: União diagonal de 2 peças de bambu. Fonte: Norma peruana NTE.100 (2012) adaptada.

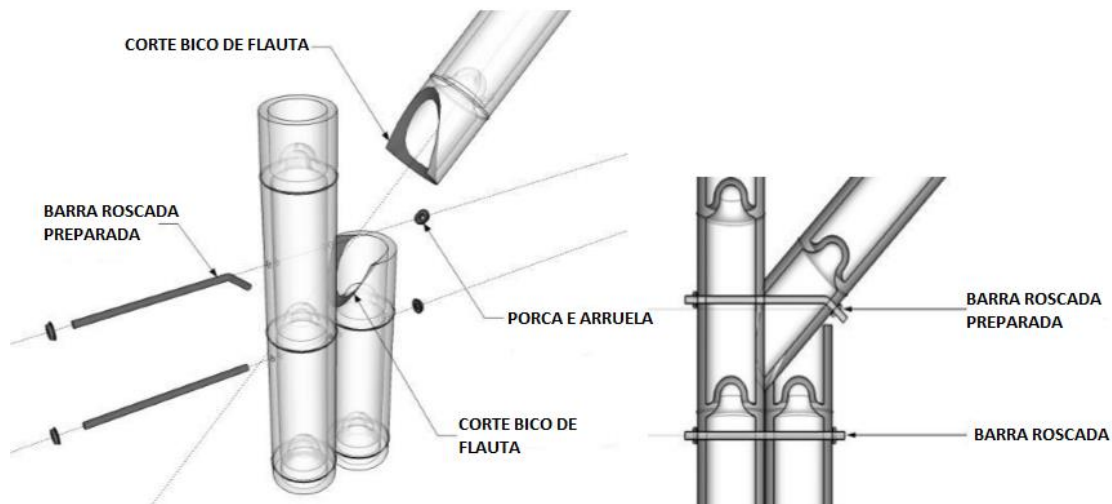


Figura 52 - União diagonal com bambu de apoio. Fonte: Norma peruana NTE.100 (2012) adaptada.

9.5 Norma Equatoriana

As conexões devem suportar as cargas externas às quais serão submetidas. Deverão ser levados em consideração os diferentes esforços para os quais a estrutura estará exposta, em particular, às tensões perpendiculares às fibras e corte paralelo às fibras. Não são permitidas uniões “pregadas” que causam fissuras longitudinais nas fibras do colmo, em nenhum caso é permitido o uso de pregos ou elementos que fissurem os colmos de bambu da espécie *Guadua angustifolia* Kunt (GaK) que fazem parte da estrutura.

Estas orientações são aplicáveis as conexões aparafusadas entre dois ou mais colmos de bambu, as uniões de elementos de GaK com chapas metálicas, ou à fixação dos colmos aos elementos de concreto por meio de chapas metálicas e barras de ferro.

As uniões aparafusadas geralmente são usadas quando as solicitações em uma conexão são relativamente grandes, o que requer o uso de parafusos, acompanhados por placas de aço. Os parafusos e as chapas metálicas utilizadas para conexões aparafusadas devem ser de aço estrutural com resistência não inferior a 240 MPa. O diâmetro mínimo permitido para os parafusos é de 9,5 mm e a espessura mínima das chapas metálicas será de 5 mm (3/16 ").

As perfurações feitas para o preenchimento dos entrenós devem ter um diâmetro máximo de 26 mm, depois de a argamassa ter sido introduzida nos colmos, a tampa que foi extraída com o uso de uma serra copo deve ser recolocada.

O uso de abraçadeiras ou fitas metálicas são permitidos dentro do projeto das conexões, desde que as precauções pertinentes sejam tomadas para evitar o esmagamento

e a falha por compressão perpendicular à fibra em elementos individuais, bem como a separação e deslizamento entre os elementos conectados.

No caso de uniões em que os colmos de GaK estejam submetidos a cargas de esmagamento, é necessário preencher os entrenós adjacentes à junção, e aqueles através do qual os parafusos passam, com uma mistura de argamassa de cimento de preferência 1: 3, pode ser também uma mistura de argamassa de cimento, areia e pedrisco, com um aditivo plastificante que garanta a fluidez da mistura.

O colmo de bambu que se apoia em uma boca de pescada deve caber na sua totalidade, e os colmos que se juntam devem ter um diâmetro similar. O colmo que possui a boca de pescada deve ter seu diafragma interno retirado, para facilitar o encontro das ferragens. Nas conexões perpendiculares o maior contato entre os colmos deve ser alcançado. A distância entre o nó e a parte inferior do corte da boca de pescada deve estar entre 40 e 60 mm.

No colmo que possui a boca de pescada, deve-se inserir uma barra roscada de 10 mm, 30 ou 40 mm abaixo do nó, que é assegurado por porcas e arruelas. Essa peça é chamada de parafuso de ancoragem. No colmo que será apoiado, deve ser realizada uma perfuração transversal, perpendicular às suas fibras e que atravesse o colmo. Deve ser usado um parafuso chamado “tensor”, que em uma extremidade tem um gancho e, na outra, uma rosca para a barra roscada. Deve-se verificar se este parafuso de tração tem um tamanho tal que o parafuso de ancoragem alcance seu gancho e que sua outra extremidade ultrapasse a superfície do colmo ortogonal.

Dessa forma, o parafuso de tensão é travado ao parafuso de ancoragem e a sua outra extremidade é inserida através das perfurações feitas no colmo de apoio, até que seja fixada com porca e arruela (Fig. 53). Para garantir que o parafuso de ancoragem não atue como elemento de corte, deve-se preencher com argamassa de cimento cada um dos entrenós onde o parafuso de ancoragem está localizado. O entrenó onde o parafuso de tração atua, também deve ser preenchido com argamassa de cimento para evitar o colapso causado pelo esmagamento da superfície do colmo de GaK.

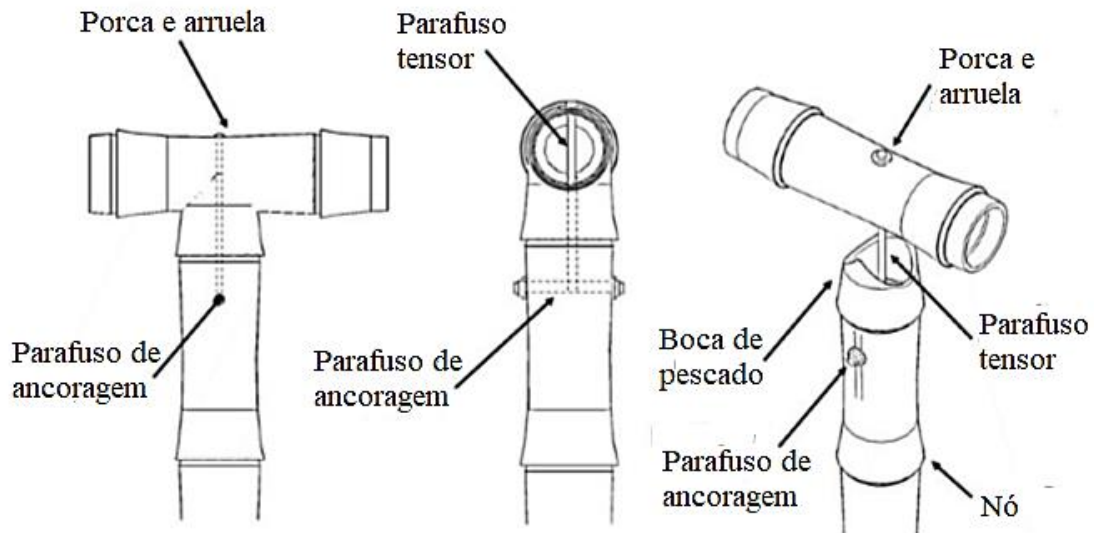


Figura 53 - União perpendicular 90° entre colmos de bambu. Fonte: Norma equatoriana (2017) adaptada.

A união anterior com o uso de boca de pescado serve para garantir a fixação de dois elementos estruturais perpendiculares uns aos outros. Contudo para facilitar o processo e reduzir o tempo de execução do trabalho, a união entre os eixos pode ser feita por meio de elementos metálicos.

O projeto estrutural deve prever o desenho das peças metálicas e o diâmetro dos colmos a serem utilizados. Para essa conexão um corte plano é feito no colmo que vai receber a peça e, em vez da boca de pescado, deve-se utilizar um disco de metal de 2 mm de espessura com perfuração central de 10 mm e sobre ele, uma “meia cana” de metal de 150 mm de comprimento, com perfuração de 10 mm proveniente de um tubo metálico de 110 mm (4 ") de diâmetro e 2 mm de espessura (Fig. 54).

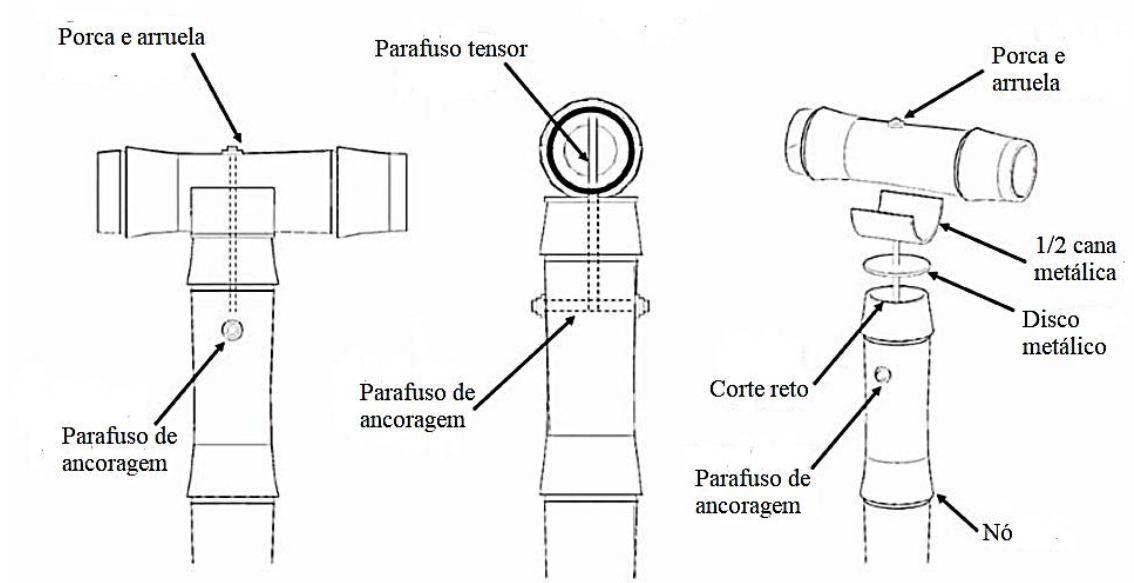


Figura 54 - União perpendicular com disco e meia cana metálicos. Fonte: Norma equatoriana (2017) adaptada.

O disco de metal deve possuir o diâmetro previsto em função dos colmos: 100, 110, 120, 130 mm. As “meia-canas” metálicas se acoplarão da mesma maneira aos colmos, havendo a possibilidade de abrir ou fechar os lados da peça metálica para uma melhor adequação ao bambu. O posicionamento e fixação do parafuso de ancoragem e do parafuso de tensão é o mesmo que o indicado anteriormente.

As uniões diagonais são realizadas por meio do corte chamado “bico de flauta”, unindo uma peça vertical ou horizontal com outra que não é paralela ou perpendicular. Nessas uniões o maior contato entre as peças deve ser alcançado. Essa união diagonal pode ser fixada de duas maneiras: colocando um parafuso de tensão e um parafuso de ancoragem e / ou colocando uma barra roscada no ângulo que forma entre o colmo vertical e a colmo diagonal (Fig. 55).

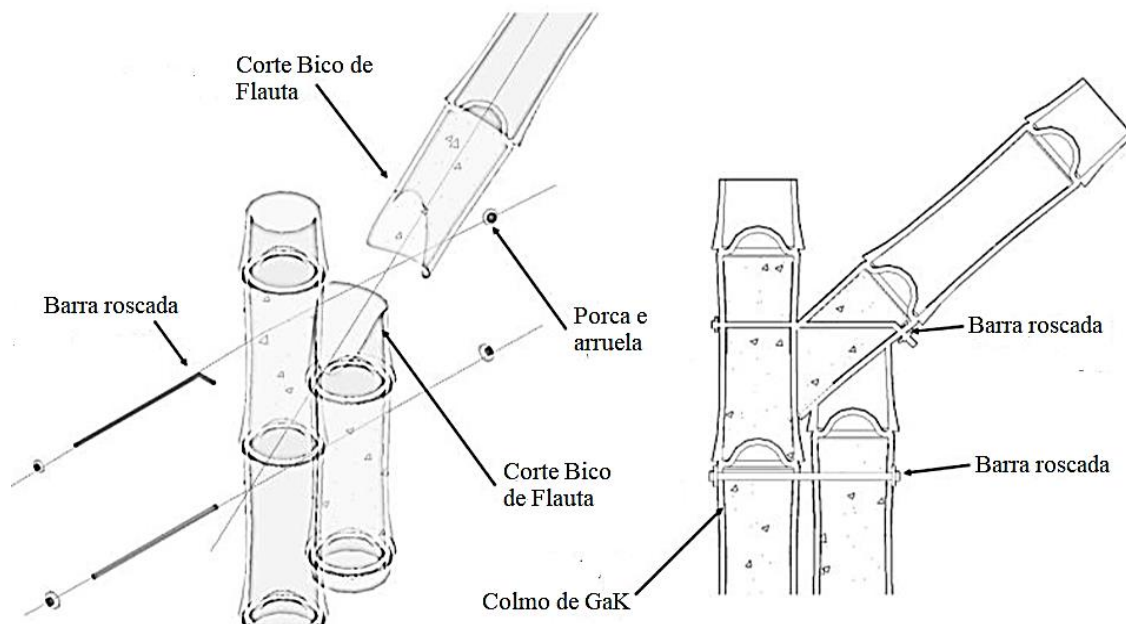


Figura 55 - União diagonal com bambu e apoio. Fonte: Norma equatoriana (2017) adaptada.

A colocação de parafusos diagonais faz com que as porcas e arruelas não fiquem perpendiculares às fibras do colmo, causando a rachadura da peça de GaK. Para evitar isso, é indicado usar pequenos prismas de madeira (preservada), neoprene ou metálicos, o que permite uma melhor união. A barra roscada que cruza e junta os colmos, deve passar atrás do nó do colmo que tem o corte bico de flauta, para evitar fissuras (Fig. 51).

Outros tipos de uniões serão permitidos desde que sejam verificados por um estudo científico, com pelo menos 30 testes, e que permite verificar se a capacidade da união proposta é equivalente ou superior à indicada nesta norma.

10. ORIENTAÇÕES PARA VEDAÇÕES ESTRUTURAIS COM BAMBU

10.1 Norma Peruana NTE E.100

O conjunto de elementos de vedação e paredes estruturais de bambu devem ser projetados para resistir a 100% das cargas laterais aplicadas, tais como: ações de ventos; terremotos e excepcionalmente peso do solo ou materiais armazenados. Essas paredes estruturais também devem ser suficientemente rígidas para: limitar o deslocamento lateral, evitando danos a outros elementos não estruturais; reduzir a amplitude das vibrações nas paredes e pisos a limites aceitáveis; proporcionar ligação a outros elementos impedindo o tombamento ou torção lateral.

As uniões das paredes estruturais, tanto entre si quanto com outros elementos, devem ser adequadas para transmitir e resistir as forças cortantes de terremotos e ventos.

Deve-se ater especial atenção a ancoragem das paredes estruturais à fundação. Cada painel independente deve estar conectado com a fundação em pelo menos dois pontos, e a separação entre as ancoragens não deve ser maior que 2 metros. As paredes cuja relação entre altura e comprimento seja maior que 2, não devem ser considerados como resistência.

Sobre condições normais de serviço, como sobrecargas de vento habituais ou terremotos de pequena e média intensidade, deve-se verificar que as deformações das paredes não excedam $h/1200$ (sendo h a altura da parede). Cada parede estrutural considerada separadamente, deve ser capaz de resistir a carga lateral proporcional correspondente a gerada pela massa que se apoia sobre ela, a menos que seja feita uma análise detalhada da distribuição de esforços cortantes considerando a flexibilidade dos elementos horizontais.

As paredes estruturais de uma edificação devem estar posicionadas em duas direções ortogonais, com espaçamento menores que 4 metros em cada direção. A distribuição destes elementos deve ser o mais uniforme possível, com rigidez aproximadamente proporcional a suas áreas de influência.

A resistência das uniões dependerá do tipo de união e dos elementos utilizados. Os valores admissíveis serão determinados com base nos resultados de pelo menos cinco ensaios, com materiais e projeto, a ser utilizado na obra, considerando um fator de segurança de três.

Os parafusos, barras roscadas, porcas e arruelas devem receber tratamento anticorrosivo sendo zincados ou galvanizados, especialmente em áreas exteriores e ambientes úmidos.

Deve-se construir uma viga estrutural de apoio com uma altura mínima de 20 cm sobre o nível do terreno para receber todos os elementos estruturais verticais de bambu (colunas e paredes estruturais). As peças de bambu devem ser cortadas de tal forma que mantenha sobre um nó inteiro, em cada extremo ou próximo a ele, a uma distância máxima $D=6$ cm do nó (Fig. 56).

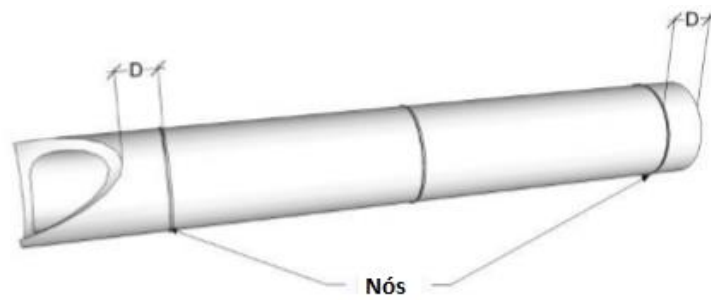


Figura 56 - Distância máxima até os nós para cortes de uniões em paredes estruturais de bambu. Fonte: Norma peruana NTE.100 (2012) adaptada.

As paredes estruturais de bambu (Fig. 57) devem ser compostas por bambus, ou bambus e madeira. Constituídas por elementos horizontais e elementos verticais que trabalham de forma conjunta para garantir resistência e rigidez à parede. Os bambus não devem ter um diâmetro inferior a 80 mm. A distância entre as peças verticais e o número de diagonais será definido de acordo com o projeto estrutural.

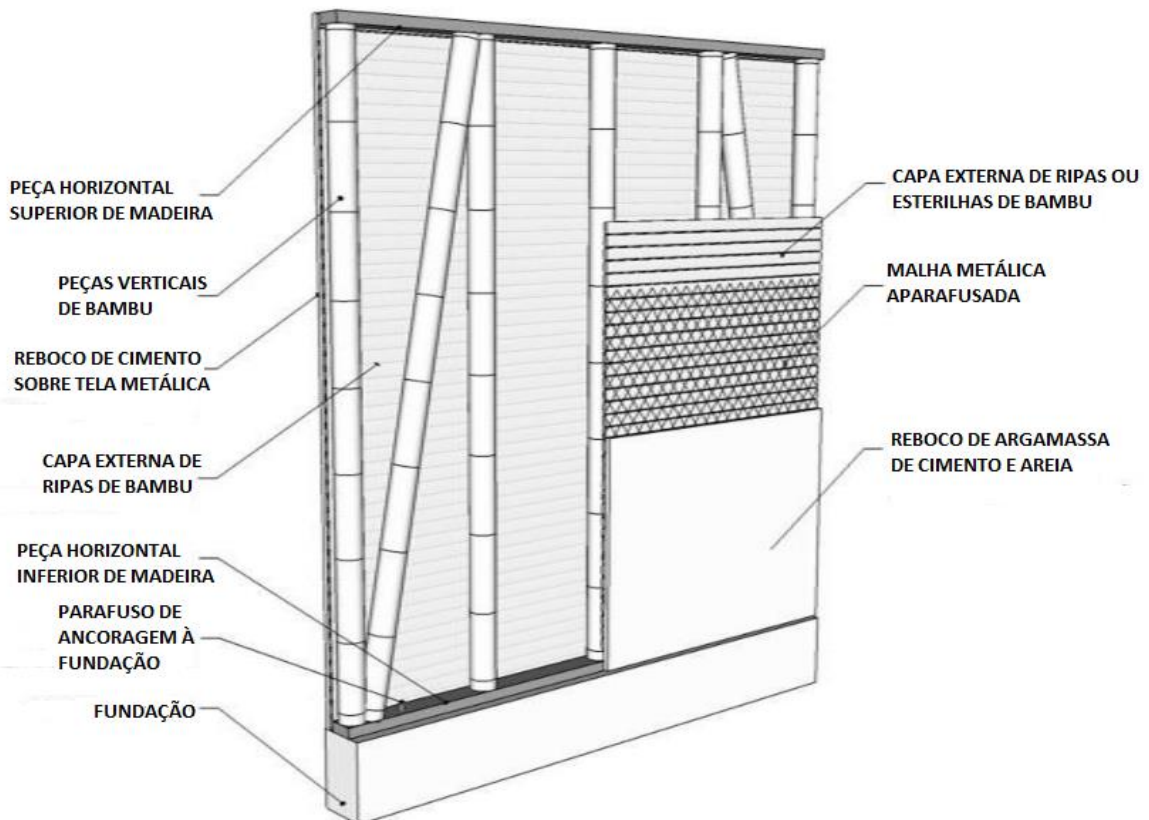


Figura 57 - Paredes estruturais de bambu e madeira. Fonte: Norma peruana NTE.100 (2012) adaptada.

No caso do uso de peças de madeira como peças de travamento horizontal, estas deverão possuir uma largura mínima igual ao diâmetro do bambu utilizados como peças verticais. A espessura mínima das peças horizontais superiores e inferiores será de 35mm

e 25mm respectivamente. No caso de peças horizontais de bambu, estas deverão ser reforçadas para evitar o esmagamento das mesmas.

As colunas devem ser projetadas com uma peça de bambu ou da união de duas ou mais peças de bambu, colocadas de forma vertical com as bases orientadas para baixo. As colunas compostas de mais de uma peça de bambu, devem ser unidas entre si com parafusos ou cintas, com espaçamentos que não excedam um terço ($1/3$) da altura da coluna.

As paredes estruturais devem possuir ligação entre si com parafusos ou cintas (Fig. 58). Devem possuir no mínimo 3 pontos de fixação entre elas, posicionados a cada terço da altura da parede. O parafuso ou barra roscada deve ter no mínimo 9 mm de diâmetro.

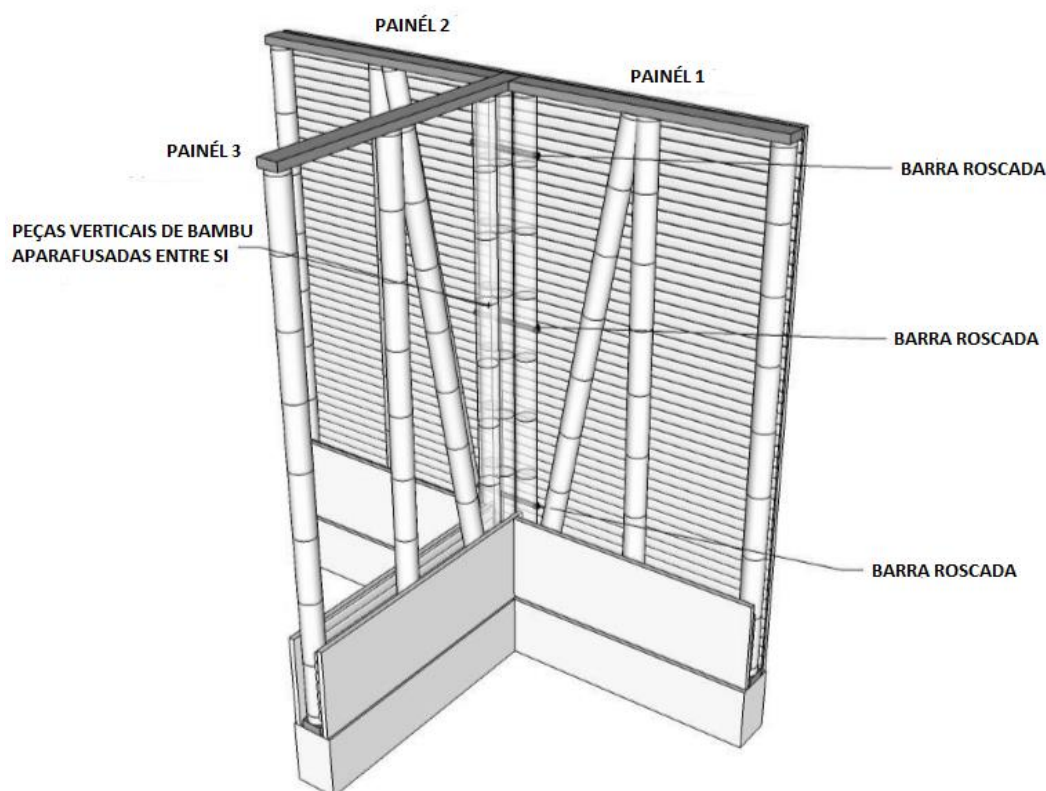


Figura 58 - Ligação entre paredes estruturais de bambu. Fonte: Norma peruana NTE E.100 (2012) adaptada.

A união entre as paredes estruturais e a laje deve seguir algumas recomendações, principalmente em estruturas de 2 pavimentos: deve existir uma viga de amarração no nível da laje; deve-se manter a continuidade estrutural das paredes do primeiro e segundo piso; a estrutura da laje e da parede estrutural devem estar fixados de tal maneira que

garantam um comportamento de conjunto; deve-se garantir que não haja esmagamento das vigas de bambu.

Para a ligação entre paredes estruturais e a estrutura da cobertura é necessário seguir algumas recomendações: deve existir uma viga de amarração no nível da cobertura; deve-se manter a continuidade estrutural da estrutura da cobertura com as paredes que a suportam; a estrutura da cobertura deve estar fixada às paredes estruturais de tal maneira que garanta seu comportamento de conjunto; deve-se garantir que não haja esmagamento dos bambus. Caso as paredes não sejam estruturais a estrutura da cobertura deve estar fixada as colunas e vigas de maneira que se garanta o comportamento em conjunto.

10.2 Norma Equatoriana

A construção de painéis ou divisórias estruturais pode ser feita de várias maneiras, diferenciadas pelo tipo de estrutura do painel, que pode ser de colmos de bambu, tábuas de madeira estrutural preservadas ou uma união destes dois materiais. Para a construção de painéis com estrutura de colmos de GaK deve-se considerar algumas recomendações.

Recomenda-se a pré-fabricação de painéis com um comprimento máximo de 3 m e 3,5 m no ponto mais alto, devido ao seu peso, uma vez que um peso maior tornará mais difícil manusear e colocá-lo na obra. Se forem necessários painéis mais longos, serão feitos dois painéis cujo comprimento seja igual ao desejado, desde que não excedam 3 m cada.

Os colmos intermediários e laterais serão fixados nos colmos superiores e inferiores, por meio da conexão “boca de pescador”, e fixados com parafusos de ancoragem e parafuso tensor, conforme indicado nas orientações para sistemas conectivos. Os colmos intermediários serão colocados espaçados não mais de 0,6 m entre seus eixos (Fig. 59).

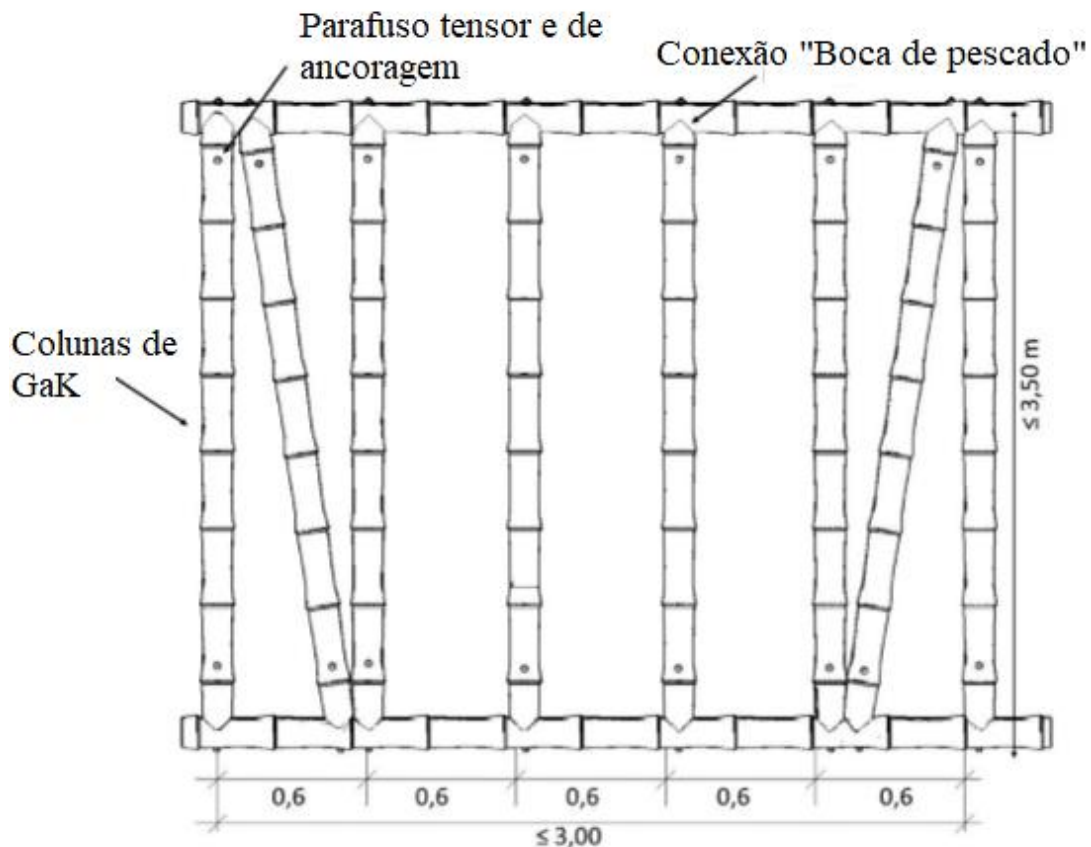


Figura 59 - Painel com estrutura de colmos de GaK. Fonte: Norma Equatoriana (2017) adaptada.

Em cada um dos espaços extremos entre colmos, um colmo diagonal deve ser colocado para dar maior rigidez ao painel (Fig. 60). Estes dois colmos devem ser fixados com a união “bico da flauta”, conforme indicado nas orientações para sistemas conectivos. A estrutura do painel pode ser modificada dependendo da necessidade de colocar portas ou janelas, para as quais serão colocados contra verga e peitoril correspondente.

Os painéis mistos de GaK e madeira são constituídos por elementos horizontais chamados de soleiras, elementos verticais chamados de colunas e revestimento. Os colmos utilizados não devem possuir diâmetro inferior a 80 mm. No caso das soleiras de madeira, estas terão uma largura mínima igual ao diâmetro dos bambus utilizado como coluna. A espessura mínima da tábu de madeira superior e inferior deve ser de 35 mm e 25 mm, respectivamente.

Os painéis estruturais podem ser cobertos por ripas de bambu, em uma ou nas duas faces do painel. As ripas devem estar secas e conservadas, de larguras e espessuras uniformes e bordas retas. As ripas serão instaladas com sua face externa voltada para o

exterior da parede. As ripas podem ser fixadas na posição ortogonal à estrutura do painel (Fig. 60), sejam ela de colmos inteiros ou de madeira. Outra maneira de fixa-las é em diagonais ou formando figuras geométricas.

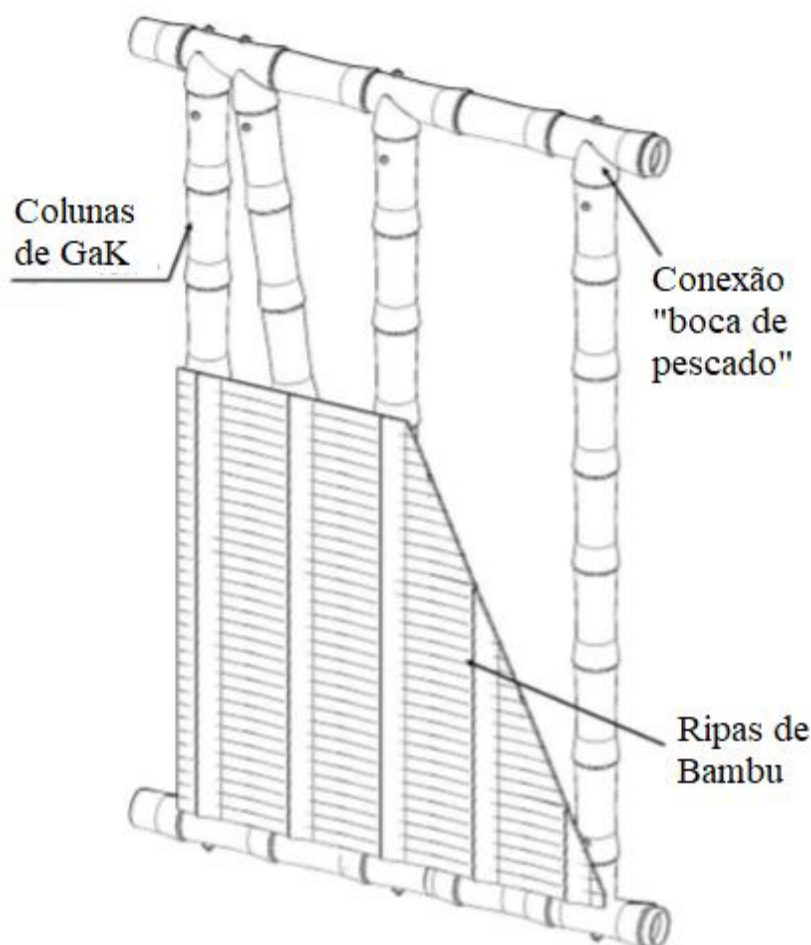


Figura 60 - Recobrimento de Painéis estruturais com ripas de bambu. Fonte: Norma Equatoriana (2017) adaptada.

Antes do cobrimento dos painéis deve-se realizar as instalações sanitárias, com até 50 mm (2"), e elétrica, deixando o espaço das caixas de passagem, tomadas e interruptores. Para fixar as ripas de bambu na estrutura dos painéis de madeira ou GaK, são usados parafusos de 38 mm (1 ½"), ligadas por um fio galvanizado n.º 18. Este fio pode ser posteriormente coberto com ripas de bambu.

O mesmo procedimento descrito acima pode ser realizado utilizando “esterilhas” de bambu, ou colmos de bambu aberto em forma de esteira. As esteiras de bambu devem ter sua camada interna, ou parte branca, removida. Devem ser deixados pequenos espaços entre as esteiras para melhor fixação do acabamento de argamassa. Deve-se também

alternas as posições das esteiras para compensar a diferença de conicidade dos colmos de bambu.

Sobre este tipo de revestimento é possível dar um acabamento de reboco no painel. O acabamento com argamassa de areia e cimento deve ser realizado em duas camadas. Para executar a primeira camada é necessário umedecer o recobrimento de esteiras de bambu já fixados no painel e passar uma nata de cimento (água: cimento 3:1). Para a primeira camada de reboco usa-se uma argamassa com relação 1:3 (cimento: areia). O uso de mestras durante a aplicação do reboco facilita na padronização da espessura do revestimento. Deve-se hidratar esse recobrimento por 8 dias, caso apareçam fissuras não é necessário preenche-las.

Para a aplicação da segunda camada do reboco é necessário hidratar a superfície do painel. Para a segunda camada de reboco usa-se uma argamassa com relação 1:1:3 (cimento: cal: areia). A superfície do painel rebocado deve ser hidratada até a cura do reboco.

11. ORIENTAÇÕES PARA VIGAS E LAJES EM ESTRUTURAS DE BAMBU

11.1 Norma Colombiana NSR – 10

Quando for necessário a utilização de mais de uma peça de bambu na construção de vigas de seção compostas, estas devem estar unidas entre si com parafusos ou barras roscadas, e cintas metálicas para garantir o trabalho em conjunto dos elementos. Estes conectores devem ser projetados para resistir aos esforços gerados na união.

Quando se constroem vigas com duas ou mais peças de guadua deve-se garantir sua estabilidade por meio de conectores transversais de aço, que garantam o trabalho em conjunto. O máximo espaçamento entre os conectores não pode exceder os valores disponibilizados em “Orientações para cálculo de elementos a cisalhamento paralelo às fibras”.

As perfurações nas vigas devem ser evitadas, se necessário, estas devem ser consideradas em projeto e cumprir com as seguintes recomendações: não são permitidas perfurações, na altura da linha neutra, nas seções onde existam cargas pontuais ou próximo dos apoios; nos casos diferentes do anterior, as perfurações devem estar localizadas na altura da linha neutra e em nenhum caso serão permitidas perfurações nas zonas de tração dos elementos; o tamanho máximo das perfurações será de 3,81 mm; nos apoios e nos pontos de aplicação de cargas pontuais, serão permitidas a perfurações

sempre e quando estas sejam necessárias para poder preencher o entrenó com argamassa de cimento.

11.2 Norma Peruana NTE E.100

As vigas podem ser executadas utilizando uma peça de bambu ou a união de duas ou mais peças de bambu (Fig. 61 e 62). As vigas compostas de mais de uma peça de bambu devem ser unidas entre si com parafusos ou cintas, com espaçamento mínimo de um quarto ($1/4$) do comprimento da viga. Para se obter vigas de comprimentos maiores que a peça de bambu, deve-se unir dois bambus longitudinalmente como explicado anteriormente. As uniões das peças de bambu em vigas compostas devem ser alternadas (Fig. 61).

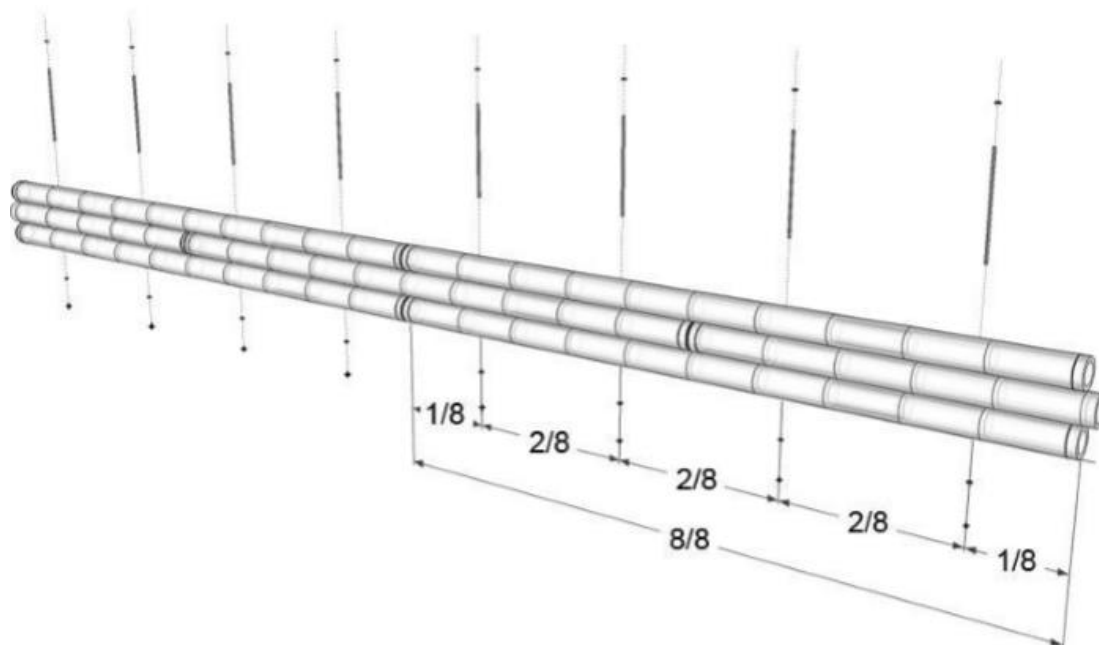


Figura 61 - Vigas compostas por colmos de bambu no mesmo eixo. Fonte: Norma peruana NTE E.100 (2012).

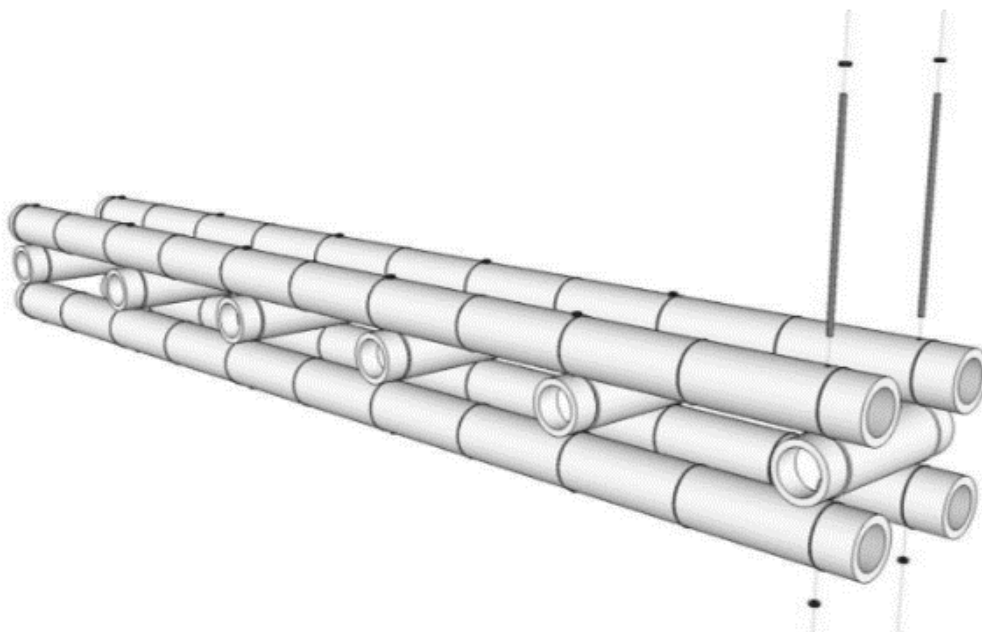


Figura 62 - Vigas compostas por colmos de bambu em diferentes eixos. Fonte: Norma peruana NTE E.100 (2012).

As perfurações nas vigas devem ser evitadas, se necessário, estas devem ser consideradas em projeto e cumprir com as seguintes recomendações: não são permitidas perfurações na altura da linha neutra, nas seções onde existam cargas pontuais ou próximo dos apoios; nos casos diferentes do anterior, as perfurações devem estar localizadas na altura da linha neutra, e em nenhum caso, serão permitidas perfurações nas zonas de tração dos elementos; o tamanho máximo das perfurações será de 4 cm de diâmetro; nos apoios e nos pontos de aplicação de cargas pontuais, serão permitidas a perfurações sempre e quando estas sejam necessárias para poder preencher o entrenó com argamassa de cimento.

Não são permitidas lajes de concreto para edificações com bambu construídas de acordo com a presente norma, salvo se forem justificadas com cálculo estrutural correspondente.

O projeto estrutural para lajes de bambu (Fig. 63) deve seguir as recomendações da presente norma, devendo evitar o esmagamento das vigas de bambu em seus extremos das seguintes formas: utilizando tacos de madeira, de altura igual ao diâmetro das vigas de bambu; preenchendo com argamassa de cimento os entrenós de apoio das vigas. No caso de vigas compostas, formadas por peças de bambu sobrepostas, deve-se projetar os apoios de forma a evitar o tombamento lateral da peça.

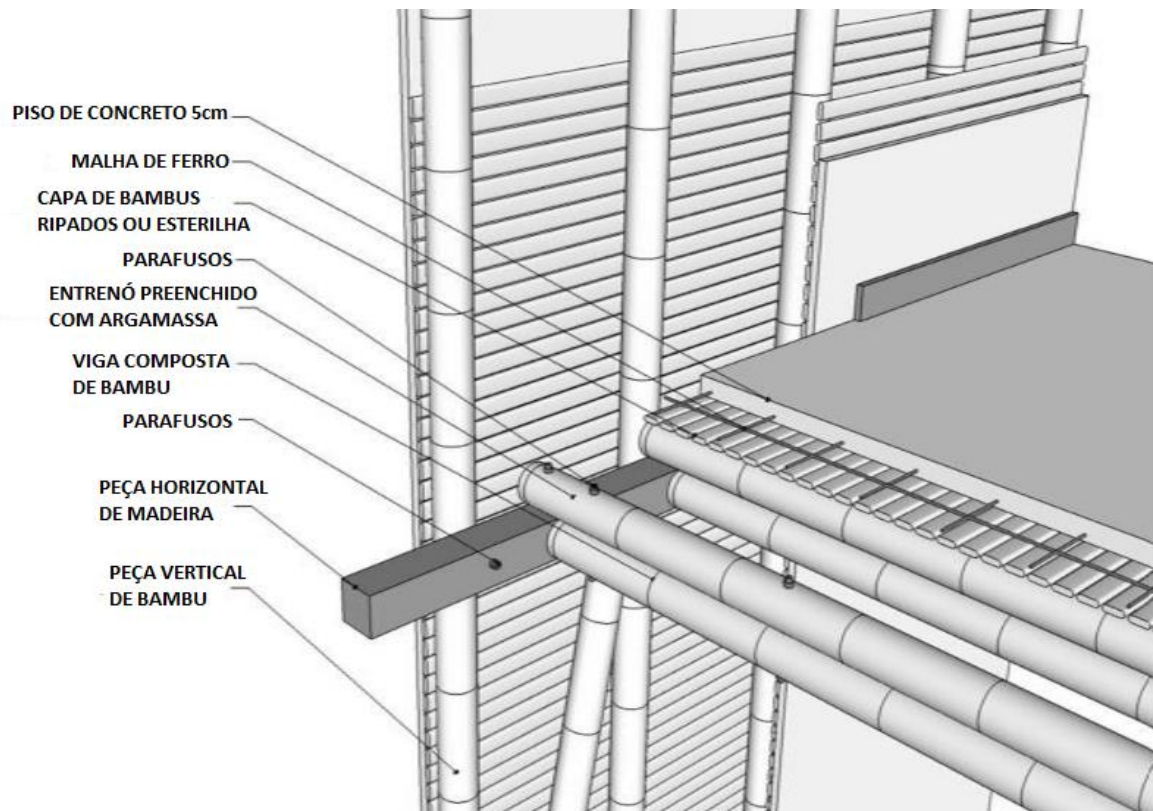


Figura 63 - Laje de bambu. Fonte: Norma peruana NTE E.100 (2012) adaptada.

O piso para lajes de bambu deve ser executado com materiais leves, com peso máximo de 120 kg/m², salvo que se justifique com o cálculo estrutural correspondente. Caso seja construído forro por baixo da laje de bambu, deve-se facilitar a ventilação dos espaços interiores.

11.3 Norma Equatoriana

As vigas podem ser executadas utilizando uma peça de bambu ou a união de duas ou mais peças de bambu. Para qualquer dos casos, o projeto da viga deverá estar respaldado pelo cálculo estrutural.

As vigas compostas de mais de uma peça de bambu devem ser unidas entre si com parafusos ou cintas, abraçadeiras metálicas ou peças de madeira estrutural, com espaçamento mínimo de um quarto (1/4) do comprimento da viga (Fig. 64). Para se obter vigas de comprimentos maiores que a peça de bambu, deve-se unir dois bambus longitudinalmente como explicado anteriormente. As uniões das peças de bambu em vigas compostas devem ser alternadas.

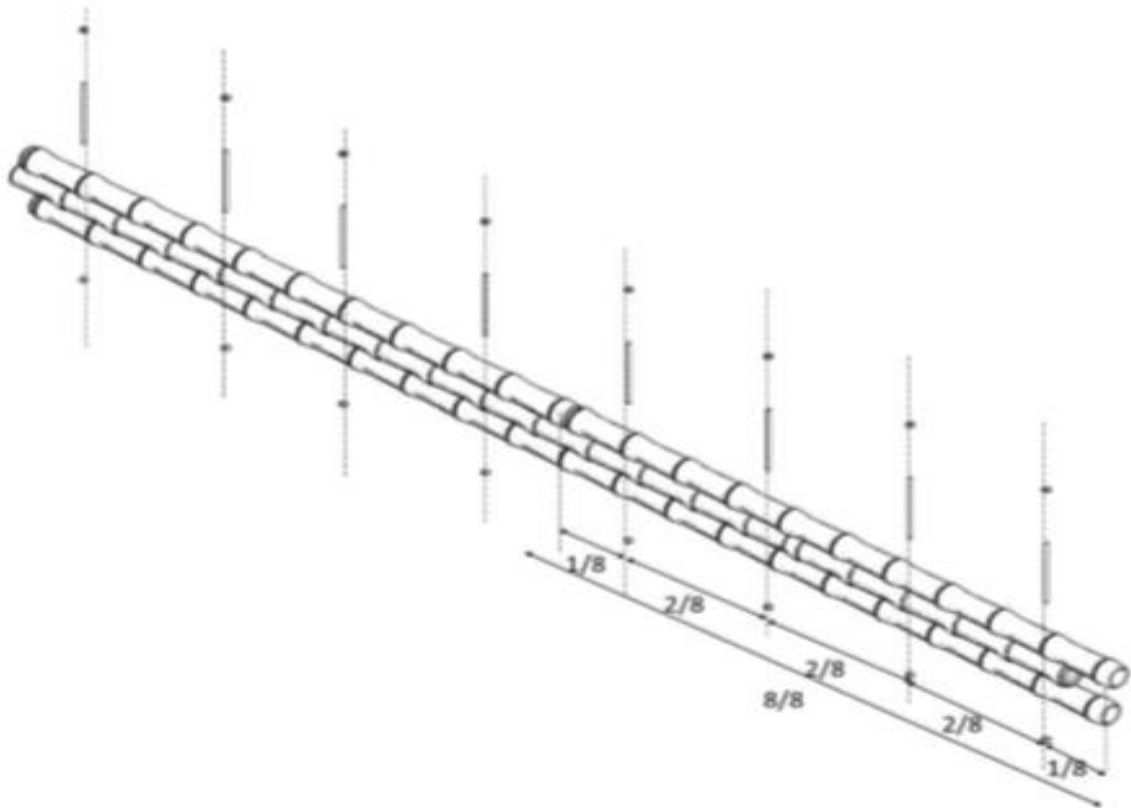


Figura 64 - Viga composta de colmos no mesmo eixo. Fonte: Norma Equatoriana (2017).

Os parafusos utilizados devem possuir 10 mm de diâmetro e devem estar distanciados a 30mm dos nós. As pontas dos colmos que estejam expostas devem ser preenchidas com argamassa de cimento, gesso, poliuretano, massa de madeira (serragem + cola), entre outros, que impessam a entrada de insetos e animais que possam afetar os colmos.

12. ORIENTAÇÕES PARA LIGAÇÃO ENTRE A ESTRUTURA DE BAMBU E A FUNDAÇÃO

12.1 Norma Peruana NTE E.100

As forças de tração devem ser transmitidas através de conexões aparafusadas. Um parafuso deve atravessar o primeiro e o segundo entrenó do bambu. Cada coluna deve possuir no mínimo uma peça de bambu conectada a fundação ou ao bloco de fundação.

Deve-se preencher os entrenós atravessados pela peça metálica e pelo passador com uma argamassa forte de cimento. Deve-se evitar o contato do bambu com o concreto ou o reboco utilizando uma barreira impermeável a base de algum sistema hidrofugo. A união entre a fundação e a coluna de bambu pode ser realizado de duas formas.

União com ancoragem interna (Fig. 65a): deve-se deixar fixada à fundação uma barra de ferro de no mínimo 9mm de diâmetro com terminação em gancho. Esta barra deverá ter um comprimento mínimo de 40 cm sobre a fundação. Antes da montagem da coluna de bambu, deve-se perfurar no mínimo 2 diafragmas dos últimos 2 nós da base da coluna. Coloca-se um passador (parafuso) com diâmetro mínimo de 9mm, que passará por dentro do gancho da barra já chumbada à fundação. Os entrenós atravessados pela barra devem ser preenchidos de argamassa de cimento.

União com ancoragem externa (Fig. 65b): deve-se deixar fixada à fundação uma base metálica com duas barras ou chapas metálicas de ferro, com no mínimo 9mm de diâmetro. Essas barras ou chapas deverão ter um comprimento mínimo de 40 cm sobre a fundação. Coloca-se um passador (parafuso) com diâmetro mínimo de 9mm, que fará a união das duas barras ou chapas com o bambu. Os entrenós atravessados pelo passador devem ser preenchidos de argamassa de cimento.

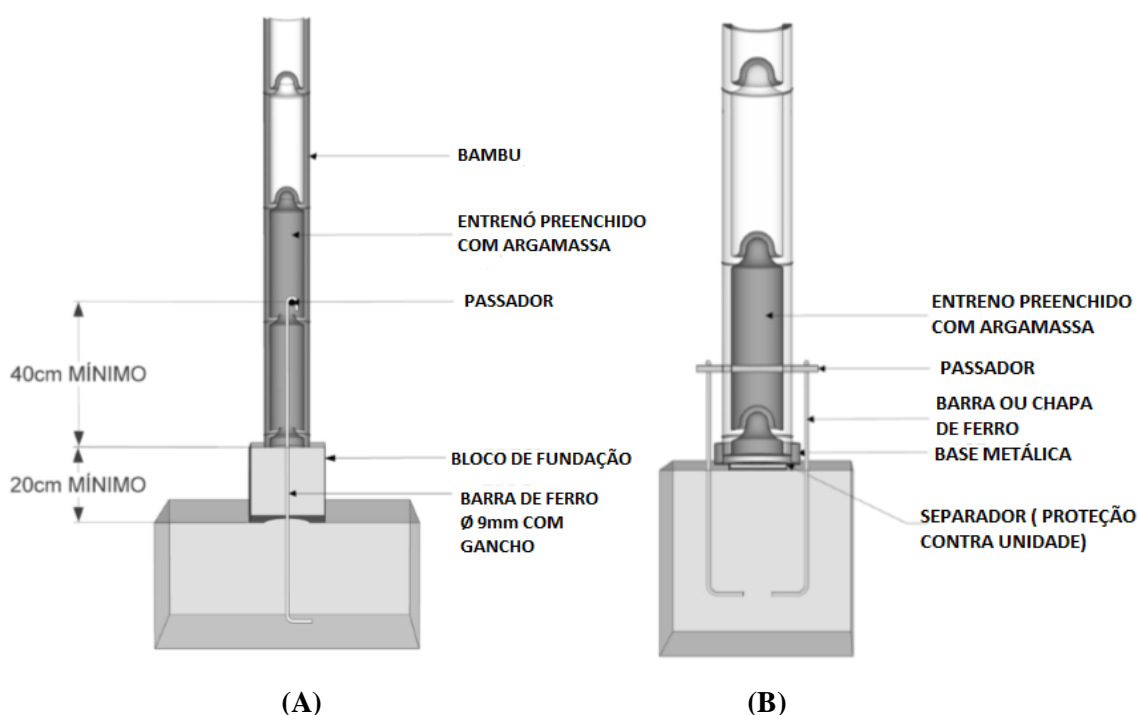


Figura 65 - Figura 65a - Ligação interna coluna fundação. Figura 65b - Ligação externa coluna fundação. Fonte: Norma peruana NTE E.100 (2012) adaptada.

Cada parede estrutural deve possuir no mínimo dois pontos de ancoragem (conectores metálicos) conectados a fundação ou viga baldrame da fundação (Fig. 66). Os pontos de ligação não podem estar separados a uma distância superior a 2,50 m. No caso de portas haverá um ponto de ancoragem em cada um dos lados da mesma.

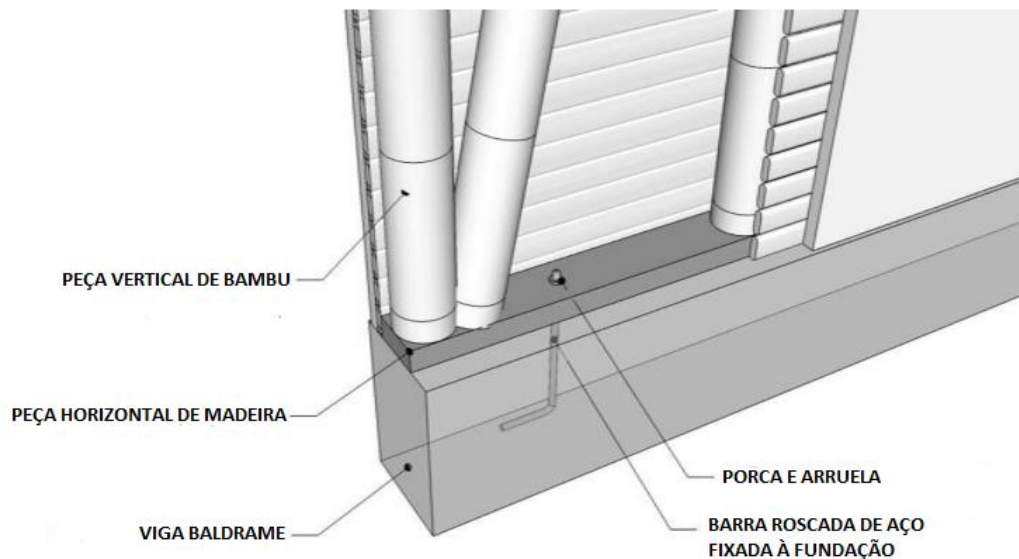


Figura 66 - Fixação parede estrutural de bambu e viga da fundação. Fonte: Norma peruana NTE E.100 (2012) adaptada.

12.2 Norma Equatoriana

O bambu *Guadua angustifolia* Kunt (GaK) é um material poroso e higroscópico. Como a madeira, se a umidade se acumular no interior, isso afetará suas propriedades físico-mecânicas e estará propenso a ataques de fungos e posterior putrefação. Por esta razão, é essencial proteger os elementos estruturais da umidade.

Em uma estrutura, a umidade vem principalmente por capilaridade, chuva ou condensação. Por esta razão, a estrutura de GaK deve ser protegida. As colunas de GaK não podem estar em contato direto com o solo natural. Elas devem ser suportadas por um apoio (bloco de fundação, pedestais, pilaretes ou outros) devidamente impermeabilizados na superfície de contato com os colmos de bambu. Os colmos não devem ser enterrados ou imersos na cimentação ou em qualquer outro componente cimentício. Os edifícios devem ser protegidos do escoamento por: drenos, valas, sumidouros, plataformas ou outros elementos (Fig. 67).

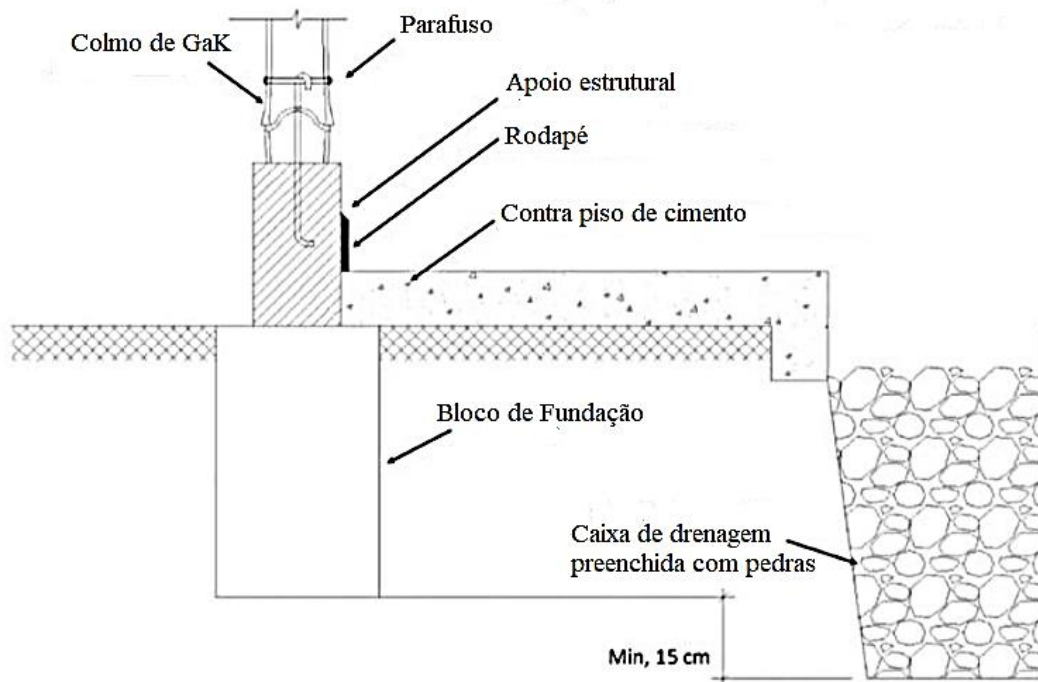


Figura 67 - Proteção da estrutura de bambu contra escoamento de água. Fonte: Norma Equatoriana (2017) adaptada.

Se houver possibilidade de presença de cupins, recomenda-se que, na camada anti-capilar, seja colocada uma placa de metal de 2 mm de espessura, cobrindo a cabeça do apoio e saindo 2 mm de suas bordas. Esta placa de metal deve ser protegida com anticorrosivos. Em ambientes salgados ou costeiros, a placa metálica pode ser substituída por placas de neoprene de 6 ou 8 mm.

Um apoio estrutural de altura mínima de 200 mm (Fig. 68), acima do nível do terreno natural, deve ser construído para receber todos os elementos estruturais verticais de GaK (sejam colunas ou paredes estruturais).

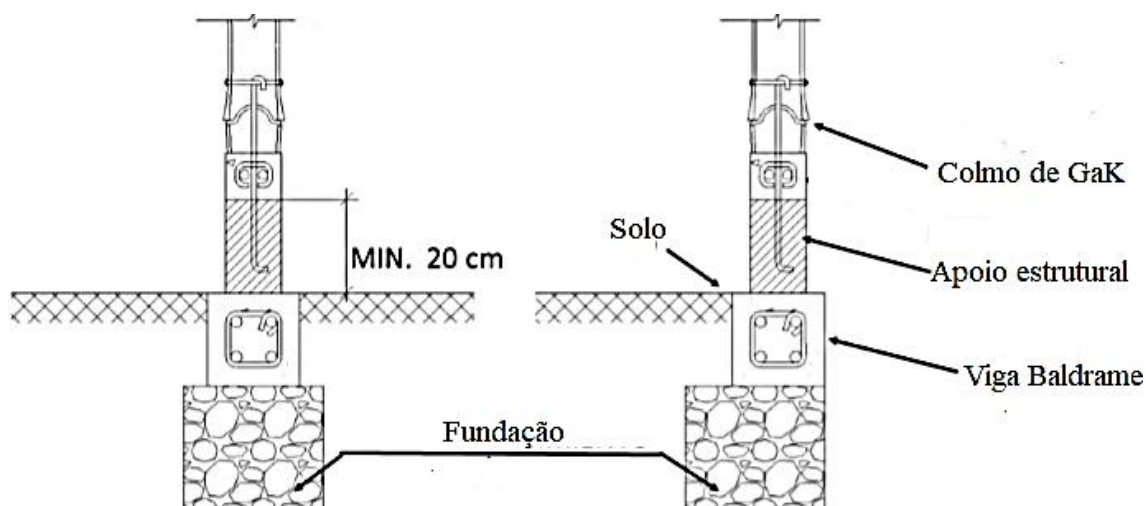


Figura 68 - Proteção das guaduas por elevação de apoio do solo. Fonte: Norma Equatoriana (2017) adaptada.

Existem várias opções para ancorar os colmos de bambu aos apoios estruturais, tais como: barra ou vergalhão de ferro, tubos de aço, elementos de aço articulados, entre outros, de acordo com os requisitos do projeto estrutural.

Uma delas é o uso de barras de ferro, as hastes iniciam-se na fundação e sobressaem na cabeça do apoio, para cumprir as funções de ancoragem entre o apoio e os colmos de bambu. Esse sistema permite o suporte de um ou mais colmos na ponta do apoio. Antes de inserir o colmo nas hastes, o diafragma interno dos dois nós inferiores deve ser removido.

Com a serra copo ou outro instrumento apropriado, deve ser feita uma abertura de 25 mm de diâmetro no entrenó do colmo a 300 mm do apoio. O diâmetro das barras que penetram nos colmos de GaK está relacionada à altura das colunas, em qualquer caso, não devem ser inferiores a 10 mm (3/8 ") nem maiores que 18 mm (3/4 "). As barras que sobressaem do apoio devem ter pelo menos 400 mm de comprimento (Fig. 69).

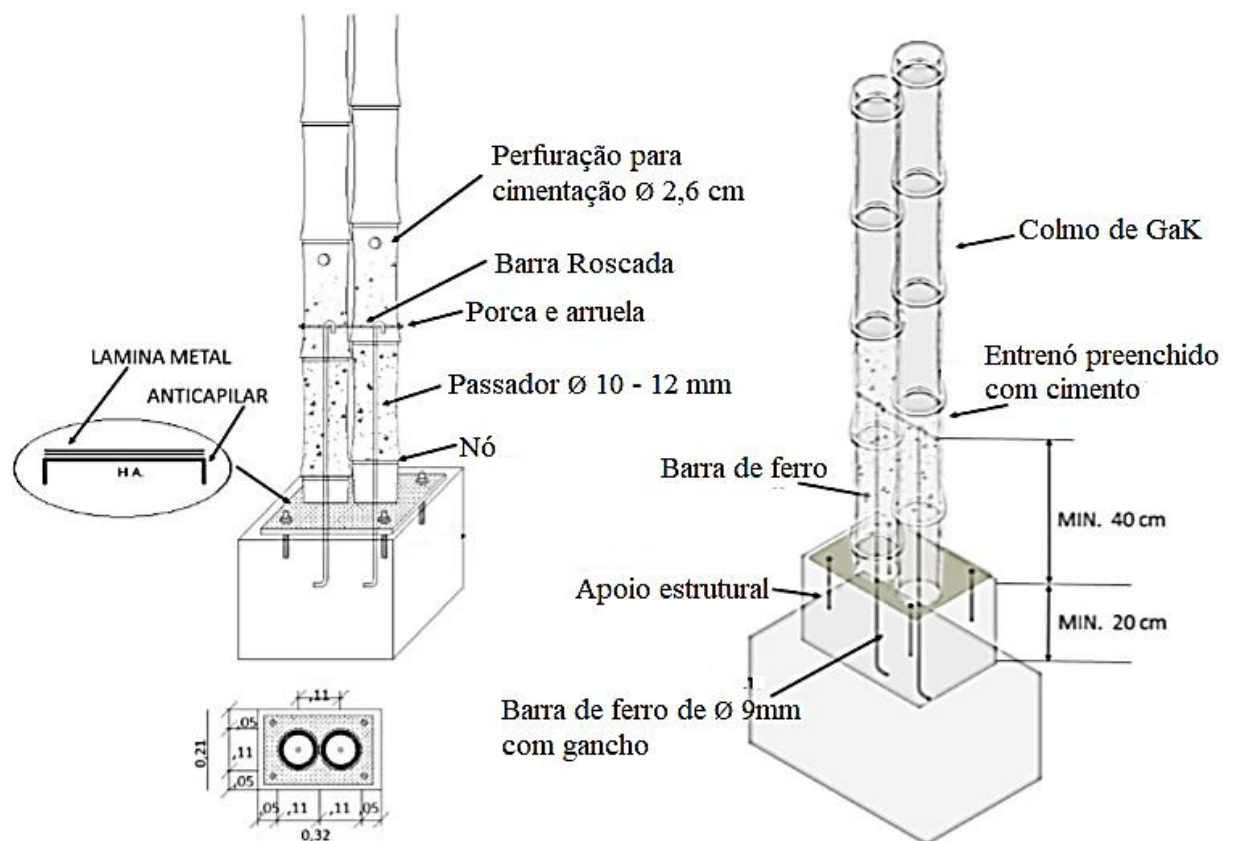


Figura 69 - Exemplo de fixação da estrutura com barras de ferro ou aço. Fonte: Norma Equatoriana (2017) adaptada.

Não se deve preencher os entrenós com a mistura de argamassa (areia: cimento) até que todos os suportes tenham sido concluídos. Os componentes da argamassa areia: cimento são 1:3 (de preferência com um aditivo plastificante que garanta a fluidez da mistura). No entanto, para conseguir uma maior resistência da argamassa, é possível substituir 1 parte de areia por 1 parte de pedrisco (resíduo de pedra esmagada) na proporção anterior. Deve-se golpear o colmo com um martelo de borracha, de modo que a argamassa penetre e se distribua uniformemente por dentro do entrenó. Não é necessário fazê-lo com força excessiva.

Outra opção são os sistemas que utilizam chapas de aço. Este sistema permite estabilizar um ou mais colmos sobre o apoio, sem a necessidade de introduzir argamassas ou misturas de areia: cimento no colmo. Duas placas de metal, com 40 mm de largura e 5 mm de espessura, devem fazer a união entre o colmo de GaK e o apoio. As duas placas devem ser fixadas ao apoio estrutural e possuir um comprimento mínimo de 250 mm desde o apoio.

As placas podem ser previamente perfuradas e posicionadas com dois parafusos de 10 mm, devidamente fixados com porcas e arruelas, enquanto a fundação esteja curando, assegurando assim o alinhamento das perfurações nas duas placas. É aconselhável colocar um bloco de madeira entre as placas para evitar deslocamentos. As placas devem ser largas o suficiente para colocar os parafusos de tal forma que não estejam alinhados no mesmo eixo, mas, fora de linha, para minimizar o efeito de corte nas fibras paralelas do colmo de GaK (Fig. 70).

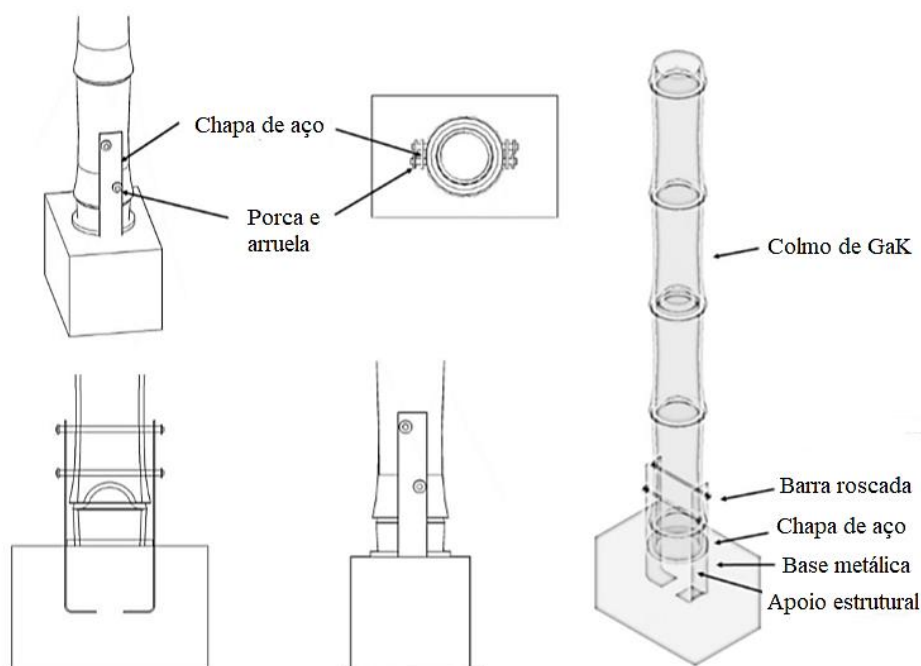


Figura 70 - Exemplo de fixação da estrutura com chapas metálicas. Fonte: Norma Equatoriana (2017) adaptada.

A separação entre as duas placas deve estar de acordo com o diâmetro dos colmos disponíveis. Concluída a cura da cimentação dos apoios, as porcas são removidas, o colmo é colocado e perfurado na direção dos orifícios das duas placas e aparafusado.

Antes da instalação, todos os elementos metálicos devem ser limpos (ferrugem, graxa, cimento, poeira, entre outros). No final da construção, eles devem ser verificados e, se necessário, pintados de acordo com as recomendações técnicas.

13. ORIENTAÇÕES PARA CÁLCULO ESTRUTURAL

13.1 Recomendações das Normas Estudadas

13.1.1 Norma Indiana

Os valores de tensão máxima de diferentes espécies e grupos de bambu devem ser determinados de acordo com a norma Indiana IS 6874. Estes valores devem então ser

divididos por fatores adequados de segurança para obter tensões admissíveis para cobrir os efeitos da variabilidade, do carregamento a longo prazo, da classificação, da localização do uso e do carregamento dinâmico esperado.

Os parâmetros para correlacionar as tensões máximas com as tensões admissíveis serão:

Esforço extremo da fibra nas vigas	–	4
Módulo de Elasticidade	–	4.5
Máxima tensão de compressão paralela as fibras	–	3.5

Para a alteração da duração da carga diferente do contínuo (longo prazo), as tensões permitidas calculadas devem ser multiplicadas pelos fatores de modificação dados abaixo:

Para carga permanente	–	1.0
Para carga imposta ou de médio prazo (Permanente + carga temporária)	–	1.25
Para carregamento a curto prazo (Permanente + carga temporária + carga de vento)	–	1.50

13.1.2 Norma Internacional ISO

A norma “Structural design - ISO 22156: 2004”, denomina estados limites como os estados além dos quais a estrutura já não satisfaz os requisitos de desempenho de projeto. Os estados limites podem ser classificados como estado limite último e estado limite de serviço.

Os estados limites últimos são aqueles associados ao colapso, ou com outras formas de falha estrutural que possam colocar em perigo a segurança das pessoas. Estados antes do colapso estrutural que, por simplicidade, são considerados no lugar do próprio colapso, também são classificados e tratados como estados limite últimos, como perda de equilíbrio da estrutura ou qualquer parte dela, e falha por deformação excessiva ou forças excessivas, causando ruptura ou perda de estabilidade da estrutura ou de qualquer parte dela, incluindo apoios e fundações.

Os estados limites de serviço correspondem a estados além dos quais os critérios de serviço especificados não são mais atendidos, como: deformações ou deflexões que afetam a aparência ou o uso efetivo da estrutura (incluindo o mau funcionamento de máquinas ou serviços) ou que cause danos aos acabamentos ou elementos não estruturais; e vibração que provoque desconforto para as pessoas, danos à estrutura ou ao que ela contém, ou que limite sua eficácia funcional.

Os parâmetros de resistência e rigidez devem ser determinados com base em testes de acordo com os tipos de efeitos de ação aos quais o material será submetido na estrutura, ou com base em comparações com espécies de bambu similares ou materiais à base de bambu, ou em relações bem estabelecidas entre as diferentes propriedades. Deve ser demonstrado que a estabilidade dimensional e o comportamento ambiental são satisfatórios para os fins pretendidos. Deve ser dada especial atenção às diferenças entre os materiais provenientes de diferentes localidades.

Uma vez que os valores característicos são determinados na hipótese de uma relação linear entre tensão e deformação até a falha, a verificação de resistência de membros individuais deve também ser baseada em uma relação linear. O comportamento estrutural geralmente deve ser avaliado calculando os efeitos de ação com um modelo de material linear (comportamento elástico). As classes de serviço devem ser definidas de acordo com as temperaturas e a umidade relativa que ocorrem nas regiões e as cargas de projeto devem ser determinadas de forma semelhante às das estruturas de madeira.

Deve verificar-se que nenhum estado limite relevante seja excedido. Todas as situações relevantes de design e casos de aplicação de carga devem ser consideradas. Os cálculos devem ser realizados utilizando modelos de projeto adequados (complementados, se necessário, por testes) envolvendo todas as variáveis relevantes. Os modelos devem ser suficientemente precisos para prever o comportamento estrutural, compatível com o padrão de mão-de-obra (da força de trabalho) que possa ser alcançado e com a confiabilidade das informações sobre as quais o projeto se baseia.

A verificação dos estados limite e os fatores de segurança parciais devem estar de acordo com os Padrões Nacionais relevantes, assim como as cargas e ações a serem consideradas nos cálculos. A norma ISO também permite que ao invés de se calcular usando os estados limites, seja possível adotar as tensões admissíveis para este fim, desde que seguida as recomendações e parâmetros sugeridos.

É necessário "traduzir" a realidade física de uma estrutura de construção para um sistema de símbolos esquematizado a ser usado durante o processo de cálculo. Normalmente, a esquematização de bambu envolve os seguintes pressupostos: o comportamento elástico do bambu, até a falha, uma vez que o comportamento plástico é considerado não significativo; os colmos de bambu são analisados como estruturas de tubo oco com espessura variável; os colmos de bambu são analisados como elementos

não perfeitamente retos e cônicos; os nós não ocorrem em intervalos constantes, o que é um problema na prática porque as juntas ou suportes devem estar preferencialmente localizados perto dos nós; métodos convencionais de análise estrutural são utilizados com definições iniciais da curvatura, do diâmetro e da espessura da parede; qualquer articulação ou apoio de bambu deve ser considerado como uma rótula, a menos que os dados de fundamentação sejam submetidos para justificar uma mola ou uma junta fixa; o teorema de Bernoulli (secções transversais planas permanecem planas) é válido para o bambu.

As propriedades do material são representadas pelas propriedades dos cinco por cento representativos, estimada a partir dos resultados dos testes, obtidos como uso da norma ISO 22157-1, com 75% de confiança de que representam a população. Isso é chamado de valor característico e pode ser obtido com a seguinte fórmula:

$$R_k = R_{0,05} \left(1 - \frac{2,7 \frac{s}{m}}{\sqrt{n}} \right)$$

Onde,

R_k = Valor característico

$R_{0,05}$ = é o valor 5 percentil dos dados dos teste laboratoriais

M = é o valor médio dos dados dos testes laboratoriais

s = é o desvio padrão dos dados dos testes laboratoriais

n = é o número de testes (pelo menos 10)

É permitido que ao invés do procedimento de dimensionamento utilizando os estados limites, o projeto possa ser verificado utilizando as tensões admissíveis. Tensões admissíveis podem ser derivadas dos resultados dos testes com a seguinte fórmula:

$$\sigma_{all} = R_k \times G \times \frac{D}{S}$$

σ_{all} = é a tensão admissível, em N/mm².

R_k = é o valor característico.

G = é a modificação devido à diferença entre qualidade laboratorial e prática; valor padrão 0,5.

D = é o valor de modificação para duração da carga:

- 1,0 para carga permanente

- 1,25 para carga permanente mais temporária

- 1,5 para o acima, mais carga de vento

S = é o fator de segurança, valor padrão 2,25.

NOTA: Com um desvio padrão de 15% e para uma carga permanente, a tensão admissível é cerca de 1/7 da tensão máxima média.

13.1.3 Norma Colombiana NSR - 10

Todos os elementos devem ser projetados seguindo o método dos esforços admissíveis. Todas as uniões da estrutura se consideram articuladas e não haverá transmissão de momentos entre os diferentes elementos que constituem a união, salvo se um dos elementos for contínuo, neste caso haverá transmissão somente no elemento contínuo.

Para determinar o diâmetro de cálculo, deve-se medir em cada seguimento de colmo a ser utilizado, o diâmetro em ambos os extremos da peça de guadua. A medida deve ser realizada em duas direções perpendiculares entre si. O diâmetro real corresponde à média das quatro medições realizadas (Fig. 71). Para determinar a espessura da parede de cálculo, deve-se medir em cada seguimento de colmo a ser utilizado, as espessuras em ambos os extremos da peça de guadua. As medidas devem ser realizadas em quatro pontos de cada extremo, em posições perpendiculares entre si, nos mesmos locais onde forem realizadas as medidas dos diâmetros. A espessura real corresponde à média das oito medições realizadas.

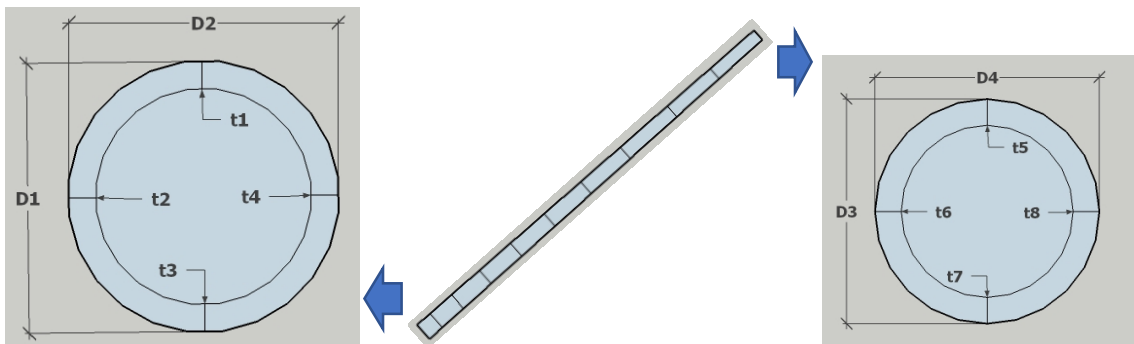


Figura 71 – Local recomendado para medições de diâmetro e espessura de colmos de bambu. Fonte: autor (2017).

Para toda guadua que cumpra os requisitos de qualidade estabelecidos na norma, devem-se utilizar para efeito de cálculo os valores de esforços admissíveis (Tab. 4) e módulo de elasticidade (Tab. 5) abaixo:

Tabela 4 - Esforços admissíveis F_i (MPa), CH=12%. Fonte: Norma colombiana NSR-10 (2010).

F_b FLEXÃO	F_t TRAÇÃO	F_c COMPRESSÃO	F_p COMPRESSÃO \perp	F_v CORTE
15	18	14	1,4	1,2

|| = compressão paralela ao eixo longitudinal.

\perp = compressão perpendicular ao eixo longitudinal.

*A resistência da compressão perpendicular está calculada para entrenós preenchidos de argamassa de cimento.

Tabela 5 - Módulos de elasticidade, E_i (MPa), CH=12%. Fonte: Norma colombiana NSR-10 (2010).

Módulo médio $E_{0,5}$	Módulo percentual 5 $E_{0,05}$	Módulo mínimo E_{min}
9.500	7.500	4.000

Para análise de elementos estruturais deve-se utilizar $E_{0,5}$, como módulo de elasticidade do material. O E_{min} se deve utilizar para calcular os coeficientes de estabilidade de vigas (C_L) e de colunas (C_p). O $E_{0,05}$ se deve utilizar para calcular as deflexões quando as condições de serviço sejam críticas ou requeiram um nível de segurança superior. Em todo caso, a escolha do módulo de elasticidade indicado dependerá do critério do engenheiro calculista.

Os valores para os esforços admissíveis são determinados a partir do valor característico, o qual se pode obter com a seguinte equação:

$$f_{ki} = f_{0,05i} \left[1 - \frac{2,7 \frac{s}{m}}{\sqrt{n}} \right]$$

Onde:

f_{ki} = valor característico para a solicitação i

$f_{0,05i}$ = valor correspondente ao percentual 5 dos dados encontrados nos testes laboratoriais para a solicitação i

m = valor médio dos dados encontrados nos testes laboratoriais

s = desvio padrão dos dados encontrados nos testes laboratoriais

n = número de ensaios (pelo menos 20)

i = fator que depende do tipo de solicitação (**b** para flexão, **t** para tração paralela as fibras, **c** para compressão paralela as fibras, **p** para compressão perpendicular as fibras, **v** para cisalhamento paralelo às fibras paralela as fibras)

Os valores experimentais utilizados no projeto devem estar apropriadamente relacionados na memória de cálculo estrutural apresentada para solicitação da licença de construção, indicando o nome do laboratório, data de realização dos ensaios, descrição dos equipamentos utilizados nas provas de carga, número de testes realizados e profissional responsável pelos testes.

Uma vez determinado o valor característico para cada solicitação, é possível o cálculo dos esforços admissíveis utilizando a seguinte equação:

$$F_i = \frac{FC}{F_s \cdot FDC} f_{ki}$$

Onde:

F_i = esforço admissível para a solicitação **i**

f_{ki} = valor característico do esforço para a solicitação **i**

FC = fator de redução por diferenças entre as condições dos ensaios em laboratório e as condições reais de aplicação das cargas na estrutura (Tab. 6)

F_a = fator de segurança (Tab. 6)

FDC = fator de duração de carga (Tab. 6)

i = fator que depende do tipo de solicitação (**b** para flexão, **t** para tração paralela as fibras, **c** para compressão paralela as fibras, **p** para compressão perpendicular as fibras, **v** para cisalhamento paralelo às fibras paralela as fibras)

Tabela 6 - Fatores de redução. Fonte: Norma colombiana NSR-10 (2010).

Fator	Flexão	Tração	Compressão 	Compressão ⊥	Corte
FC	-	0,5	-	-	0,6
F_a	2.0	2.0	1.5	1.8	1.8
FDC	1.5	1.5	1.2	1.2	1.1

Sabendo que muitos outros fatores podem influenciar no valor real para os esforços admissíveis, é necessário encontrar um valor admissível modificado para a solicitação **i** que é influenciado em razão dos tamanhos das peças, quantidade e posição dos nós, rachaduras e fissuras, teor de umidade, duração das cargas, esbeltes das peças e qualquer outra condução modificadora. Para isso se utiliza a equação abaixo:

$$F'_i = F_i C_D C_m C_t C_L C_F C_r C_p C_c$$

Onde,

i = fator que depende do tipo de solicitação (**b** para flexão, **t** para tração paralela as fibras, **c** para compressão paralela as fibras, **p** para compressão perpendicular as fibras, **v** para cisalhamento paralelo às fibras paralela as fibras)

C_D = coeficiente de modificação por duração da carga (tabela 6)

C_m = coeficiente de modificação por teor de umidade

C_t = coeficiente de modificação por temperatura

C_L = coeficiente de modificação por estabilidade lateral das vigas

C_F = coeficiente de modificação por forma

C_r = coeficiente de modificação por redistribuição de carga, ação conjunta

C_p = coeficiente de modificação por estabilidade de colunas

C_c = coeficiente de modificação por cisalhamento paralelo às fibras

F_i = esforço admissível para a solicitação **i**

F'_i = esforço admissível modificado para a solicitação **i**

Se considera que a duração normal de uma carga é de 10 anos, quando um elemento estrutural está submetido a durações de cargas diferenciadas, deve-se multiplicar os valores de acordo com a tabela 7. Os coeficientes não são acumuláveis, quando houver combinação de cargas, o dimensionamento dos elementos estruturais deve ser realizado pela condição mais desfavorável.

Tabela 7 - Coeficientes de modificação por duração de carga. Fonte: Norma colombiana NSR-10 (2010).

Duração da carga	Flexão	Tração	Compressão 	Compressão ⊥	Corte	Carga de projeto
Permanente	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	Morta
Dez anos	1,00	1,00	1,00	0,90	1,00	Viva
Dois meses	1,15	1,15	1,15	0,90	1,15	
Sete dias	1,25	1,25	1,25	0,90	1,25	Construção
Dez minutos	1,60	1,60	1,60	0,90	1,60	Vento e terremoto
Impacto	2,00	2,00	2,00	0,90	2,00	Impacto

A guadua, assim como a madeira, perde sua resistência e rigidez a medida que seu teor de umidade aumenta. Os valores dos esforços admissíveis (Tab. 4) e módulo de elasticidade (Tab. 5) foram calculados para um teor de umidade da guadua com CH=12%. Se as condições ambientais no local da construção favorecerem a variação do teor de umidade para acima de 12%, é necessário ajustar os valores multiplicando-os pelos

coeficientes de modificação (Tab. 8). A guadua depois de colhida tende a secar até alcançar um teor de umidade de equilíbrio com o local onde se encontra. Se o processo de secagem for mecânico é possível atingir um teor de umidade para a guadua menor que 12%, porém essa umidade pode tender a aumentar se o local de construção da edificação tiver uma umidade relativa do ambiente muito alta acompanhada de uma temperatura muito baixa.

Tabela 8 - Coeficientes de modificação por teor de umidade. Fonte: Norma colombiana NSR-10 (2010).

Esforços		CH ≤ 12%	CH = 13%	CH = 14%	CH = 15%	CH = 16%	CH = 17%	CH = 18%	CH ≥ 19%
Flexão	F_b	1,00	0,96	0,91	0,87	0,83	0,79	0,74	0,70
Tração	F_t	1,00	0,97	0,94	0,91	0,89	0,86	0,83	0,80
Compressão paralela	F_c	1,00	0,96	0,91	0,87	0,83	0,79	0,74	0,70
Compressão perpendicular	F_p	1,00	0,97	0,94	0,91	0,89	0,86	0,83	0,80
Corte	F_y	1,00	0,97	0,94	0,91	0,89	0,86	0,83	0,80
	E_{0,5}								
Módulo de elasticidade	E_{0,05}	1,00	0,99	0,97	0,96	0,94	0,93	0,91	0,90
	E_{min}								

Quando os elementos estruturais de guadua estão submetidos a altas temperaturas, os valores de esforços admissíveis e módulo de elasticidade devem ser multiplicados pelos valores dos coeficientes de modificação por temperatura (Tab. 9) de acordo com as condições de temperatura para as quais estejam expostos.

Tabela 9 - Coeficientes de modificação por temperatura. Fonte Norma colombiana NSR-10 (2010).

Esforços	Condições de serviço	(°C)		
		T ≤ 37°C	37°C ≤ T ≤ 52°C	52°C ≤ T ≤ 65°C
Flexão	Molhado		0,60	0,40
	F_b Seco		0,85	0,60
Tração	Molhado		0,85	
	F_t Seco		0,90	0,80
Compressão paralela	Molhado		0,65	0,40
	F_c Seco		0,80	0,60
Compressão perpendicular	Molhado	1,00	0,80	0,50
	F_p Seco		0,90	0,70
Corte	Molhado		0,65	0,40
	F_y Seco		0,80	0,60
Módulo de elasticidade	Molhado		0,80	
	E Seco		0,90	0,80

Os esforços admissíveis poderão ser incrementados em 10% quando exista uma ação conjunta de quatro ou mais elementos de igual rigidez, como na utilização de vigas paralelas para suporte de lajes ou coluna em paredes estruturais de vedação ($C_r = 1.1$), sempre e quando a separação entre elementos não seja superior a 0,6 m.

13.1.4 Norma Peruana NTE E.100

As limitações e esforços admissíveis apresentados na norma Peruana (2012) são aplicados a estruturas analisadas por procedimentos convencionais de análise linear e elástica. A determinação dos efeitos das cargas (deformações, forças e momentos) nos elementos estruturais deve ser realizada com hipóteses consistentes e com os métodos aceitáveis para a boa prática da engenharia.

O projeto dos elementos estruturais de bambu, em conformidade com essa norma, deverá ser feito utilizando as cargas de serviço, utilizando o método de esforços admissíveis. Os esforços admissíveis serão exclusivamente aos bambus estruturais que

cumpram com as recomendações desta norma. Os elementos estruturais de bambu deverão ser projetados tendo em conta critérios de resistência, rigidez e estabilidade. Devendo ser considerado em cada caso a situação mais crítica.

Em relação a resistência, os elementos estruturais de bambu devem ser projetados para que os esforços atuantes, produzidos pelas cargas de serviço e modificados pelos coeficientes aplicáveis em cada caso, sejam iguais ou menores que os esforços admissíveis do material.

Em relação a rigidez, devem ser levadas em consideração as seguintes informações: as deformações devem ser avaliadas para as cargas de serviço; se consideram necessariamente os incrementos de deformação com o tempo (deformações posteriores) por ação de cargas aplicadas de forma contínua; as deformações dos elementos e sistemas estruturais devem ser menores ou iguais as admissíveis; naqueles sistemas baseados no conjunto de elementos de bambu, serão incluídos adicionalmente as deformações da estrutura relacionadas as uniões, tanto instantâneas quanto posteriores.

As estruturas devem ser projetadas para suportar todas as cargas provenientes de peso próprio e outras cargas permanentes ou cargas mortas, sobrecarga de serviço ou cargas vivas e também de sobrecargas de terremotos, ventos, chuvas e outras. A determinação das sobrecargas de serviço e cargas de vento, terremoto e neve serão realizadas de acordo com as normas referentes. Quando as sobrecargas de serviço ou as cargas vivas sejam de aplicação contínua ou de longa duração (por exemplo sobrecargas em bibliotecas ou armazéns) estas devem ser consideradas como cargas mortas para efeito de determinação das deformações posteriores.

Os esforços admissíveis que deverão ser utilizados para o projeto de elementos estruturais em bambu são apresentados na tabela 10. E os módulos de elasticidade na tabela 11.

Tabela 10 - Esforços admissíveis. Fonte: Norma Peruana NTE.100 (2012).

Esforços admissíveis f_i				
FLEXÃO (f_m)	TRAÇÃO PARALELA (f_t)	COMPRESSÃO PARALELA (f_c)	CORTE (f_v)	COMPRESSÃO PERPENDICULAR ($f_c \perp$)
5 MPa (50 kg/cm ²)	16 MPa (160 kg/cm ²)	13 MPa (130 kg/cm ²)	1 MPa (10 kg/cm ²)	1,3 MPa (13 kg/cm ²)

Tabela 11 - Módulo de elasticidade. Fonte: Norma Peruana NTE.100 (2012).

MODULO DE ELASTICIDADE (E)	
EMEDIO	EMIN
9500 MPa (95000 kg/cm ²)	7300 MPa (73000 kg/cm ²)

Com base nos valores de esforços admissíveis (tabela 10) e os módulos de elasticidade (Tab. 11), afetados pelos coeficientes de modificação necessários por razão da duração de carga, esbeltez e qualquer outra condição modificadora, são determinados os esforços (ou solicitações) admissíveis modificadas de qualquer membro estrutural utilizando a fórmula geral:

$$f_i = f_i C_D C_L C_r$$

Onde:

f_i = Esforço admissíveis modificado para a solicitação i

f_i = Esforço admissível para a solicitação i

C_D = Coeficiente de modificação por duração de carga (0,9 para carga permanente e 1 para carga viva)

C_L = Coeficiente de modificação por estabilidade lateral de vigas

C_r = Coeficiente de modificação por redistribuição de cargas, ação conjunta. Para o caso de projeto de vigas de piso, paredes estruturais de colmos de bambu, onde exista uma ação conjunta garantida, estes esforços poderão ser majorados em 10% ($C_i=1,1$) sempre e quando a separação entre elementos não seja superior a 0,6 m.

13.1.5 Norma Equatoriana

Todos os elementos estruturais devem ser projetados seguindo o método dos esforços admissíveis, levando em consideração as cargas sísmicas. Todas as uniões da estrutura se consideram articuladas e não haverá transmissão de momentos entre os diferentes elementos que constituem a união, salvo se um dos elementos for contínuo, neste caso haverá transmissão somente no elemento contínuo.

Qualquer elemento da estrutura de bambu *Guadua angustifolia* Kunt (GaK) que satisfaça os requisitos de qualidade para a guadua estrutural estabelecidos anteriormente devem usar, para fins de cálculo, os valores das tensões admissíveis e dos módulos de elasticidade consignados na tabela 12 e na tabela 13, respectivamente.

Tabela 12 - Esforços admissíveis F_i (MPa), CH=12%. Fonte: Norma Equatoriana (2017).

F_b FLEXÃO	F_t TRAÇÃO	F_c COMPRESSÃO	F_p* COMPRESSÃO ⊥	F_v CORTE
15	19	14	1,4	1,2

Onde,

|| = compressão paralela ao eixo longitudinal.

⊥ = compressão perpendicular ao eixo longitudinal.

*A resistência da compressão perpendicular está calculada para entrenós preenchidos de argamassa de cimento.

Tabela 13 - Módulos de elasticidade, E_i (MPa), CH=12%. Fonte: Norma Equatoriana (2017).

Módulo médio E_{0,5}	Módulo percentual 5 E_{0,05}	Módulo mínimo E_{min}
12.000	7.500	4.000

A tabela 14 apresenta os valores para os esforços últimos de resistência até a falha, para elementos de GaK de acordo com diferentes solicitações de carga.

Tabela 14 - Esforços últimos F_i (MPa), CH=12%. Fonte: Norma Equatoriana (2017).

F_b FLEXÃO	F_t TRAÇÃO	F_c COMPRESSÃO	F_v CORTE
45	117	37	7

Onde,

|| = compressão paralela ao eixo longitudinal.

Para a análise de elementos estruturais se deve utilizar $E_{0,5}$ (Tab. 13), como um módulo de elasticidade do material. O E_{min} deve ser usado para calcular os coeficientes de estabilidade das vigas (C_L) e Colunas (C_p).

Para o processo de cálculo dos valores para os esforços admissíveis e fatores de redução a serem utilizados, a norma Equatoriana utiliza o mesmo procedimento de cálculo apresentado pela norma colombiana

13.2 Flexão estática

13.2.1 Norma Colombiana NSR - 10

O projeto de elementos a flexão em guadua cilíndrica seguirá os mesmos procedimentos básicos de projeto para vigas de outros materiais estruturais. Sabendo que a *Guadua angustifolia* Kunth (GaK) apresenta uma relação MOR/MOE muito alta, que faz com que o material seja bastante flexível, a análise à flexão será realizada pelo controle das deflexões admissíveis, salvo em algumas exceções, contudo, sempre se deve comprovar a resistência à flexão, corte e esmagamento. Para o projeto de elementos de guadua submetidos à flexão é necessário verificar os seguintes efeitos: deflexões; flexão, incluindo estabilidade lateral em vigas compostas; cisalhamento paralelo às fibras; esmagamento (compressão perpendicular às fibras). Em nenhum caso os esforços admissíveis modificados para cada solicitação podem ser ultrapassados.

Deve-se garantir que os apoios de um elemento de guadua cilíndrica submetidos à flexão não falhem por esmagamento (compressão perpendicular as fibras), na medida do possível estes devem terminar em nós, se isso não for possível ou os nós não alcançarem resistência adequada para a solicitação, é necessário preencher os entrenós dos apoios com argamassa de cimento. Quando existir uma carga concentrada sobre um elemento, esta deve estar aplicada sobre um nó. Em todos os casos, deve-se tomar as medidas necessárias para evitar uma falha por corte paralelo as fibras, ou esmagamento no ponto de aplicação. Nestes casos também se recomenda preencher os entrenós adjacentes ao ponto de aplicação da carga com argamassa de cimento.

Para calcular a área da seção transversal constituída por somente uma peça de bambu se utiliza a equação abaixo:

$$A = \frac{\pi}{4} \left(D_e^2 - (D_e - 2t)^2 \right)$$

Onde,

A = área útil da seção transversal de guadua, mm²

D_e = Diâmetro externo da guadua, mm

t = espessura média da parede da guadua, mm

Durante o processo de construção de estruturas de guadua, deve-se respeitar os parâmetros de projeto, em especial os referentes ao diâmetro externo e a espessura mínima da parede. As peças utilizadas na obra devem possuir no mínimo as mesmas

especificações de projeto em sua parte mais superior, local onde as dimensões dos bambus são mais finas.

O vão de projeto considerado para vigas com apoio simples, ou em balanço, será o vão livre entre as faces dos apoios mais a metade do tamanho do apoio em cada extremo. No caso de vigas contínuas o vão livre de projeto será a distância de eixo a eixo entre apoios. As deflexões em elementos de guadua devem ser calculadas de acordo com as fórmulas da teoria elástica tradicional, deve ser considerada a deflexão produzida por flexão e se necessário uma correção do módulo de elasticidade $E'_{0,5}$ por cortante (G). O cálculo de deflexão em vigas simplesmente apoiadas pode ser realizado com as equações abaixo:

Para carga concentrada no centro do vão:

$$\Delta = \frac{Pl^3}{48EI} K$$

Para cargas distribuídas:

$$\Delta = \frac{5}{384} \frac{\omega l^4}{EI} K$$

Para outras situações de carga se deve utilizar as fórmulas da teoria da elasticidade. Para as equações anteriormente apresentadas, K (Tab. 15) corresponde a um fator tabelado de deflexão que se pode obter na tabela a seguir:

Tabela 15 - Deflexões admissíveis δ (mm), nota 3. Fonte: Norma colombiana NSR-10 (2010).

Condições de serviço	Cargas vivas (l/K)	Vento ou granizo (l/K)	Cargas totais (l/K) nota 2
Elementos de telhado/cobertura			
Coberturas inclinadas			
Forro de reboco ou gesso	1/360	1/360	1/240
Outros forros	1/240	1/240	1/180
Sem forro	1/240	1/240	1/180
Laje plana	nota 1	nota 1	1/300
Laje industrial	-	-	1/200
Laje de piso			
Elementos da laje	1/360	-	1/240
Lajes rígidas	-	-	1/360
Paredes externas			
Com acabamento frágil	-	1/240	-
Com acabamento flexível	-	1/120	-

Notas:

- 1 - Dependendo do tipo de forro
- 2 - Por avaliação das cargas totais
- 3 - Considerando unicamente a deflexão inicial

Para os elementos com relação $l/D_e \leq 15$, deve-se realizar uma correção por cortante (C_c). Na tabela 16 são relacionados os valores de C_c para o módulo de elasticidade $E_{0,5}$.

Tabela 16 - Valores de C_c . Fonte: Norma colombiana NSR-10 (2010)

Valores de C_c	
I/D_e	C_c
5,00	0,7
7,00	0,75
9,00	0,81
11,00	0,86
13,00	0,91
15,00	0,93

Para o cálculo da seção transversal mínima requerida, e somente para este caso, deve-se igualar a deflexão calculada com as cargas W (Tab. 17) com a deflexão admissível (Tab. 15), podendo determinar assim o momento de inércia requerido. Igualmente na tabela 17 são apresentadas as combinações de carga para o cálculo das deflexões imediatas e estimadas para 30 anos.

Tabela 17 - Cargas W para cálculo de seção e deflexões. Fonte: Norma colombiana NSR-10 (2010)

Condição	$CH \leq 19\%$ $t \leq 37^\circ C$	$CH \leq 19\%$ $t \leq 37^\circ C$
	Clima constante	Clima variável
Cálculo de seção (w)	2,0 D + L	2,0 D + L
Deflexões imediatas (W_i)	D + L	D + L
Deflexões estimadas (W_f)	2,8 D + 1,3 L	3,8 D + 1,4 L

Os esforços máximos de tração e compressão produzidos por flexão serão calculados para a seção de momento máximo. Estes esforços não devem exceder o esforço máximo admissível de flexão F_b (Tab. 4), estabelecidos para colmos de guadua cilíndrica, modificado pelos coeficientes de duração de carga e redistribuição de carga, dependendo do caso.

Para vigas estruturais e vigas de piso, projetadas com apenas uma guadua, o coeficiente de modificação será $C_L = 1$. Quando uma viga for projetada por duas ou mais guaduas (viga de seção composta) (Fig. 68), deve-se verificar se esta necessita ou não de suporte lateral na zona comprimida. O coeficiente de modificação por estabilidade lateral

(C_L), leva em conta a redução da capacidade de carga de um elemento submetido a flexão devido a uma instabilidade lateral, possibilidade de tombamento, que ocorre quando a zona comprimida de uma viga se comporta como uma coluna. Quando uma viga de seção composta está apoiada em todo seu comprimento na zona de compressão, e seus apoios estão restringidos a rotação, o coeficiente de modificação por estabilidade lateral será $C_L = 1$. No caso de vigas compostas (duas ou mais guadas), cuja relação altura (d) e largura (b) seja maior que $1(d/b > 1)$, será necessário a inclusão de suportes laterais para prevenir o tombamento e a rotação da peça.

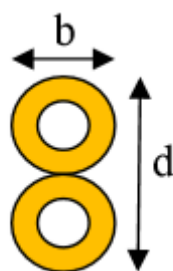


Figura 72 - Exemplo de seção composta. Fonte: Norma colombiana NSR-10 (2010).

Para vigas de seção composta formadas por duas ou mais guadas, deve-se reduzir o esforço admissível a flexão (F_b) pelos valores de C_L (Tab. 18).

Tabela 18 - Coeficientes C_L para diferentes relações d/b . Fonte: Norma colombiana NSR-10 (2010).

d/b	C_L
1	1
2	0,98
3	0,95
4	0,91
5	0,87

Em vigas compostas por mais de uma guada, onde a altura seja maior que sua largura, é necessário investigar a necessidade de suportes laterais para a zona comprimida do elemento de acordo com as recomendações: se $d/b = 2$ não é necessário suporte lateral; se $d/b = 3$ deve-se restringir o deslocamento lateral dos apoios; se $d/b = 4$ deve-se restringir o deslocamento lateral dos apoios e da borda em compressão com uso de cintas ou peças de travamento; se $d/b = 5$ deve-se restringir o deslocamento lateral dos apoios e

assegurar um suporte contínuo da borda sujeita a compressão com o uso de um sistema de piso ou laje.

O esforço de flexão atuante (f_b) sobre qualquer seção de guadua roliça, não deve exceder o valor do esforço a flexão admissível (F'_b) modificado pelos coeficientes correspondentes:

$$f_b = \frac{M}{S} \leq F'_b$$

Onde:

f_b = esforço atuante a flexão, em MPa

M = momento atuante sobre o elemento, em Nmm

F'_b = esforço admissível modificado, em MPa

S = módulo de seção, em mm³

O módulo de seção S , para uma guadua se expressa com a seguinte equação:

$$S = \frac{\pi \left(D_e^4 - [D_e - 2t]^4 \right)}{32 D_e}$$

Onde:

S = módulo de seção em mm³

D_e = diâmetro externo médio da peça de guadua, em mm

t = espessura média da parede da peça de bambu, em mm

Para verificar a resistência a flexão de seções compostas por dois ou mais colmos de guadua, deve-se calcular o módulo de seção para cada condição particular. A figura 73 apresenta alguns módulos de seção para seções compostas.



Seção	S (mm ³)
	$\frac{\pi \left(5D_e^4 - 4D_e^2 [D_e - 2t]^2 - [D_e - 2t]^4 \right)}{32D_e}$
	$\frac{\pi \left(35D_e^4 - 4D_e^2 [D_e - 2t]^2 - [D_e - 2t]^4 \right)}{96D_e}$

Figura 73 – Quadro de módulos de seção para algumas vigas compostas. Fonte: Norma colombiana NSR-10 (2010).

Quando se utilizem vários colmos para formar um elemento a flexão, a inércia do conjunto será calculada como a soma das inércias individuais de cada um dos colmos ($I = \sum I_i$). Se o construtor garantir um trabalho em conjunto, a inércia poderá ser calculada com o teorema dos eixos paralelos:

$$I = \sum (A_i d_i^2) + \sum I_i$$

Onde:

I = inércia da seção composta, em mm⁴

A_i = área para o i-ésimo colmo, em mm²

d_i = distância entre o centroide do conjunto de colmos e o centroide do i-ésimo colmo, em mm

I_i = a inércia individual de cada colmo referida a seu próprio centroide, em mm⁴

13.2.2 Norma Peruana NTE E.100

Os elementos submetidos a flexão são elementos horizontais ou quase horizontais que suportam cargas perpendiculares, ou quase perpendiculares a seu eixo (vigas). Para o projeto de elementos de bambu submetidos a flexão é necessário verificar os seguintes efeitos: deflexões; flexão, incluindo estabilidade lateral em vigas compostas; cisalhamento paralelo às fibras paralelo as fibras; esmagamento (compressão perpendicular as fibras). Em nenhum caso os esforços admissíveis modificados para cada solicitação podem ser ultrapassados.

Deve-se garantir que os apoios de um elemento de bambu submetidos a flexão não falhem por esmagamento (compressão perpendicular as fibras). Se os nós não proverem

resistência suficiente, deve-se preencher os entrenós dos apoios com argamassa de cimento, madeira (pedaços cilíndricos) ou outro material que garanta uma rigidez similar. Quando na construção de vigas sejam utilizados mais de um bambu, os conectores devem ser projetados para resistir as forças oriundas da união.

As deflexões admissíveis devem ser calculadas para os seguintes casos: combinação mais desfavorável de cargas permanentes e sobrecargas de serviço; sobrecargas de serviço atuando sozinhas. As deflexões máximas admissíveis deverão limitar-se aos seguintes valores: para cargas permanentes mais sobrecarga de serviço em edificações com forro de gesso $L/300$; sem forro de gesso $L/250$; para coberturas inclinadas e edificações industriais $L/200$; para sobrecargas de serviço em todo tipo de edificações $L/350$ ou 13 mm como máximo. Sendo “L” o vão entre faces de apoios, ou a distância da face do apoio ao extremo da peça em caso de balanços. Ao estimar as deflexões máximas deve-se considerar que as deformações produzidas pelas cargas de aplicação permanente serão incrementadas em 80% (deformações posteriores).

Os esforços de tração e compressão produzidos por flexão “ σ_m ”, não devem exceder o esforço admissível para flexão f'_m especificado (Tab. 10). Os esforços cortantes “ τ ” calculados não devem exceder o esforço máximo admissível para corte paralelo às fibras especificado (Tab. 10). Para o cálculo da seção crítica, se o elemento estiver apoiado em sua parte inferior e carregado em sua parte superior é suficiente verificar a resistência ao corte nas seções posicionadas a uma distância do apoio igual a altura da peça (viga), exceto quando se tratar de balanços.

Com relação à compressão paralela às fibras, nos apoios e outros pontos sujeitos a cargas concentradas, é necessário verificar para que o esforço em compressão perpendicular às fibras “ σ_c ” calculado, não exceda o esforço em compressão perpendicular às fibras admissível $f'_c \perp$ (Tab. 10). Para o cálculo dos esforços atuante a norma peruana NTE.100 disponibiliza um memorial de cálculo (ajuda de cálculo para esforços a flexão) anexo à norma.

Para a estabilidade de elementos a flexão, de forma a evitar o tombamento, o uso de somente uma peça de bambu é naturalmente estável, porém duas ou mais peças de bambu são necessariamente instáveis. Requerendo restrições em seus apoios. No caso de vigas compostas (dois ou mais bambus) cuja relação altura (**d**) e largura (**b**) seja maior

que $1(d/b > 1)$, será necessário a inclusão de suportes laterais para prevenir o tombamento e a rotação da peça.

Para vigas de seção composta formadas por dois ou mais bambus, deve-se reduzir o esforço admissível a flexão (F_b) pelos valores de C_L (Tab. 19).

Tabela 19 - Coeficientes C_L para diferentes relações d/b. Fonte: Norma peruana NTE.100 (2012).

d/b	C_L
1	1
2	0,98
3	0,95
4	0,91
5	0,87

Em vigas compostas por mais de um bambu, onde a altura seja maior que sua largura, é necessário investigar a necessidade de suportes laterais para a zona comprimida do elemento de acordo com as recomendações: se $d/b = 2$ não é necessário suporte lateral; se $d/b = 3$ deve-se restringir o deslocamento lateral dos apoios; se $d/b = 4$ deve-se restringir o deslocamento lateral dos apoios e da borda em compressão com uso de cintas ou peças de travamento; se $d/b = 5$ deve-se restringir o deslocamento lateral dos apoios e assegurar um suporte contínuo da borda sujeita a compressão com o uso de um sistema de piso ou laje.

Quando forem construídas vigas com dois ou mais bambus, deve-se garantir sua estabilidade por meio de conectores de aço transversais, que garantam o trabalho em conjunto. O máximo espaçamento entre os conectores não pode exceder o menor valor entre; três vezes a altura da viga ou um quarto (1/4) do vão (Fig. 74).

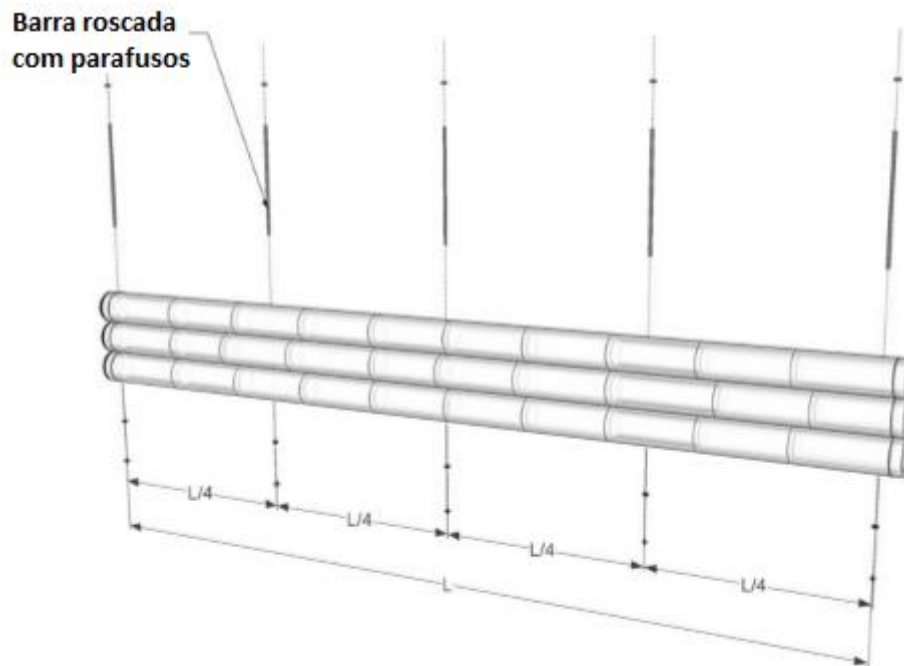


Figura 74 - Detalhe de conectores em seções compostas. Fonte: Norma peruana NTE.100 (2012).

13.2.3 Norma Equatoriana

As orientações apresentadas na norma Equatoriana são as mesmas apresentadas na norma Colombiana para o cálculo de elementos a flexão.

13.3 Cisalhamento paralelo às fibras

13.3.1 Norma Colombiana NSR – 10

As orientações apresentadas pela norma Colombiana para o cálculo de cisalhamento paralelo às fibras, são as mesmas das normas Peruana e Equatoriana. Uma vez que como explanado no decorrer deste trabalho esta norma é utilizada como referência normativa das normas sul-americanas posteriores a ela.

Os esforços máximos de cisalhamento serão calculados a uma distância do apoio igual à altura (**h**) do elemento estrutural, com exceção dos balanços, onde o esforço máximo de corte será calculado na face do apoio. Para vigas formadas por uma única peça de guadua, essa altura será igual ao diâmetro externo (**D_e**) da mesma. Para vigas formadas por duas guaduas, a altura (**h**) corresponde a altura real do elemento. O máximo esforço cortante deve ser determinado tendo em conta a distribuição não uniforme dos esforços na seção, e deve ser inferior ao esforço admissível máximo para cisalhamento paralelo as fibras F'_v estabelecido para os colmos de guadua cilíndrica (Tab. 10), modificados pelos coeficientes que sejam necessários.

O esforço cortante atuante paralelo as fibras (f_v) sobre qualquer seção de guadua cilíndrica, não deve exceder o valor do esforço cisalhamento admissível paralelo as fibras (F'_v), modificado pelos coeficientes correspondentes.

$$f_v = \frac{2V}{3A} \left(\frac{3D_e^2 - 4D_e t + 4t^2}{D_e^2 - 2D_e t + 2t^2} \right) \leq F'_v$$

Onde:

f_v = esforço cortante atuante paralelo as fibras, em MPa

A = área da seção transversal do elemento de guadua roliça, em mm²

D_e = diâmetro externo médio da seção de guadua roliça, em mm

t = espessura média da seção de guadua roliça, em mm

F'_v = esforço admissível para cisalhamento paralelo as fibras, modificado pelos coeficientes necessários, em MPa

v = força cortante na seção considerada, em N

Quando se constroem vigas com duas ou mais peças de guadua deve-se garantir sua estabilidade por meio de conectores transversais de aço, que garantam o trabalho em conjunto. O máximo espaçamento entre os conectores não pode exceder o menor valor entre: 3 vezes a altura da viga (**3h**), um quarto do comprimento do vão (**l/4**) ou o resultado da fórmula:

$$j = \frac{7 \cdot \ell}{V}$$

Onde:

j = espaçamento entre conectores da viga composta, em mm

l = vão da viga, em mm

V = cortante máximo na viga, em KN

Todos os entrenós que estiverem atravessados por conectores em vigas de seção composta devem estar preenchidos por argamassa de cimento (Fig. 70). O primeiro conector deve estar a uma distância de 50mm medidos a partir da face do apoio.

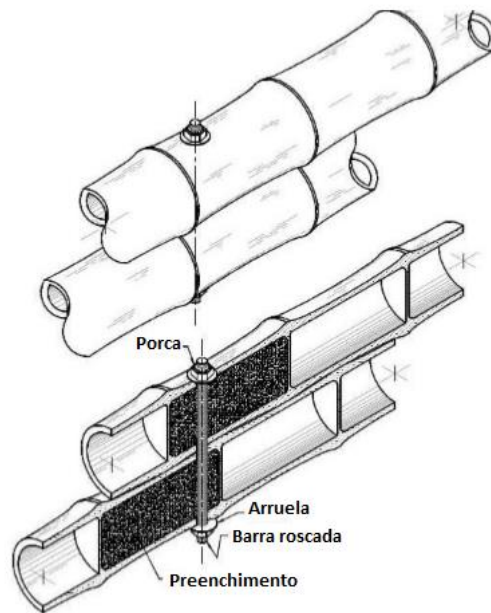


Figura 75 - Detalhe de conectores em seção composta. Fonte: Norma colombiana NSR-10 (2010).

Os esforços de compressão perpendicular as fibras (f_p), devem ser verificados especialmente nos apoios e em locais onde atuam cargas concentradas em pequenas áreas. O esforço atuante de compressão perpendicular às fibras não deve exceder o esforço admissível de compressão perpendicular às fibras modificado pelos coeficientes necessários. O esforço atuante de compressão perpendicular às fibras pode ser calculado da seguinte forma:

$$f_p = \frac{3RD_e}{2t^2l} \leq F'_p$$

Onde:

F'_p = esforço admissível de compressão perpendicular as fibras, modificado pelos coeficientes necessários, em MPa

f_p = esforço atuante de compressão perpendicular as fibras, em MPa

D_e = diâmetro externo médio da seção de guada roliça, em mm

t = espessura média da seção de guada roliça, em mm

l = largura do apoio, em mm

R = força aplicada no sentido perpendicular as fibras, em N

Todos os entrenós que estejam submetidos a esforços de compressão perpendicular as fibras devem estar preenchidos por argamassa de cimento, no caso em que esse

preenchimento não ocorra o valor do esforço admissível F'_p deve ser reduzido em sua quarta parte ($F'_p / 4$).

13.4 Tração paralela às fibras

13.4.1 Norma Colombiana NSR – 10

As orientações apresentadas pela norma Colombiana para o cálculo de elementos a tração, são as mesmas das normas Peruana e Equatoriana. Uma vez que como explanado no decorrer deste trabalho esta norma é utilizada como referência normativa das normas sul-americanas posteriores a ela.

O esforço de tração axial atuante (f_t) para qualquer seção de guadua cilíndrica não deve exceder o valor do esforço admissível a tração axial (F'_t) modificado pelos coeficientes de modificação necessários, de acordo com a equação:

$$f_t = \frac{T}{A_n} \leq F'_t$$

Onde:

f_t = esforço de tração atuante, em MPa

T = força de tração axial aplicada, em N

F'_t = esforço de tração admissível, modificado pelos coeficientes necessários, em MPa

A_n = área útil do elemento, em mm²

Os elementos da estrutura que se encontrem submetidos simultaneamente a forças de tração axial e flexão devem ser projetados para cumprir a seguinte equação:

$$\frac{f_t}{F'_t} + \frac{f_b}{F'_b} \leq 1.0$$

Onde:

f_t = esforço de tração atuante, em MPa

F'_t = esforço de tração admissível, modificado pelos coeficientes necessários, em MPa

f_b = esforço de flexão atuante, em MPa

F'_b = esforço de flexão admissível modificado, em MPa

Na medida do possível deve-se evitar os projetos nos quais os elementos estruturais de *Guadua angustifolia* estejam submetidos a esforços de tração perpendicular as fibras, por razão de sua baixa resistência a esta solicitação, sendo assim, se estes esforços existirem é necessário garantir a resistência do elemento, utilizando reforços na região comprometida com o uso de cintas metálicas ou chapas.

13.5 Compressão paralela às fibras

13.5.1 Norma Colombiana NSR – 10

As orientações apresentadas pela norma Colombiana para o cálculo de elementos a compressão são as mesmas da norma Equatoriana. Uma vez que como explanado no decorrer deste trabalho esta norma é utilizada como referência normativa das normas sul-americanas posteriores a ela.

O comprimento efetivo é o comprimento teórico de uma coluna equivalente com as articulações de seus extremos. O comprimento efetivo de uma coluna pode ser calculado da seguinte forma:

$$\ell_e = \ell_u \mathbf{k}$$

Onde:

ℓ_u = comprimento não suportado lateralmente do elemento, em mm

\mathbf{k} = coeficiente de comprimento efetivo, segundo as restrições dos apoios (Tab. 20)

ℓ_e = comprimento efetivo, em mm

Tabela 20 - Coeficientes de comprimento efetivo de colunas. Fonte: Norma colombiana NSR-10 (2010)

Condição dos apoios	\mathbf{k}
Ambos os extremos articulados (os dois extremos do elemento devem estar restringidos ao deslocamento perpendicular a seu eixo longitudinal)	1,0
Um extremo com restrição a rotação e ao deslocamento e o outro livre	2,1

Em colunas constituídas por um único colmo de guadua, a medida de esbeltez é calculada com a seguinte equação:

$$\lambda = \frac{\ell_e}{\mathbf{r}}$$

Onde:

λ = relação de esbeltez do elemento

ℓ_e = comprimento efetivo do elemento, em mm

\mathbf{r} = raio de giração da seção, em mm

O raio de giração da seção constituída por um único colmo será calculado com a seguinte equação:

$$r = \frac{\sqrt{\left(D_e^2 + (D_e - 2t)^2\right)}}{4}$$

Onde:

D_e = diâmetro externo médio da seção de guadua roliça, em mm

t = espessura média da seção de guadua roliça, em mm

r = raio de giração da seção, em mm

Para o dimensionamento de elementos solicitados a compressão constituídos por dois ou mais colmos de guadua, a medida de esbeltez pode ser calculada usando a equação anterior, com o raio de giração r sendo calculado da seguinte forma:

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

Onde:

I = inércia da seção calculada de acordo com numeral apresentado na sequência, em mm^4

A = área da seção transversal, em mm^2

r = raio de giração da seção

Quando se empregue vários seguimentos de colmos (peças) para dimensionar um elemento a compressão, a inércia do conjunto é calculada como a soma das inércias individuais de cada um dos colmos ($I = \sum I_i$). Se o construtor garantir um trabalho em conjunto, a inércia pode ser calculada com as seguintes expressões:

- (a) Para elementos em compressão tipo “persiana”, elementos posicionados lado a lado e unidos por peças secundárias, a inércia será calculada como $I = \sum (A_i d_i^2)$, sendo A_i a área para o i -ésimo colmo e d_i a distância entre o centroide do conjunto de colmos e o centroide do i -ésimo colmo.
- (b) Para elementos em compressão unidos em toda sua longitude, a inércia será calculada como $I = \sum (A_i d_i^2) + \sum I_i$, sendo I_i a inércia individual de cada colmo referido a seu próprio centroide.

Segundo sua relação de esbeltez, as colunas de guadua cilíndrica se classificam em curtas, intermediárias e longas (Tab. 21).

Tabela 21 - Classificação de colunas por esbeltez. Fonte: Norma colombiana NSR-10 (2010)

Colunas	Esbeltez
Curta	$\lambda < 30$
Intermediária	$30 < \lambda < C_k$
Longa	$C_k < \lambda < 150$

Em nenhuma circunstância é aceitável trabalhar com elementos de coluna que tenham esbeltez maior que 150. A esbeltez C_k é o limite entre as colunas intermediárias e as colunas longas e pode ser calculado com a seguinte equação:

$$C_k = 2.565 \sqrt{\frac{E_{0.05}}{F'_c}}$$

Onde:

F'_c = esforço admissível em compressão paralela as fibras, modificado, em MPa

$E_{0.05}$ = módulo de elasticidade percentual 5, em MPa

Para colunas curtas ($\lambda < 30$) o esforço máximo atuante de compressão paralelo as fibras (f_c) sobre qualquer seção de guada roliça em colunas curtas, não deve exceder o valor do esforço admissível de compressão paralelo as fibras (F'_c) modificado pelos fatores correspondentes de acordo com a equação:

$$f_c = \frac{N}{A_n} \leq F'_c$$

Onde:

F_c = esforço atuante de compressão paralelo as fibras, em MPa

N = força atuante de compressão paralela as fibras, em N

A_n = área útil da seção transversal, em mm²

F'_c = esforço admissível de compressão paralelo as fibras, modificado, em MPa

Para colunas intermediárias ($30 < \lambda < C_k$) o esforço atuante máximo de compressão paralelo as fibras (f_c) sobre qualquer seção de guada roliça em colunas intermediárias, não deve exceder o valor do esforço admissível de compressão paralelo as fibras (F'_c) modificado pelos fatores correspondentes de acordo com a equação:

$$f_c = \frac{N}{A_n \left(1 - \frac{2}{5} \left[\frac{\lambda}{C_k} \right]^3 \right)} \leq F'_c$$

Onde:

F_c = esforço atuante de compressão paralelo as fibras, em MPa

N = força atuante de compressão paralela as fibras, em N

A_n = área útil da seção transversal, em mm²

F'_c = esforço admissível de compressão paralelo as fibras, modificado, em MPa

λ = relação de esbeltez do elemento

C_k = esbeltez que marca o limite entre colunas intermediárias e longas.

Para colunas longas ($C_k < \lambda > 150$) o esforço atuante máximo de compressão paralelo as fibras (f_c) sobre qualquer seção de guadua roliça em colunas longas, não deve exceder o valor do esforço admissível de compressão paralelo as fibras (F'_c) modificado pelos fatores correspondentes de acordo com a equação:

$$f_c = 3.3 \frac{E_{0.05}}{\lambda^2} \leq F'_c$$

Onde:

F_c = esforço atuante de compressão paralelo as fibras, em MPa

F'_c = esforço admissível de compressão paralelo as fibras, modificado, em MPa

λ = relação de esbeltez do elemento

$E_{0.05}$ = módulo de elasticidade percentual 5, em MPa

Os elementos estruturais que se encontrem submetidos simultaneamente a forças de compressão e flexão devem ser calculados para cumprir a seguinte equação:

$$\frac{f_c}{F'_c} + \frac{k_m f_b}{F'_b} \leq 1.0$$

Onde:

F_c = esforço atuante de compressão paralelo as fibras, em MPa

F'_c = esforço admissível de compressão paralelo as fibras, modificado, em MPa

f_b = esforço atuante a flexão, em MPa

F'_b = esforço de flexão admissível modificado, em MPa

K_m = coeficiente de ampliação de momento, calculado com a seguinte equação:

$$k_m = \frac{1}{1 - 1.5(N_a/N_{cr})}$$

Onde:

K_m = coeficiente de ampliação de momento

N_a = carga de compressão atuante, em N

N_{cr} = carga crítica de Euler, calculada com a seguinte equação:

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 E_{0,05} I}{\ell_e^2}$$

Onde:

N_{cr} = carga crítica de Euler, em N

$E_{0,05}$ = módulo de elasticidade percentual 5, em MPa

I = momento de inércia da seção, em mm⁴

ℓ_e = comprimento efetivo do elemento, em mm

13.5.2 Norma Peruana NTE E.100

O comprimento efetivo é o comprimento teórico de uma coluna equivalente com as articulações de seus extremos. O comprimento efetivo de uma coluna pode ser calculado da seguinte forma:

$$\ell_e = \ell_u k$$

Onde:

ℓ_u = comprimento não suportado lateralmente do elemento, em mm

k = coeficiente de comprimento efetivo, segundo as restrições dos apoios (Tab. 22)

ℓ_e = comprimento efetivo, em mm

Tabela 22 - Coeficientes de comprimento efetivo de colunas. Fonte: Norma peruana NTE.100 (2012)

Condição dos apoios	k
Ambos os extremos articulados (os dois extremos do elemento devem estar restringidos ao deslocamento perpendicular a seu eixo longitudinal)	1,0
Um extremo com restrição a rotação e ao deslocamento e o outro livre	2,0

Em colunas constituídas por um único colmo de bambu, a medida de esbeltez é calculada com a seguinte equação:

$$\lambda = \frac{\ell_e}{r}$$

Onde:

λ = relação de esbeltez do elemento

ℓ_e = comprimento efetivo do elemento, em mm

r = raio de giração da seção, em mm

Segundo sua relação de esbeltez, as colunas de bambu cilíndrico se classificam em curtas, intermediárias e longas (Tab. 23).

Tabela 23 - Classificação de colunas por esbeltez. Fonte: Norma Peruana NTE.100 (2012)

Colunas	Esbeltez
Curta	$\lambda < 30$
Intermediária	$30 < \lambda < C_k$
Longa	$C_k < \lambda < 150$

Em nenhuma circunstância é aceitável trabalhar com elementos de coluna que tenham esbeltez maior que 150. A esbeltez C_k é o limite entre as colunas intermediárias e as colunas longas e pode ser calculado com a seguinte equação:

$$C_k = 2.565 \sqrt{\frac{E_{0.05}}{F'_c}}$$

Onde:

F'_c = esforço admissível em compressão paralela as fibras, modificado, em MPa

$E_{0.05}$ = módulo de elasticidade percentual 5, em MPa

. Os módulos de elasticidade usados para o projeto de colunas devem ser iguais aos utilizados para flexão. Deve-se utilizar o módulo de elasticidade médio para projetar paredes estruturais de bambu e o módulo mínimo para projetar colunas isoladas.

Os elementos submetidos a compressão axial devem ser projetados sem considerar uma excentricidade mínima, sempre que se utilizem as expressões apresentadas a seguir.

Para as colunas curtas, a sua carga admissível deve ser calculada multiplicando o valor do esforço admissível em compressão paralela as fibras pela área da seção.

$$N_{adm} = f_c A$$

Para as colunas intermediárias, que falham por uma combinação de esmagamento e instabilidade, se poderá adotar a seguinte equação.

$$N_{adm} = f_c A \left[1 - \frac{1}{3} \left(\frac{\lambda}{C_k} \right)^4 \right]$$

Para colunas longas, a carga admissível se deve determinar por considerações de elasticidade. Considerando uma adequada segurança ao tombamento, a carga máxima será determinada pela fórmula de Euler. A fórmula geral para colunas de seção de qualquer forma está representada pela seguinte equação:

$$N_{adm} = \frac{\pi^2 EA}{2,5(\lambda)^2}$$

Para seções circulares.

$$N_{adm} = 0,2467 \frac{EA}{(\lambda)^2}$$

Os elementos submetidos a esforços de flexão e compressão combinados devem ser projetados para satisfazer a seguinte expressão:

$$\frac{N}{N_{adm}} + \frac{K_m |M|}{Z f_m} < 1$$

Quando existirem flexão e compressão combinadas, os momentos fletores se ampliarão por ação das cargas axiais. Este efeito pode ser incluído multiplicando o momento por “ K_m ”.

$$K_m = \frac{1}{1 - 1,5 \frac{N}{N_{cr}}}$$

Onde:

N = Carga axial aplicada

N_{adm} = Carga axial admissível, calculada segundo as fórmulas para colunas

K_m = Fator de magnificação de momentos

$|M|$ = Valor absoluto de momento fletor máximo nos elementos

Z = Módulo de seção com respeito ao eixo em torno do qual se produz a flexão

f_m = Esforço admissível em flexão

N_{cr} = Carga crítica de Euler para tombamento na seção em que se aplicam os momentos de flexão

Os elementos estruturais que se encontrem submetidos simultaneamente a forças de compressão e flexão devem ser calculados para cumprir a seguinte equação:

$$\frac{f_c}{F'_c} + \frac{k_m f_b}{F'_b} \leq 1.0$$

Onde:

F_c = esforço atuante de compressão paralelo as fibras, em MPa

F'_c = esforço admissível de compressão paralelo as fibras, modificado, em MPa

f_b = esforço atuante a flexão, em MPa

F'_b = esforço de flexão admissível modificado, em MPa

K_m = coeficiente de ampliação de momento, calculado com a seguinte equação:

$$k_m = \frac{1}{1 - 1.5(N_a/N_{cr})}$$

Onde:

K_m = coeficiente de ampliação de momento

N_a = carga de compressão atuante, em N

N_{cr} = carga crítica de Euler, calculada com a seguinte equação:

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 E_{0.05} I}{\ell_e^2}$$

Onde:

N_{cr} = carga crítica de Euler, em N

$E_{0.05}$ = módulo de elasticidade percentual 5, em MPa

I = momento de inércia da seção, em mm^4

ℓ_e = comprimento efetivo do elemento, em mm

13.6 Orientações para cálculo de uniões

13.6.1 Norma Colombiana NSR - 10

As cargas admissíveis para uniões aparafusadas submetidas a cisalhamento duplo serão determinadas a partir dos valores de **P**, **Q** e **T** (Tab. 25), em função do diâmetro externo da guadua (**D_e**) e do diâmetro do parafuso (**d**). Os valores de **P** indicados serão utilizados quando a força atuante na união for paralela as fibras (Fig. 76).

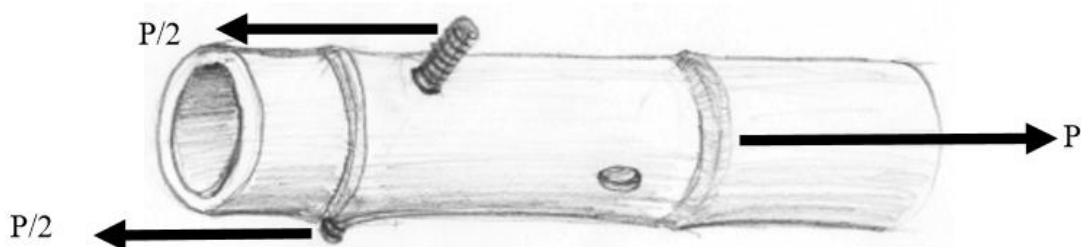


Figura 76 - Carga **P** para forças de cisalhamento na união entre guadas. Fonte: Norma colombiana NSR-10 (2010).

As cargas admissíveis quando a força é paralela as fibras do elemento central, porém perpendicular as fibras dos elementos laterais, ou vice-versa, são indicadas como

Q, sempre e quando o elemento central e os elementos laterais se encontrem em planos paralelos (Fig. 77).

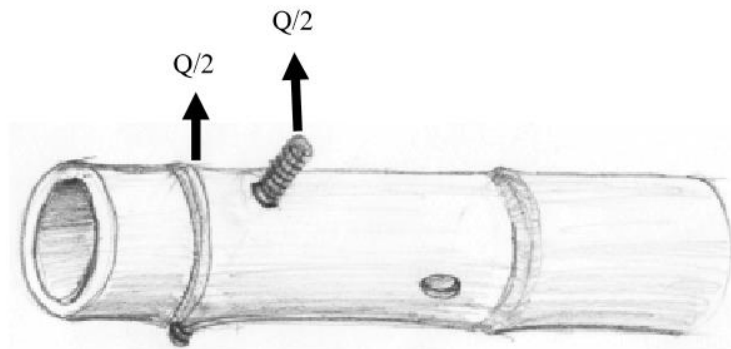


Figura 77 - Carga **Q** para forças de cisalhamento perpendicular as fibras de guadua.
Fonte: Norma colombiana NSR-10 (2010).

As cargas admissíveis quando a força é perpendicular as fibras de um dos elementos e paralela as fibras do outro são indicadas com **T**, sempre e quando os elementos de guadua estejam no mesmo plano (Fig. 78).

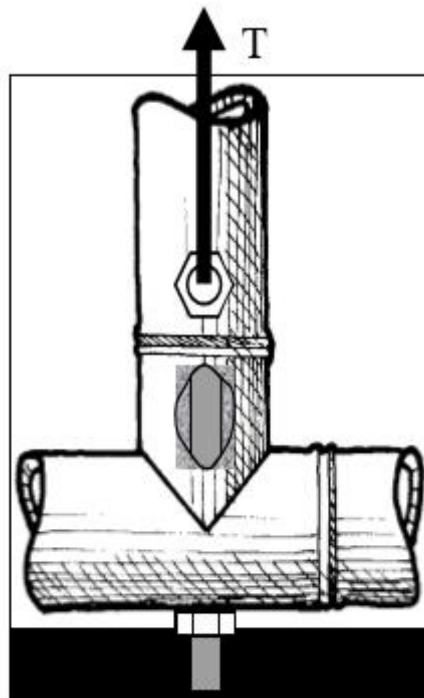


Figura 78 - Carga **T**. Fonte: Norma colombiana NSR-10 (2010).

As cargas admissíveis **P** e **Q** correspondem a duas situações limites. Se a força na união segue a direção do elemento principal, porém forma um ângulo com a direção das fibras dos elementos laterais, ou vice-versa, a carga admissível pode ser determinada pela equação de Hankison:

$$N = \frac{PQ}{P \sin^2 \alpha + Q \cos^2 \alpha}$$

As cargas admissíveis (Fig. 79), são representativas de guaduas com um teor de umidade inferior a 19% e que se mantenham secas durante seu tempo de serviço. Em conexões de quatro ou mais membros cada plano de corte será avaliado como uma conexão de cisalhamento simples. O valor da conexão será calculado com o valor nominal mais baixo obtido, multiplicado pelo número de planos de corte.

Parafusos	De	P	Q	T
	(mm)	(N)	(N)	(N)
#3	80	7212	2885	2000
	90	8008	3203	2100
	100	8804	3522	2200
	110	9601	3840	2300
	115	10041	4016	2400
	120	10481	4193	2500
	125	10922	4369	2600
	130	11362	4545	2700
	135	11802	4721	2800
	140	12242	4897	2900
	150	13039	5216	3000
#4	80	9710	3884	2000
	90	9916	3966	2100
	100	10943	4377	2200
	110	11970	4788	2300
	115	12521	5009	2400
	120	13072	5229	2500
	125	13623	5449	2600
	130	14174	5670	2700
	135	14725	5890	2800
	140	15276	6110	2900
	150	16303	6521	3000
#5	80	11540	4616	2000
	90	12806	5122	2100
	100	13250	5300	2200
	110	14515	5806	2300
	115	15185	6074	2400
	120	15855	6342	2500
	125	16525	6610	2600
	130	17195	6878	2700
	135	17865	7146	2800
	140	18535	7414	2900
	150	19800	7920	3000

Figura 79 – Quadro de cargas admissíveis para uniões aparafusadas com cisalhamento duplo. Fonte: Norma colombiana NSR-10 (2010).

As cargas admissíveis da figura 79 correspondem a uniões com apenas um parafuso. Quando a união necessite de mais de dois parafusos em linha paralela a direção da carga, a carga admissível da união será obtida multiplicando os valores admissíveis de cada

parafuso obtido na figura 79, pelo número de parafusos e por um coeficiente de redução por grupo (C_g) (Tab. 24). O coeficiente de redução por grupo só pode ser aplicado a carga **P**, as cargas **Q** e **T** não se podem modificar.

Tabela 24 - Coeficiente de redução por grupo C_g . Fonte: Norma colombiana NSR-10 (2010).

Classe de união	Número de parafusos				
	2	3	4	5	6
Uniões com elementos de guadua	1,00	0,97	0,93	0,89	0,82
Uniões com elementos de aço	1,00	0,98	0,95	0,92	0,90

São permitidos outros tipos de união, sempre e quando estes sejam verificados por um estudo científico com pelo menos 30 ensaios, que permitam verificar se a capacidade de união proposta é equivalente ou superior as conexões normatizadas.

14. SÍNTESE DO CAPÍTULO II – NORMAS INTERNACIONAIS

As cinco normas analisadas apresentam muitas informações semelhantes. É possível perceber que essas normas foram desenvolvidas em anos e países diferentes, porém as informações apresentadas em cada uma das normas, anteriormente desenvolvidas, serviram de embasamento para o desenvolvimento das normas que vieram posteriormente, principalmente nas normas latino americanas.

As normas Indianas, primeiras normas desenvolvidas, apresentam as informações iniciais para ensaios de laboratório e caracterização das propriedades físico e mecânicas do bambu (INDIAN STANDARD 6874 – “METHOD OF TESTS FOR BAMBOO, 1973), sendo essas informações utilizadas para o desenvolvimento das normas Internacionais (ISO 22157 - DETERMINATION OF PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES - PART 1: REQUIREMENTS; ISO 22157 - DETERMINATION OF PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES - PART 2: LABORATORY MANUAL, 2004), que por sua vez foram utilizadas para o desenvolvimento das normas latino americanas com orientações para ensaios de caracterização das propriedades do bambu. A própria norma Indiana foi reeditada em 2008 agregando algumas alterações propostas pelas Normas Internacionais (ISO)

A norma Internacional (ISO 22156 – STRUCTURAL DESIGN, 2004) foi a primeira a oferecer orientações para um adequado aproveitamento do bambu – colmo em

estruturas prediais. Essa norma orienta o uso do bambu em estruturas, seja ele cilíndrico, ripado ou laminado e colado (de forma bem sucinta). A maior preocupação dessa norma são os requisitos para resistência mecânica, capacidade de manutenção e durabilidade das estruturas de bambu. São descritos alguns pontos, com especial atenção, no desenvolvimento de projeto e execução de estruturas com bambu, além de orientações para cálculo e dimensionamento dessas estruturas. Seguindo as recomendações e orientações das normas ISO, a Índia publicou em 2012 a norma denominada INDIAN STANDART (IS) 15912-2012: STRUCTURAL DESIGN USING BAMBOO - CODE OF PRACTICE que apresenta informações com o intuito de facilitar e melhorar o uso do bambu na construção civil.

A norma colombiana de construção (REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCIÓN SISMO RESISTENTE: NSR-10, 2010) apresenta orientações para o uso de um único tipo de bambu em construções, algumas das orientações seguem as normas Internacionais, e outras são adaptadas para o tipo de bambu e sistema construtivo utilizado neste país. Sendo essa norma uma referência para o uso do bambu *Guadua* na construção, mas limitando um melhor aproveitamento de outras espécies de bambu. Essa norma também orienta para o cálculo de elementos a flexão estática, tração paralela às fibras, cisalhamento paralelo as fibras e compressão paralela às fibras. Também são apresentados alguns tipos de uniões mais utilizados em estruturas de bambu na Colômbia, além de seus esforços atuantes e resistências admissíveis. A norma colombiana foi utilizada como referência para as outras normas latino americanas de construção com bambu.

A norma Peruana (REGLAMENTO NACIONAL DE EDIFICACIONES: NORMA NTE E.100, 2012) é muito parecida com a norma colombiana, contudo possui suas particularidades. A primeira é a possibilidade de utilização de outras espécies de bambu, o que fez com que os parâmetros utilizados por essa norma fossem alterados em alguns casos. Outra diferença são os tipos de conexões apresentadas, aumentando as possibilidades de aproveitamento dos colmos de bambu e facilitando seu entendimento, uma vez que essa norma é repleta de ilustrações. A norma peruana também adiciona informações sobre paredes estruturais com bambu, vigas e lajes com bambu, ligação entre a estrutura de bambu e a fundação.

A última norma a ser desenvolvida foi a norma equatoriana (NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN: NEC - ESTRUCTURAS DE GUADÚA

(GAK), 2017), essa norma apresenta as informações das normas colombiana e peruana, contudo a norma equatoriana se preocupa com as orientações pertinentes à produção de bambu – colmo. Descrevendo de forma bem clara as etapas de colheita e características dos colmos que devem ser aproveitados, as etapas de tratamento, secagem e armazenagem para colmos de bambu estruturais. A norma equatoriana também apresenta mais algumas possibilidades de sistemas conectivos e ligações entre a estrutura de bambu e a fundação.

Por ser a última e possivelmente mais completa norma sobre bambu atualmente, a norma equatoriana se apresenta como a melhor referência para utilização em projetos que utilizem bambu com função estrutural, contudo isso não impede um maior conhecimento sobre as outras normas, em especial as normas internacionais (ISO) que apesar de mais sucintas ainda são as mais utilizadas internacionalmente.

CAPITULO III – CONSTRUÇÃO DE UM PROTÓTIPO

Nesse capítulo é apresentado o processo de concepção e execução de uma estrutura de 63 m² em bambu desenvolvida pelo autor em 2011, com técnicas e conhecimento disponíveis na data de sua execução. O intuito desse capítulo é apresentar as técnicas e orientações estudadas em um caso prático, favorecendo o aprendizado e facilitando o entendimento das informações estudadas.

15. ESTRUTURA DE BAMBU

O uso do bambu em estruturas no Brasil é uma realidade, porém o conhecimento sobre a utilização dessa matéria prima ainda é pequeno. O Brasil possui poucos relatos sobre o histórico de aproveitamento estrutural do bambu, sendo grande parte desses realizados em áreas rurais ou por indígenas. Mesmo os atuais projetos, de maior complexidade técnica, são executados por mão de obra com pouca qualificação para esse tipo de construção.

O conhecimento prático das técnicas de construção com bambu é inerente a uma pequena parcela de construtores, que já executaram alguma obra com esse material. Porém grande parte das pessoas que utilizam o bambu em construções se baseiam em informações provenientes de livros ou material didático disponíveis, que com poucas exceções, são internacionais.

As técnicas utilizadas para construções com bambu no Brasil, nem sempre seguem as recomendações das normas estudadas nessa dissertação, uma vez que para facilitar o processo construtivo, ou pela falta de conhecimento dos projetistas e construtores, essas técnicas costumam ser mais simples e de fácil execução. O tipo de uso e tempo de duração das estruturas de bambu, também são fatores que podem influenciar nas técnicas e qualidade de execução em obras mais simples.

A estrutura utilizada para a construção de um protótipo foi projetada e executada pelo autor em 2011. O projeto arquitetônico foi definido seguindo conceitos estudados e orientações recebidas para a aplicação do bambu até a data de sua execução. Por este motivo, alguns pontos do projeto estão em desacordo com as normas e manuais de boas práticas para construção com bambu.

A estrutura foi projetada para uma vida útil de serviço de aproximadamente 10 anos, sendo utilizadas algumas técnicas empregadas que não são recomendadas por norma. Isto se deve a alguns fatores: facilitar o processo construtivo e melhor estabilizar a estrutura

desde seu início; economizar tempo e recursos na fundação; melhor entender e acelerar as patologias e problemas estruturais que esses erros construtivos podem causar; possibilitar o estudo de alternativas de atenuar e efetuar manutenção das peças, sem prejuízo estrutural. A estrutura em questão foi executada na propriedade do engenheiro responsável, estando sob supervisão constante, principalmente para manutenções e adequações necessárias.

15.1 Modelo arquitetônico

O modelo da estrutura (Fig. 80 e 81) foi desenvolvido de forma a utilizar uma quantidade reduzida de peças de bambu, com tamanhos próximos de 6 metros (tamanho da peça transportada) e o menor número de emendas entre os bambus possível. O uso de sistemas estruturais triangulares (Fig. 80a) e apoios nos pontos médios dos vãos (Fig. 80b), se mostraram uma boa alternativa para estruturas de bambu, garantindo uma melhor rigidez estrutural. Se buscou utilizar elementos reciclados e reaproveitados no projeto, diminuindo custos e facilitando o processo construtivo.

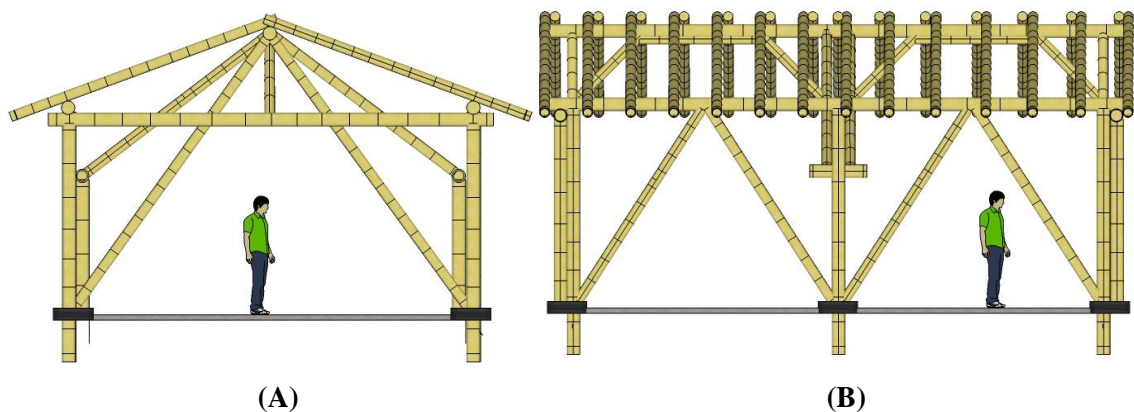


Figura 80 - Figura 80a: Vista frontal do modelo e Figura 80b: Vista lateral do modelo. Modelo: Autor (2011)

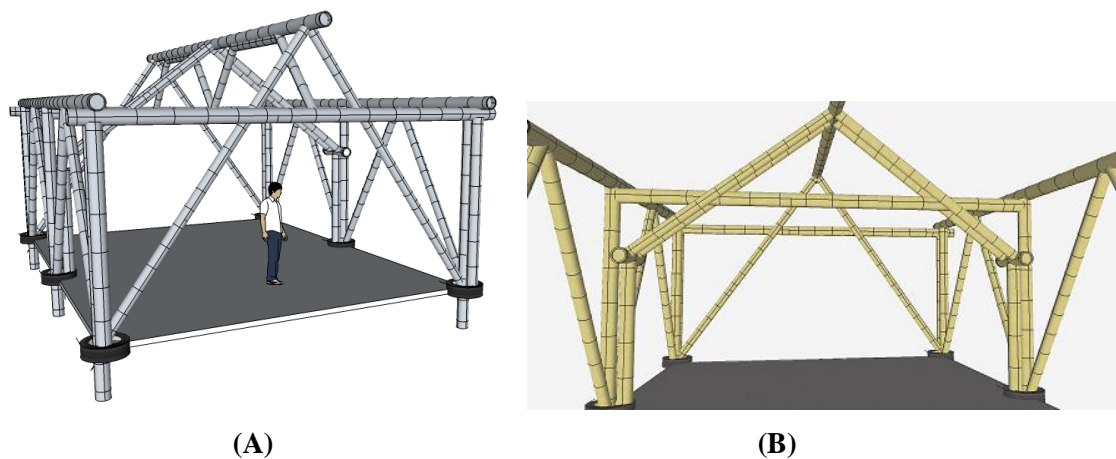


Figura 81 - Figura 81a: Sistema estrutural em bambu e Figura 81b: Pórtico central da estrutura. Modelo: Autor (2011).

A estrutura projetada possui área entre pilares de 8 X 6 metros e área de projeção da cobertura de 9 X 7 metros. Foram projetadas uniões utilizando apenas conexões entre colmos de bambu, sem o uso de elementos metálicos além das barras roscadas, porcas e arruelas.

15.2 Processo executivo para a construção da estrutura de bambu.

O posicionamento do bambu abaixo do nível do solo, ou próximo a ele, facilita que o material esteja em contato com a umidade do terreno ou com água da chuva e de limpeza do piso. A forma correta de como uma fundação para estruturas de bambu deve ser feita esta demonstrada anteriormente na presente dissertação. Para o modelo aqui apresentado, foi preferido que as colunas principais da estrutura estivessem enterradas. Engastando o apoio das colunas com o terreno, e facilitando o processo de marcação de prumo e construção das demais etapas da estrutura. Podendo as partes da estrutura já executadas, servirem de apoio para as próximas etapas da obra.

Outro ponto importante é lembrar que o projeto estrutural em questão também pretende, a longo prazo, verificar as patologias e manutenções que são inerentes as estruturas de bambu construídas no Distrito Federal. Dessa forma o uso dos bambus enterrados pode ser interessante para esse projeto, mas não deve ser usado para estruturas que não tiverem manutenção constante e observação de um profissional.

As traves dos pórticos laterais devem ser erguidas e apumadas sendo então travadas com colunas diagonais até o ponto médio dos vãos (Fig. 82a), as peças de ligação entre pórticos podem ser usadas para ajudar a estabilizar os pórticos (Fig. 82b). As 4 colunas laterais devem ser duplicadas para apoiar as peças de ligação entre pórticos e aumentar a resistência das colunas principais (Fig. 82b).

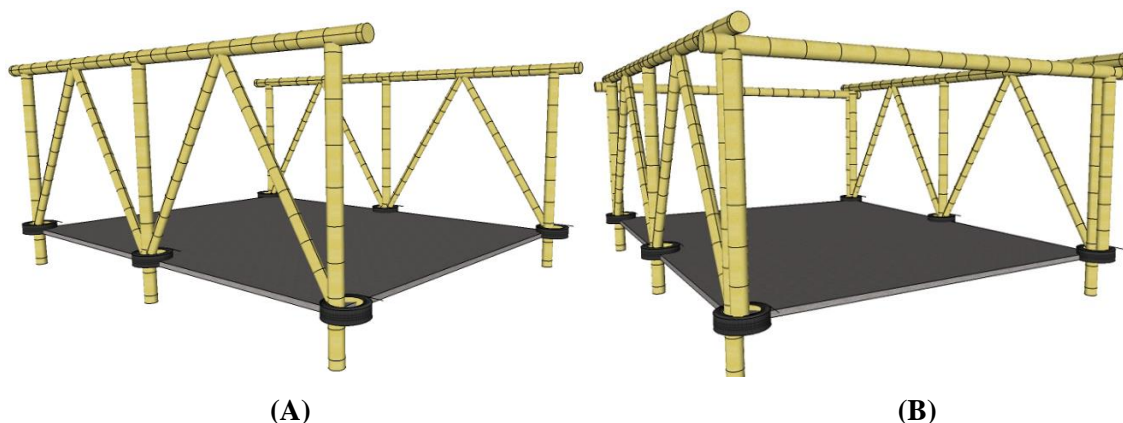


Figura 82 - Figura 82a: Pórticos e travamento laterais. Figura 82b: Ligação entre pórticos. Modelo: Autor (2011).

As colunas diagonais também são utilizadas para estabilizar os pórticos laterais e suportar a carga da viga principal do telhado (Fig. 83a). Travamentos entre pórticos e duplicação de peças de bambu também são utilizados para reforçar e estabilizar a viga principal da estrutura (Fig.83b). Foi projetado um pórtico central com 4 peças de bambu para suportar a carga na metade da viga. Essas peças descarregam a carga em colunas centrais mais curtas (Fig. 83b).

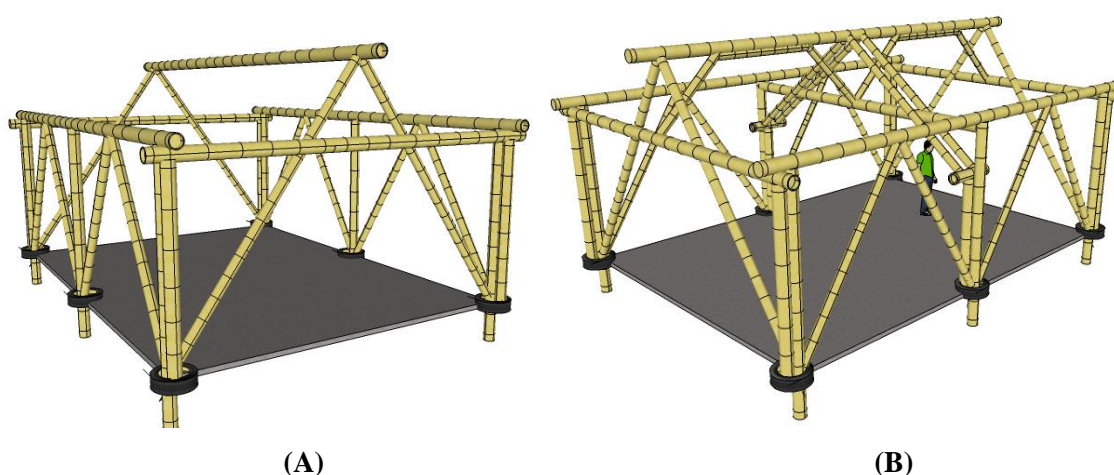


Figura 83 - Figura 83a: Coluna inclinada e travamentos centrais. Figura 83b: Suporte para viga principal. Modelo: Autor (2011).

A cobertura em duas águas deverá ser executada com o posicionamento de caibros de bambu roliço apoiados entre a viga da cobertura e as vigas laterais da estrutura (Fig. 84a). Os caibros devem ser aparafusados na viga principal central e nas vigas laterais. Os caibros devem ser posicionados de forma a se tocar lateralmente nas pontas superiores (Fig. 84b), podendo assim permitir que sejam aparafusados entre si e também aparafusados com a viga central.

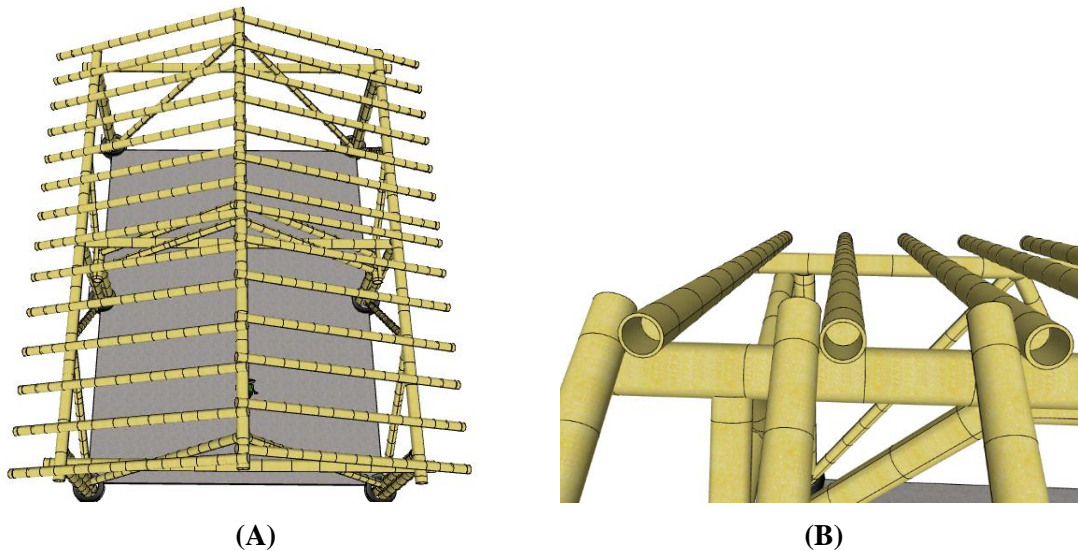


Figura 84 - Figura 84a: Caibros posicionados lado a lado. Figura 84b: Suporte para viga principal. Modelo: Autor (2011).

15.3 Escolha do bambu a ser utilizado na obra.

O compra de bambus de qualidade estrutural no Brasil ainda é difícil. Apesar de algumas empresas comercializarem colmos de bambus com características recomendadas para uso estrutural, ainda não há nenhum tipo de certificação para esse material. Na maioria dos casos o responsável pela obra necessita visitar o local do estoque do fornecedor para escolher o bambu, ou ele mesmo se responsabilizar pelo corte e tratamento dos colmos a serem utilizados na obra.

Outro fator importante é assegurar a idade e percentuais mínimos recomendados por norma para conicidade e tortuosidade. Grande parte das touceiras de bambu no Brasil não recebem manejo adequado, ocasionando uma grande dificuldade de extração de colmos padronizados e dentro das recomendações das normas internacionais.

A escolha da espécie de bambu *Dendrocalamus asper*, para ser utilizado na obra a ser apresentada, se deve a alguns fatores. É o bambu mais usado no centro oeste brasileiro, já que existem várias touceiras espalhadas por diversas propriedades rurais locais. Suas propriedades físico-mecânicas são muito boas, possibilitando seu uso como pilares, vigas e peças de cobertura, além de possuir diâmetro e espessura de parede que possibilitam o uso de peças individuais em estruturas de maior porte. Outra característica importante é o fato de possuir sistema de rizoma paquimorfo, ou seja, cresce em touceiras, facilmente controladas e delimitadas. Somado a uma alta produção de biomassa, estas características acima citadas fazem deste um excelente bambu para produção comercial.

As peças de bambu foram colhidas durante o mês de maio de 2010, próximo a região de Luziânia - Goiás. Por decisão do proprietário do terreno foi feito um corte raso, ou extração total, das peças em um dos bambuzais que se situava entre duas casas, e oferecia riscos aos moradores. Para o desenvolvimento deste processo foram usados motosserra, sistemas de polia e muita corda.

O bambuzal (Fig. 85a) em questão, possuía em torno de 12 anos desde plantado pelo dono do terreno, e todos os brotos do ano de 2010 haviam sido impedidos de progredir seu crescimento. Foi possível observar alguns bambuzais próximos (Fig. 85b) que haviam sido plantados em torno de três anos antes da data em que ocorreu o corte, e as mudas haviam sido retiradas da mesma touceira de bambu anteriormente especificada. Observou-se que as peças possuíam diâmetros bem próximos aos menores diâmetros dos bambus presentes na touceira a ser cortada. Logo é possível estimar que os bambus que seriam cortados possuíam idade máxima de até nove anos, e idade mínima de 1 ano. Em conversa com o caseiro do terreno foi verificado que a touceira recebia frequentes manejos para limpeza, corte de peças maduras e produção de novas mudas. Foram colhidos um pouco mais de 100 colmos de bambu, que variavam em diâmetro, tamanho, forma e idade.

Para tornar o processo mais sustentável, foram produzidos durante a extração vários subprodutos como: peças de bambu com 6 metros de comprimento, sendo cada colmo dividido em pelos menos duas peças; produção de mudas com as ramas primárias



presentes nos nós de cada colmo; limpeza e separação da parte de cada galhada que não foi utilizada para o desenvolvimento da muda, gerando um grande volume de folhas que caíam ou eram separadas das galhadas.

(A)

(B)

As peças foram estocadas próximas ao local de extração e ali permaneceram, afastadas do solo e protegidas por sombra, por 20 dias, esperando o transporte. No final de cada dia trabalhado, uma solução de óleo queimado de motor e sais de boro era pincelado nas pontas recém cortadas. O intuito de tal procedimento era dificultar ou tornar menos agradável a presença de insetos nessas pontas, que juntamente com os nós, são os locais de maior introdução desses possíveis agentes patológicos.

Cada entrenó foi furado com uma broca fina, e introduzido uma solução de Diclorvós (DDVP), Cipermetrina e Sais de boro (2%: 2%: 8%), com o uso de uma pulverizador costal disponível em casas agropecuárias. O bambu foi então rotacionado para que a solução impregnasse toda a parte interna. Finalmente as peças foram estocadas em local coberto e bem ventilado (Fig. 86). Os colmos permaneceram no estoque por quase 4 meses, diminuindo o teor de umidade das peças para um valor próximo a 25%.

Figura 85 - Figura 85a: Touceira de 12 anos de *D. asper*. Figura 85b: Touceira de 3 anos de *D. asper*. Fotos: Autor (2010)



(A)



(B)

Figura 86 - Estoque de bambu para a obra. Foto: Autor (2010).

De acordo com Marçal (2010), utilizando os colmos apresentados, corpos de prova foram confeccionados e ensaiados a compressão, separando estes em grupos relacionados a idade dos colmos. Os resultados demonstram que os valores de tensão a compressão do bambu já são bem interessantes em idades precoces, tendo em vista que o menor valor calculado para o grupo verde (menos de 3 anos) é de 549,92 Kgf/cm² (Fig. 87) E tendem a aumentar até uma idade onde o bambu está maduro e com propriedades excelentes,

tendo em vista que o menor valor calculado para o grupo azul (idade entre 3 - 6 anos) foi de 573,12 Kgf/cm² (Fig. 87). Podendo perder estas propriedades por um processo de “deterioração”, quando o mesmo já está “sobre maduro” ou muito maduro, tendo em vista que o menor valor calculado para o grupo amarelo (mais de 6 anos) foi de 341,37 Kgf/cm² (Fig. 87).

Análise de tensões máximas e mínimas calculadas para todos os grupos

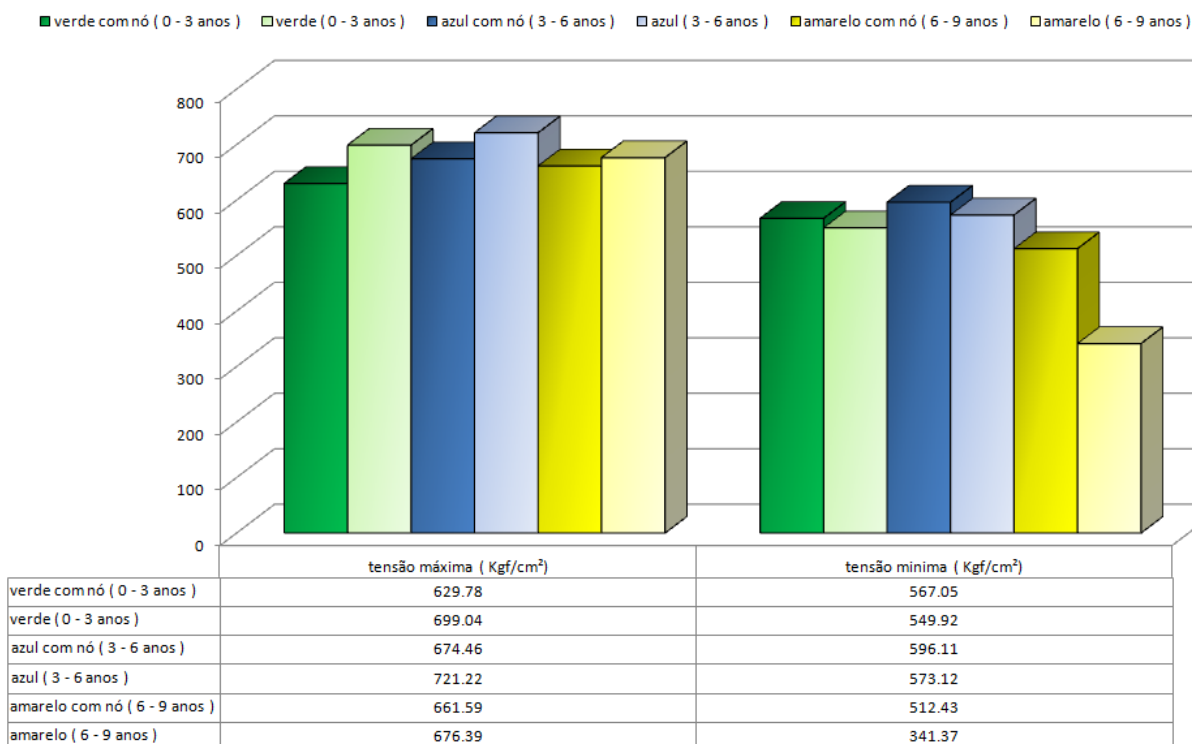


Figura 87 - Análise de tensões máximas e mínimas para compressão em corpos de prova do bambu *D. asper* utilizado no Estudo de caso. Fonte: Marçal (2010).

16. PROCESSOS CONSTRUTIVOS

16.1 Fundação

Como explanado anteriormente, o projeto em questão não tem como preocupação seguir de forma criteriosa as normas e recomendações estudadas durante o presente trabalho. O maior interesse é facilitar o processo construtivo, podendo dessa forma acelerar o aparecimento de patologias, que podem ajudar a entender como evitar e recuperar esses problemas estruturais, nessa e em outras obras. Logo o processo executivo vai apresentar soluções construtivas que não devem ser seguidas como regra.

No caso da fundação os pilares principais foram impermeabilizados com tinta asfáltica e enterrados com aproximadamente 1/3 da altura total da coluna (Fig. 88a).

Sendo que a parte da peça de bambu que ficou abaixo do nível do solo foi preenchida em seu interior com argamassa de cimento e brita. Os diafragmas da parte inferior da peça foram quebrados e a massa de cimento foi introduzida por baixo, facilitando o preenchimento dos entrenós basais.

O buraco no qual a peça de bambu estava posicionada foi preenchido totalmente com argamassa de cimento para melhor rigidez e durabilidade, assim como os pneus. O uso de pneus foi necessário para nivelamento do terreno, sendo que nas partes mais altas foi utilizado apenas um pneu, enquanto nas partes mais baixas foram utilizados dois pneus.

Outra função do uso dos pneus foi afastar as colunas inclinadas e secundárias do contato direto com o solo e reforçar a união entre peças após a concretagem (Fig.88b). Para minimizar a quantidade de água de chuva em cima dos pneus, o acabamento do preenchimento teve uma leve inclinação para fora (Fig. 88c).



Figura 88 - Figura 88a: Coluna principal enterrada. Figura 88b: Concretagem do Pneu. Figura 88c: Acabamento da fundação. Fotos: Autor (2010).

16.2 Estrutura

O processo de montagem da estrutura foi feito concomitantemente com o processo de execução das fundações. As peças de bambu disponíveis para o projeto foram espalhadas (Fig. 89a) de forma a facilitar a escolha das peças para cada função específica. Foram utilizados colmos de diferentes idades, aproveitando ao máximo o material apresentado anteriormente. As normas recomendam um afastamento máximo entre o “corte” e o nó nas pontas do bambu, sendo necessário um maior número de colmos disponíveis, que possam ser selecionados para confecção de cada peça necessária a ser utilizada na obra.

Como o tamanho da viga lateral é superior ao tamanho das peças de bambu disponíveis, foi realizado uma união longitudinal de peças com embuchamento interno,

utilizando uma peça de madeira cilíndrica, essa união é explanada nesta dissertação no item “Orientações para sistemas conectivos”.

A união das colunas com a viga foi feita utilizando o sistema de conexão “boca de pescado” (Fig. 89b), que é explanada nesta dissertação no item “Orientações para sistemas conectivos”, esse sistema é utilizado com frequência nas uniões entre bambus utilizadas nesse projeto (Fig. 89c).

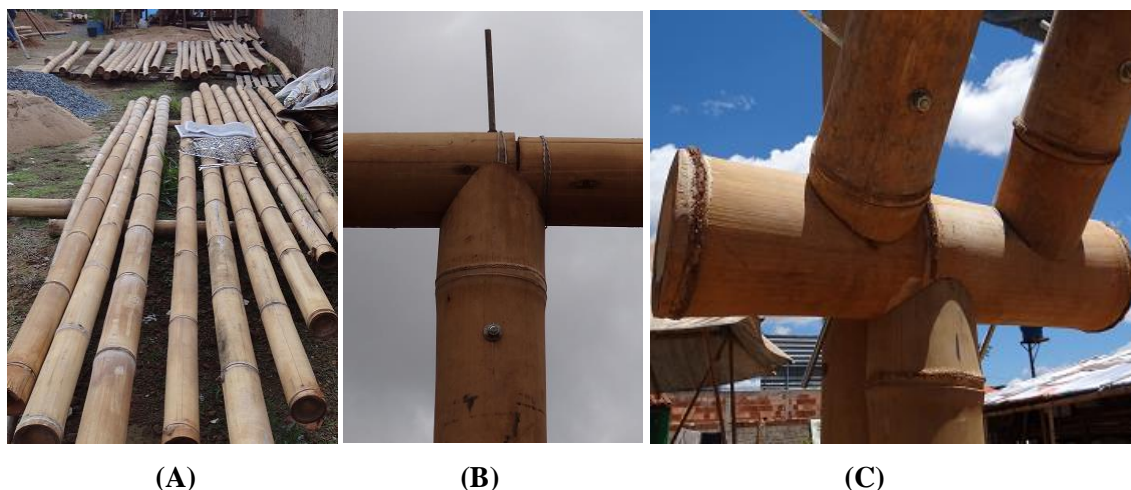


Figura 89 - Figura 89a: Peças de bambu para seleção. Figura 89b: União de peças fora do eixo da coluna. Figura 89c: União de peças fora do apoio da coluna. Fotos: Autor (2011).

Para melhor executar os cortes e ajustes nas pontas de bambu para as conexões “boca de pescado”, foi utilizada uma furadeira com serra copo (Fig. 90a) de diâmetro compatível com o bambu que se apoiaria sobre a boca. Para facilitar o corte, a serra copo foi introduzida por ambos os lados do colmo (Fig. 90b), diminuindo o atrito e facilitando o corte total da boca. Também foi utilizado um formão para dar o acabamento e melhor ajustar a união entre as peças (Fig. 90c).

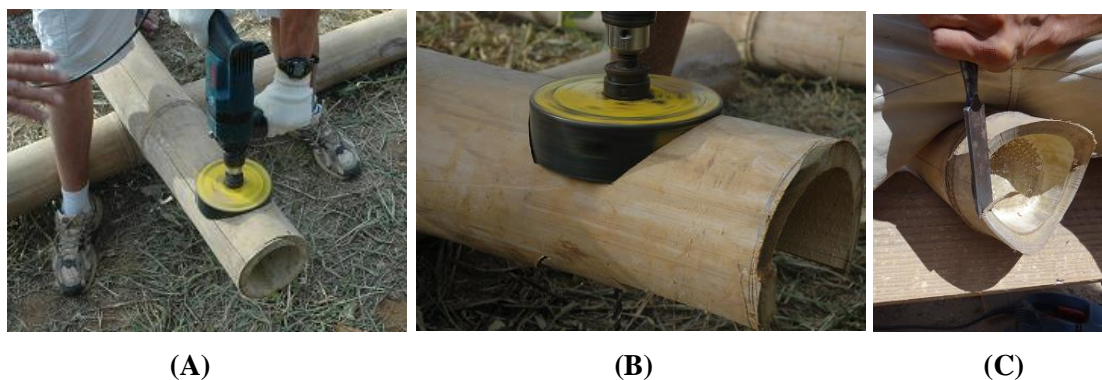


Figura 90 - Figura 90a: Furadeira e serra copo utilizadas para executar a "boca de pescado". Figura 90b: Corte com a serra copo pelos dois lados do colmo. Figura 90c: Acabamento da “boca de pescado” com formão. Fotos: Autor (2011).

Os pórticos foram montados, levantados, nivelados e aprumados, sendo então estabilizados por tripés de peças de bambu nas duas pontas (Fig. 91). Logo em seguida, os buracos onde as colunas principais haviam sido posicionadas foram preenchidos de concreto. A primeira concretagem foi feita apenas até a altura do solo, não preenchendo os pneus em um primeiro momento.



Figura 91 - Processo de levantamento dos pórticos laterais. Fotos: Autor (2011).

Foram aparafusadas as peças de ligação entre os pórticos laterais (Fig. 92a), e os travamentos dos pórticos com a instalação das colunas inclinadas (Fig. 92b), desde a base das colunas principais até o ponto médio do vão entre pilares.



Figura 92 – Figura 92a: Peça de ligação entre pórticos laterais. Figura 92b: Travamentos dos pórticos laterais utilizando colunas inclinadas. Fotos: Autor (2011).

Para fazer as conexões entre as colunas diagonais e as vigas laterais foi utilizado uma variação do sistema de corte “boca de pescada”, variando o ângulo do corte da serra copo, esta união é chamada de “Bico de flauta” (Fig. 93), que é explanada nesta dissertação no item “Orientações para sistemas conectivos”. A fixação foi realizada com barra roscada, arruelas e porcas galvanizadas.

É muito importante, e recomendado por norma, que os cortes fiquem a uma distância próxima aos nós do bambu, contudo devido ao padrão de distanciamento dos nós nas peças, e principalmente devido a um número reduzido de peças disponíveis para

o projeto, em algumas situações essa recomendação pode não ser seguida (Fig. 93). Nesses casos é recomendado a observação da conexão e um possível uso de abraçadeiras e preenchimento dos colmos.



Figura 93 - União diagonal entre peças de bambu. Foto: Autor (2011).

Em seguida, foram instaladas as colunas inclinadas que suportam a viga principal da cobertura, essas peças foram aparafusadas as vigas de ligação entre pórticos (figura 88a). As colunas principais foram duplicadas, apoiando as vigas de ligação entre pórticos laterais e aumentando a resistência total da coluna (Fig. 88b).



(A)

(B)

Figura 94 – Figura 94a: Colunas inclinadas de suporte da viga principal da cobertura.

Figura 94b: Duplicação das colunas principais. Fotos: Autor (2011).

A viga de ligação central é apoiada em sua metade utilizando quatro peças de bambu que formam o pórtico central e são conectadas com “boca de pescador” (Fig. 95a) à viga. O pórtico central transfere a carga através das peças de apoio do telhado que se conectam ao “console”, uma peça de ligação que pode transferir o esforço para outras peças utilizando apenas conexões “boca de pescador” simples (Fig. 95b), que por sua vez descarrega os esforços em uma coluna mais curta.



(A)

(B)

Figura 95 – Figura 95a: Viga central de ligação entre pórticos. Figura 95b: Console de recebimento das peças com boca de pescada. Fotos: Autor (2011).

Os pontos onde as peças de bambu se tocam, uma ao lado da outra, são conectados com um pedaço de barra roscada, arruelas e porcas (Fig. 96a). O apoio entre as colunas inclinadas e a viga principal da cobertura foi executado com corte reto, sem uso da “boca de pescada” (Fig. 96b).



(A)

(B)

Figura 96 - Figura 96a: Ligação aparafusada entre peças de bambu. Figura 96b: Apoio da viga principal. Fotos: Autor (2011).

As peças de bambu já instaladas foram cobertas com plástico para evitar a exposição direta a intempéries enquanto a estrutura do telhado não estivesse pronta (Fig. 97). Sequencialmente foram instaladas as peças de travamento e de duplicação de peça na viga principal da cobertura (Fig. 97 e 98).



Figura 97 - Travamentos e duplicações de peças na viga principal. Fotos: Autor (2011).



Figura 98 – Detalhe travamento e duplicação de peça na viga principal. Fotos: Autor (2011).

A execução do sistema construtivo da cobertura está descrita na continuação do presente trabalho. Uma parte da estrutura de cobertura não foi executada para adaptar um mezanino ao projeto inicial. Por esse motivo foram instaladas vigas de suporte para um mezanino com $\frac{1}{4}$ da área da estrutura (Fig. 99a). A laje de suporte do piso do mezanino foi executada com meias canas de bambu *Dendrocalamus asper* posicionadas com a parte interna para baixo e pintadas de branco (Fig. 99b). O piso do mezanino foi executado com placas de compensado naval cobertas com lona impermeabilizante.



(A)

(B)

Figura 99 – Figura 99a: Mezanino. Figura 99b: Estrutura do piso do mezanino. Fotos: Autor (2011).

Para melhor suportar o mezanino algumas adaptações estruturais foram realizadas. O pórtico central recebeu um reforço de duplicação de peça e peças de travamento, com o uso de consoles, até as colunas centrais de menor tamanho (Fig. 100).



Figura 100 - Reforço estrutural do pórtico central. Fotos: Autor (2011).

Da mesma forma foi duplicada a viga de ligação entre pórticos laterais onde as peças de bambu do piso do mezanino se apoiam (Fig. 101a). Para um melhor efeito estético e estrutural, as vigas externas também foram duplicadas (Fig. 101b). O fechamento das laterais da estrutura foi feito com ripas de bambu entrelaçadas (Fig. 101b).



(A)



(B)

Figura 101 – Figura 101a: Duplicação da viga de apoio do mezanino. Figura 101b: Duplicação das vigas externas. Fotos: Autor (2011).

Para nivelar o solo e preparar o terreno para receber o piso, foi necessário o aterramento da área abaixo da estrutura. O aterramento foi realizado de forma manual com compactação setorizada das porções de terra adicionadas (Fig. 102).



Figura 102 - Nivelamento e compactação do piso da estrutura. Fonte: Autor (2011).

16.3 Cobertura

A cobertura em duas águas foi executada com o posicionamento de caibros apoiados entre a viga central da cobertura e as vigas laterais da estrutura a cada 60 centímetros (Fig. 103). Os caibros foram instalados aparafusados na viga principal central e nas vigas laterais, também aparafusados entre si na junção superior, sendo que os mesmos foram posicionados de forma a se tocar lateralmente nas pontas superiores (Fig. 103a). As pontas superiores dos caibros também foram preenchidas de concreto para melhor resistir aos esforços atuantes (Fig. 103b)



Figura 103 - Instalação dos caibros da cobertura. Fotos: Autor (2011).

Para garantir o trabalho do conjunto, a cobertura foi reforçada com duas peças de bambu aparafusadas ao ponto médio do vão de cada caibro e conectadas entre si por peças de bambu que por sua vez estão aparafusadas as colunas inclinadas de apoio da viga principal (Fig. 104a). No pórtico central a peça de bambu foi aparafusada entre as quatro peças de suporte da viga principal (figura 104b).



(A)

(B)

Figura 104 – Figura 104a: Peças de reforço da cobertura. Figura 104b: Peça de reforço aparafusada no pórtico principal. Fotos: Autor (2011).

O tipo de cobertura escolhida foi telha cerâmica, material disponível e reaproveitado de outras obras (Fig. 105). As peças utilizadas para suportar as telhas são ripões de bambu *Dendrocalamus asper* com 2,5 cm de largura e espessura maior que 1 cm, essas ripas foram produzidas dos colmos rachados que não foram aproveitados na obra.



Figura 105 - Cobertura em telhas cerâmicas. Fotos: Autor (2011).

17. SINTESE DO CAPÍTULO III – OBRA FINALIZADA

Para o projeto e execução da estrutura anteriormente apresentada foram utilizados conhecimentos adquiridos até a data de 2011. Não houve cálculo estrutural da estrutura, sendo a mesma concebida, projetada e dimensionada utilizando conhecimento prático sobre o material bambu e o sistema construtivo utilizado, pilares e vigas.

Com o uso das informações recebidas em cursos na Universidade de Pereira e obras visualizadas na Colômbia no ano de 2010, juntamente com os valores de resistência mecânica, obtidos em ensaios de corpos de prova realizados com o bambu utilizado na obra (MARCAL, 2010), a mesma foi dimensionada, sem maiores critérios para um adequado cálculo estrutural, apenas seguindo conceitos de praticidade e facilidades construtivas. O desenvolvimento da obra em questão foi muito importante para entender a complexidade e alto grau de mão de obra humana necessários para se construir com bambu.

Os sistemas conectivos entre peças de bambu foi o ponto mais importante e dificultoso do processo construtivo descrito. Conseguir um encaixe preciso, com a maior área de contato entre as peças foi um desafio para a evolução da obra. O construtor dessa obra era colombiano, com amplo conhecimento em estruturas de *Guadua* (bambu), mesmo assim algumas uniões entre peças demoraram horas para serem finalmente finalizadas, e outras, apesar de diversas tentativas de melhor adequação entre as peças, não apresentaram encaixe preciso.

Apesar de mudanças estruturais terem sido realizadas no decorrer da obra, a mesma se mostrou muito adaptável a essas mudanças. Demonstrando que sistemas estruturais em bambu podem ser facilmente adaptados, remodelados, reforçados e reformados. A adição

de peças de bambu foi realizada sem maiores problemas estruturais e estéticos, favorecendo uma maior rigidez e resistência geral para a estrutura.

A estrutura está sendo utilizada como área de lazer desde 2011 (Fig. 106a). Não apresentando qualquer patologia estrutural severa até o presente momento. Todas as patologias, alterações de forma, aparecimento de fissuras, presença de insetos e fungos, entre outros estão sendo observados e analisados quanto a melhor forma de manutenção e aumento da vida útil da estrutura. A estrutura está sob supervisão e observação quanto a sua segurança estrutural até a presente data (Fig. 106b).



(A)

(B)

Figura 106 - Figura 106a: Estrutura recém construída em 2011. Figura 106b: Estrutura no ano de 2018. Fotos: Autor (2011-2018).

Os bambus utilizados também foram tratados de forma não normatizada, sendo possível verificar os ataques de insetos e patologias durante a vida útil da estrutura. A execução da obra foi realizada em diferentes etapas, sendo a estrutura e cobertura executadas em 30 dias, e as instalações, piso e vedação executados durante um prazo mais extenso.

CAPITULO IV – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesse capítulo, são feitas as conclusões sobre os resultados alcançados com a elaboração dessa dissertação, apontando algumas diretrizes para trabalhos futuros que contribuam para o aperfeiçoamento do sistema construtivo proposto. Por fim, são reunidos em Referências Bibliográficas todos os autores e fontes de pesquisa utilizadas, fundamentais no desenvolvimento dessa dissertação.

18. CONCLUSÃO

De acordo com as informações apresentadas na presente dissertação, é possível concluir que o bambu possui as características e resistências necessárias para ser utilizado em construções e estruturas prediais. Esse material já é utilizado no desenvolvimento de sistemas construtivos a bastante tempo, e seu uso em estruturas pode ser observado em diversos países, apresentando diferentes tipos e tamanhos de estruturas prediais.

Diversos países, reunindo grupos de profissionais capacitados, trabalharam no desenvolvimento de normas técnicas que pudessem apresentar as informações necessárias para se construir com bambu, facilitando a utilização desse material, e padronizando as orientações e recomendações para seu uso na construção civil.

As informações reunidas nesta dissertação foram retiradas das normas técnicas internacionais disponíveis para o emprego do bambu na construção, apresentando uma sistematização de conhecimentos sintetizados nessas normas, demonstrando assim que o bambu já é um material utilizado e regulamentado em diversos países.

As normas apresentam as informações, orientações e recomendações para a correta produção e beneficiamento da matéria prima padronizada e garantizada, para um correto uso em construções, além das orientações e recomendações de projeto e dimensionamento de estruturas. Também são apresentadas as orientações e recomendações para cada tipo de esforço e posicionamento do bambu na estrutura, enaltecendo suas características mais fortes e demonstrando soluções construtivas para fortalecer seus pontos mais fracos.

Desde a primeira norma técnica internacional em 2004, diversos países vêm trabalhando em normatizações nacionais para o uso do bambu em estruturas prediais. As normas são muito similares, seguindo uma mesma tendência de orientações e recomendações de aproveitamento do bambu a nível estrutural. Cada país acaba fazendo alterações de acordo com a própria realidade construtiva local. Os tipos de bambus

disponíveis para construção também são um fator importante para os parâmetros e valores de cálculo apresentados em cada norma.

Alguns países não possuem uma variedade muito grande de bambus, o que pode facilitar o projeto e dimensionamento de estruturas de bambu. Contudo é importante levar em consideração que existem muitas espécies de bambu que podem ser aproveitadas a nível estrutural, o que demanda do projetista e construtor de estruturas de bambu um conhecimento mais profundo sobre a matéria prima a ser utilizada em suas obras.

O conhecimento sobre o bambu é muito importante para aqueles que queiram efetivamente utilizar esse material em seus projetos e construções. Os países onde as normas de construção com bambu já existem, tendem a apresentar um vasto conhecimento sobre a utilização dessa matéria prima. Mesmo assim não é difícil observar erros estruturais oriundos de profissionais que não possuem um maior conhecimento sobre o emprego de bambu - colmo em estruturas prediais.

Por ser a última e possivelmente mais completa norma sobre bambu atualmente, a norma equatoriana se apresenta como a melhor referência para sua utilização em projetos que utilizem bambu com função estrutural, contudo isso não impede um maior conhecimento sobre as outras normas, em especial as normas internacionais (ISO) que apesar de mais sucintas ainda são as mais utilizadas internacionalmente.

Apenas quem efetivamente desenvolve sistemas estruturais com bambu consegue realmente entender o alto nível de complexidade e dificuldade desse sistema construtivo. Diferente de outros materiais, algumas obras de bambu podem ser consideradas grandes *handcraft* ou artesanatos, com um grau de dificuldade de detalhamento muito alto. O fato do material não possuir linearidade e conicidade padronizada, pode fazer com que projetos realizados em computadores tenham uma dificuldade de execução bem maior do que o estimado, demandando por parte do profissional responsável pela execução um amplo conhecimento e uma boa capacidade para resolução de problemas, além de uma habilidade manual muito grande.

A normatização desse sistema construtivo possibilita que o bambu possa ser utilizado em estruturas prediais de forma mais criteriosa, favorecendo um correto aproveitamento estrutural dessa matéria prima, e provocando uma melhoria do bambu produzido e comercializado, e da mão de obra disponível para seu aproveitamento em estruturas prediais. O acesso a estruturas de bambu já executadas pode favorecer um

melhor entendimento desse sistema construtivo, ajudando a entender melhor como a estrutura funciona e quais os problemas e dificuldades estão relacionados a esse sistema construtivo.

No Brasil, o uso do bambu pode ser uma alternativa para diversos sistemas estruturais, contudo é necessário que a cadeia produtiva do bambu no país seja fortalecida. Só assim será possível implantar plantios comerciais preparados para abastecer o mercado com colmos maduros, selecionados, padronizados, preservados, secos e entregues nas obras. Também é necessário desenvolver uma cultura de aproveitamento do bambu no Brasil, fazendo com que as pessoas conheçam o potencial de aproveitamento dessa matéria prima, e os profissionais criem interesse em estudar e melhor aproveitar o bambu cilíndrico em estruturas prediais.

Esta dissertação expõe de forma detalhada as normas técnicas internacionais para o emprego do bambu em estruturas prediais, destacando suas semelhanças e diferenças, visando melhor repassar as orientações e informações destas normas, demonstrando sua possível aplicação em estruturas no Brasil. Dessa forma foi possível coletar conhecimento, padronizado e normatizado sobre o bambu, e apresentar referência para o adequado uso do bambu em estruturas prediais. Podendo servir para aqueles interessados, em geral, pelo emprego técnico dessa matéria prima na construção, aos pesquisadores e os profissionais envolvidos com normas técnicas destinadas a esse fim.

19. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.

Para trabalhos futuros, recomenda-se uma maior pesquisa sobre métodos de cálculo e dimensionamento de estruturas de bambu. Dessa forma será possível contribuir para o aperfeiçoamento do sistema construtivo proposto.

Para um melhor entendimento desse material, recomenda-se que os interessados em aprender a construir com bambu comecem por estruturas de menor porte. Para estruturas residenciais o uso do bambu no desenvolvimento de estruturas secundárias, como varandas, garagens e galpões se apresentam como uma excelente forma de iniciar o aproveitamento desse elemento construtivo, facilitando o conhecimento sobre este material e aperfeiçoando as técnicas de construção com bambu.

Se mostra evidente uma necessidade de se planejar uma norma Brasileira de construção com bambu, que permita que o bambu possa ser utilizado em estruturas prediais juntamente com outros materiais. Essa norma deve conter orientações e

recomendações de produção, preservação, armazenagem, transporte e recebimento em obra, garantindo um material de qualidade. As normas Brasileiras também devem apresentar orientações e recomendações para projeto, dimensionamento e aproveitamento estrutural do bambu, servindo para os brasileiros interessados em utilizar o material de construção bambu - colmo no desenvolvimento de sistemas estruturais.

20. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADAMS, C. Bamboo Architecture and Construction with Oscar Hidalgo. DESIGNER/builder magazine. Novo México, Setembro, 1997.
- BERALDO, A.L.; PEREIRA, M. A. R. Bambu de corpo e alma. Bauru – SP: Canal 6 Editora. 2008. 1ª edição. 240 p.
- BERALDO, A.L.; PEREIRA, M. A. R. Bambu de corpo e alma. Bauru – SP: Canal 6 Editora. 2016. 2ª edição. 352 p.
- BRAZIL. Lei nº 12.484, de 8 de setembro de 2011. Dispõe sobre a Política Nacional de Incentivo ao Manejo Sustentado e ao Cultivo do Bambu e dá outras providências. Brasília, DF, setembro 2011. http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2011/lei/112484.htm
- BUREAU OF INDIAN STANDARDS: IS 6874: 2008: Method of Tests for Bamboo
- BUREAU OF INDIAN STANDARDS: IS 15912: 2012: Structural Design Using Bamboo – Code Of Practice. BIS, New Delhi, India.
- CBRC - CHINA NATIONAL BAMBOO RESEARCH CENTER. Cultivation & Integrated utilization on bamboo in China. Socio-economy of Bamboo. Bamboo technologies training course for developing countries. Hangzhou, China, 2011.
- CRUZ, M. L. S. Caracterização física e mecânica de colmos inteiros do bambu da espécie *Phyllostachys áurea*: comportamento a flambagem. Dissertação (mestrado) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Civil. Rio de Janeiro, RJ, 2002, 114p.
- DRANSFIELD, S. Bamboo Taxonomy in the Indo-Malesian Region. Bamboo Research in Asia. Singapore, p 121-130. mai. 1980.
- EBF. Environmental Bamboo Foundation, 2003. Vertical Soak Diffusion for Bamboo, Ed. Linda Garland, Ubud, Bali, 26 p.
- FARRELY, D. The book of bamboo. San Francisco, EUA. Sierra Club Books. 1984, 340p.il

GHAVAMI, K. Bambu: Um material alternativo na Engenharia. In: Revista do Instituto de Engenharia. São Paulo: Engenho Editora Técnica, 1992, n.192, 13-27 pp.

GHAVAMI, K. Propriedades dos Bambus e suas aplicações nas obras de Engenharia, Arquitetura e Desenho Industrial. Artigos Compilados do Autor. CTC/ PUC-RIO. Jul. 201p. 1995

GHAVAMI, K.; RODRIGUES, C. S.; PACIORNIK, S., Bamboo: Functionally Graded Composite Material. Asian Engineering (building and housing), Irã, v. 4, n. 1, p. 1-10, 2003.

GRECO, T.M.; CROMBERG, M; RÍOS, H.C. Bambu: Cultivo e Manejo. Florianópolis/SC, Ed. Insular,184p. 2011.

HERRERA, E.G.; OSPINA, A. S. Uma alternativa sostenible: La guadua. Tercera Edición Actualizada. Corporación Autónoma Regional del Quindío. OPITAGRAF. Colômbia, 2007. 192p.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO): Bamboo - Structural design, ISO 22156: 2004.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO): Bamboo- Determination of physical and mechanical properties - Part 1: Requirements, ISO 22157-1: 2004.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO): Bamboo- Determination of physical and mechanical properties - Part 2: Laboratory manual, ISO 22157-2: 2004.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO): Proposal for a new field of technical activity, 2015.

JANSSEN, J.J.A. Designing and building with bamboo. International Network for Bamboo and Rattan (INBAR). Technical report n.20. Beijing, China, 2000.

LIESE, W. The Structure of Bamboo in Relation to its Properties and Utilization. Bamboo and its use, International Symposium on Industrial Use of Bamboo. Beijin, China. Chinese Academy of Forestry. dec.1992.

LIESE, W. The anatomy of bamboo culms. INBAR – International Network for bamboo and rattan, 1998.China. Technical Report. 204 p.

LÓPEZ, O. H. Bamboo: The gift of the gods. Bogotá: Bamboscar, 2003. 553 p.

MELO, J. E. Influência das dimensões dos corpos-de-prova e da velocidade de ensaio na caracterização de três espécies de madeiras tropicais. Tese de Doutorado em Ciências Florestais, Publicação PPGEFLTD - 016/2010. Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2010, 134 p.

MONTIEL, M.; SANCHÉZ, E. Ultraestructura de bambúes del género *Dendrocalamus* (Poaceae: bambusoideae) cultivados em Costa Rica. *Revista biol. trop.* vol. 54 (suppl. 2): 59-63, dec.2006.

MARÇAL, V.H. Uso do bambu na construção civil – Ensaio de corpos de prova a compressão da espécie de bambu *Dendrocalamus giganteus*. Monografia de Projeto Final, Publicação G.PF-001/2011, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 62 p.

MARÇAL, V.; CALDAS, L.; SPOSTO, R. Avaliação do ciclo de vida de emissões de CO₂ para produção comercial de escoras de bambu. II Congresso Luso-Brasileiro de Materiais de Construção Sustentáveis. Universidade federal da Paraíba, João Pessoa, PB, 2016.

MAURY, M.B.; BLUMENSCHNEIN, R.N. Produção de cimento: Impactos à saúde e ao meio ambiente. *Sustentabilidade em Debate - Brasília*, v. 3, n. 1, p. 75-96, jan/jun 2012.

NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN: NEC - ESTRUCTURAS DE GUADÚA (GAK). Equador, 2017.

OLIVEIRA, T.F.C.S. Sustentabilidade e arquitetura: Uma reflexão sobre o uso do bambu na construção civil. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Alagoas. Maceió, 2006.

PEREIRA, M.A.R. Introdução de espécies, manejo, caracterização e aplicações. Tese de livre docência apresentada à faculdade de engenharia de Bauru, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” campus de Bauru/SP – São Paulo, 2012.

PRATES, E. M. B. Morfologia Externa e Anatomia do Colmo de *Dendrocalamus asper* (Poaceae: Bambusoideae) em Duas Localidades no Distrito Federal, Brasil. Dissertação

de Mestrado em Ciências Florestais. Publicação PPGEFL.DM214/2013. Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília – UnB, Brasília/DF.2013.84p

PEIXOTO, L. K. Sistemas construtivos em Bambu laminado colado: proposição e ensaio do desempenho estrutural de uma treliça plana do tipo Warren. Dissertação de Mestrado em Arquitetura e Urbanismo. Universidade de Brasília – UnB. 2008.

REBELLO, Y.C.P.A. Concepção estrutural e a arquitetura. 3 ed. São Paulo: Ziguarte Editora, 2003.

REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCIÓN SISMO RESISTENTE NSR-10. Título G -Estructuras de madera y estructuras de guadua, Capítulo G.12- Estructuras de guadua. Colômbia, 2010.

REGLAMENTO NACIONAL DE EDIFICACIONES: NORMA NTE E.100 BAMBÚ. Peru, 2012.

RIPPER, J. L. O bambu e a sociedade, núcleo de designer da PUC – RJ. Rio de Janeiro, Ed. Puc, 1994.

SILVA, R.M.C. O Bambu no Brasil e no Mundo. Setembro 2005.

SOARES, S.F.B.S. Estruturas em Bambu. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade do Porto, Portugal, 130p, 2013.

TEIXEIRA, A. A. Painéis de Bambu para Habitações Econômicas: Avaliação do Desempenho de Painéis Revestidos com Argamassa. Dissertação de Mestrado em Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, DF, 179p, 2006.

XIAOBING, Y. Bamboo: Structure and Culture Utilizing. Bamboo in the industrial context with reference to its structural and cultural dimensions. Dissertação para obtenção do diploma de doutor em filosofia (Dr. Phil) no campo da arte e do design na Universidade de Duisburg-Essen. Alemanha, 2007.

21. ENDEREÇOS ELETRÔNICOS

<http://pelanatureza.pt/construcao-sustentavel/noticias/fabrica-de-chocolates-e-o-maior-edificio-comercial-de-bambu-do-mundo-46264626>. Acesso de Abril de 2018.

<http://www.inspiration.detail.de/bamboo-pavilion-for-the-expo-shanghai-103526.html?lang=en>. Acesso em abril de 2018.

WWW.PROJETOBAMBU.COM . Acesso em maio de 2018

<https://www.pinterest.se/pin/378161699942665635/> . Acesso junho de 2018

<http://periodicos.unb.br/index.php/sust/article/viewFile/7199/5666>. Acesso junho de 2018

http://www.jisc.go.jp/international/nwip/tsp248_Bamboo_and_rattan.pdf Acesso junho de 2018