



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

SISTEMA DE COBERTURA COM FEIXE DE *BAMBUSA TULDOIDES*

FREDERICO ROSALINO DA SILVA

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. Ivan M. R. do Valle

Brasília

2019

FICHA CATALOGRÁFICA

ROSALINO, FREEDERICO, Sistema de Cobertura com Feixe de *Bambusa tuldoides* [Distrito Federal], (PPG-FAU/UnB, Mestre, Arquitetura e Urbanismo, 2019). Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo.

1. Bambu

2. *Bambusa tuldoides*

3. Construção com bambu

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ROSALINO, FREDERICO. (2019). Sistema de Cobertura com Feixe de *Bambusa tuldoides*. 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, 129 p.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Frederico Rosalino da Silva

TÍTULO: Sistema de Cobertura com Feixe de *Bambusa tuldoides* - GRAU: Mestre ANO: 2019

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.

Frederico Rosalino da Silva –Condomínio Verde, Rua Quaresmeira, casa 03. Bairro Jardim Botânico, CEP 71.680-608 e-mail: Frederico.rosalino@gmail.com

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais Evaldo e Dulcinéia, que me ensinaram o verdadeiro sentido da vida, a eles sou grato por quem sou e por realizar este sonho.

A toda minha família, principalmente aos meus irmãos Vanessa e Renato, meu cunhado Marcelo e meus sobrinhos queridos.

Ao meu orientador professor Dr. Ivan do Valle

Ao professor Dr. Luís Alejandro Perez pelo período dedicado a orientação

A PPG FAU-UNB

Ao Centro de Pesquisas e Aplicação do Bambu e Fibras – CPAB

Ao Laboratório de Produtos Florestais – LPF / Serviço Florestal Brasileiro -SFB pelo uso dos laboratórios para a realização dos ensaios

Ao professor Dr. Divino Teixeira pelo tempo dedicado a orientação

Aos meus amigos do condomínio Verde

E a minha filha Tainá, o amor da minha vida

RESUMO

O presente trabalho apresenta um estudo para avaliar a possibilidade da produção de um sistema de cobertura composto por treliças para pequenos e médios vãos utilizando feixes do bambu da espécie *Bambusa tuldooides*. Espécie exótica de diâmetro entre 4 cm e 6 cm e altura útil média entre 4 a 6 metros, com grande ocorrência em diversas regiões do país, porém, pouco utilizada na confecção de estruturas. Para tanto, foram realizadas visitas técnicas à construções executadas com sistemas semelhantes ao proposto, seguido de revisão bibliográfica sobre o uso do bambu em construções e características gerais sobre a espécie estudada. Foram realizados ensaios para caracterização físico-mecânicas do *Bambusa tuldooides* e das ligações que compõem a estrutura, a fim de obter os parâmetros de dimensionamento, pré-fabricação e montagem de um galpão de duas águas. Os resultados apresentam a viabilidade técnica de uma solução de cobertura onde é apresentado todo o processo de análise estrutural, dimensionamento e detalhamento das seções e ligações que compõem os as treliças, além dos quantitativos de materiais necessários para a sua produção. Por fim, uma breve reflexão sobre o trabalho desenvolvido com considerações e recomendações de novos estudos complementares.

Palavras-chave: Construção com bambu, treliças com feixes de bambu, coberturas de pequenos e médios vãos.

ABSTRACT

This work presents a study to evaluate the possibility of producing a roofing system of trusses for small and medium span using bundle of *Bambusa tuldoides* species. It is an exotic species with diameter between 4 and 6 cm and height between 4 and 6 meters, with great occurrence in several regions of Brazil, however with little application in building structures. In this context, technical visits were made to constructions executed with similar systems to the proposed in this study, followed by a bibliographical review on the use of bamboo in building structures and a review on the main features of the studied species. Furthermore, tests were carried out for a mechanical characterization of *Bambusa tuldoides* and the connection system of a proposed structure in order to obtain the design, pre-fabrication and assembly parameters of a roofing system. The results show the technical feasibility of the proposed roofing solution, in which the whole process of structural analysis, dimensioning and detailing of the sections and connections that compose the frames are presented, as well as the quantitative material needed for its production. Finally, a brief reflection on the developed work is presented, with considerations and recommendations to future studies.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Lacuna e problema de Pesquisa	16
1.2	Objetivos principal e secundários	17
1.3	Estrutura do trabalho	17
2	REVISÃO DA LITERATURA	19
2.1	Aspectos gerais sobre os bambus	19
2.2	Bambu como material de construção	22
2.3	Sistemas construtivos com bambu	22
2.4	Demanda por construções com bambu	28
2.5	Sistemas pré-fabricados	29
2.6	Dimensionamento de estruturas de bambu	32
2.6.1	Normas técnicas existentes.....	32
2.6.2	Métodos de análise estrutural	32
2.7	Aspectos gerais sobre o <i>Bambusa tuldooides</i>	33
2.7.1	Características gerais do <i>Bambusa tuldooides</i>	33
2.7.2	Durabilidade	34
2.7.3	Colheita	36
2.7.4	Métodos preservativos.....	36
2.7.5	Secagem	37
2.7.6	Características físico-mecânicas.....	37
2.8	Uso do <i>Bambusa tuldooides</i> em estruturas	40
2.9	Sistemas Estruturais com Feixes de Bambu	42
3	METODOLOGIA.....	47
3.1	Estudo de Caso – Produção de Coberturas com Trelças em Feixes de bambus de pequenos diâmetros no Vietnã.....	48
3.2	Ensaio de caracterização físico mecânica do <i>Bambusa tuldooides</i>	48
3.2.1	Massa Específica Básica.....	50
3.2.2	Teor de umidade	51
3.2.3	Propriedades Mecânicas	51
3.2.4	Resistência Característica de projeto	55

3.3	Ensaio das Ligações	58
3.3.1	O bambu	59
3.3.2	Pinos	59
3.3.3	Cordas em Polipropileno	59
3.3.4	Produção dos corpos de prova	60
3.3.5	Gabarito	61
3.3.6	O ensaio	62
3.4	Análise estrutural do sistema de cobertura	65
3.4.1	Dados gerais da estrutura proposta	65
3.4.2	Método de Análise estrutural adotado	68
3.4.3	As seções compostas	69
3.4.4	Configuração das terças	70
3.4.5	Contraventamentos	71
3.4.6	Apoios	72
3.4.7	Dados do bambu	72
3.4.8	Cargas na Estrutura	72
3.4.9	Método de verificações das seções	76
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	81
4.1	Estudo de Caso – Coberturas no Vietnã	81
4.1.1	As espécies identificadas	81
4.1.2	Características da colheita	83
4.1.3	O tratamento	83
4.1.4	A secagem	85
4.1.5	As ligações	86
4.1.6	Fundações	88
4.1.7	Pré-fabricação	89
4.1.8	Montagem	90
4.1.9	A cobertura	91
4.1.10	Acabamentos	92
4.1.11	Manutenção	93
4.2	Resultado dos Ensaios de Caracterização do <i>Bambusa tuldoides</i>	93
4.2.1	Características Físicas	93
4.2.2	Massa específica básica	94
4.2.3	Compressão paralela às fibras	95

4.2.4	Cisalhamento Paralelo às fibras	95
4.2.5	Ensaio a flexão estática	96
4.2.6	Resistência Característica de projeto	97
4.3	Resultados dos ensaios para as ligações	98
4.4	Análise estrutural do sistema de cobertura	101
4.4.1	Verificação quanto a Compressão Axial	102
4.4.2	Verificação quanto a Tração axial	103
4.4.3	Momento fletor e cortante	104
4.4.4	Ligações	106
4.4.5	Resultante nos apoios	108
4.4.6	Dados gerais de consumo de materiais	110
5	CONCLUSÃO	113
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	115
7	ANEXOS	120
7.1	ANEXO I - Resultados gráficos da Análise estrutural.....	120
7.2	ANEXO II – Detalhamento executivo.....	127

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Distribuição de todos os bambus lenhosos (Bambuseae) no mundo	20
Figura 2: Morfologia externa dos bambus.....	20
Figura 3: Tipos de rizomas	21
Figura 4 a: – Ponte de bambu sobre o “Tjipaït Tjitaroem Preanger” em 1893, West Java, Indonésia. Figura 4b:- Ponte de bambu em “Preanger Regencies” em 1902, West Java, Indonésia. Fonte: Autor desconhecido.	22
Figura 5: Pabellón del Pensamiento.	23
Figura 6: Sistema básico de ligação da "Escola" Colombiana	24
Figura 7: (1) Detalhes das ligações (2) Boca de pescador; (3) Ligação em 45 graus..	24
Figura 8: Construção executada com <i>Phylostachys pubescens</i>	25
Figura 9: Construção de viveiro com a espécie <i>Phylostachys aurea</i>	25
Figura 10: Escola em Rudrapur/Bangladesh.....	26
Figura 11: Black bamboo, <i>Bambusa lako</i> , Black Timor.	26
Figura 12: Parte da estrutura principal da Green School.	27
Figura 13: Payden School, Chiang Mai, Tailândia:	27
Figura 14: Serena Restaurante, distrito de Kim Boi, Hoa Bing, Vietnã. Arq. Bambuild.	28
.....	
Figura 15: Detalhe dos painéis pré-fabricados da BambooLiving	30
Figura 16: Residência pré-fabricada executada pela BambooLiving.	31
Figura 17: Domo geodésico pré-fabricado	31
Figura 18: Touceira do <i>Bambusa tuldooides</i>	34
Figura 19: Detalhe da seção do <i>Bambusa tuldooides</i>	34
Figura 20: <i>Dinoderus minutus</i> (esquerda) e <i>Chlorofhorus annularis</i> (direita).	35
Figura 21: Estufa Ecológica modelo SENAR-Paraná.....	40
Figura 22: Detalhe da treliça estudada por Lana (2016)	40
Figura 23: Detalhe da seção da peça composta de bambu.	41
Figura 24 Estufa Ecológica modelo SENAR –Paraná.	41
Figura 25: Detalhe do feixe com bambu da espécie <i>Dendrocalamus strictus</i>	42
Figura 26: Ligação com pino de bambu e corda.	43
Figura 27: Ligação com barras metálicas	43
Figura 28: proposta de locação das ligações entre colmos	44
Figura 29: Sistema estrutural com tesouras em feixes de bambus de médios diâmetros	44
Figura 30: Detalhe do sistema estrutural com tesouras em feixes de bambus de médios diâmetros Fonte: http://votrongnghia.com/projects/naman-beach-bar/	45
Figura 31: Detalhe da tesoura sendo posicionada.	45
Figura 32: Detalhe da tesoura sendo posicionada.	46
Figura 33: Tipos de tesouras oferecidas pelo fabricante. Fonte: Foto do autor	46
Figura 34-Detalhe do colmo maduro do <i>Bambusa tuldooides</i>	49
Figura 35 - Detalhe das partes do colmo onde forma retirados os corpos de prova	49
Figura 36: Pesagem da amostra a 0% de umidade	50
Figura 37: Imersão em água para determinação do volume da amostra	50

Figura 38: Máquina universal de ensaios modelo USM – 600 (600 kN – 60tf) da Martins Campelo.....	52
Figura 39: Aparato para a realização do ensaio à flexão estática.	53
Figura 40: Aparato em aço carbono para a realização de ensaios de cisalhamento paralelo às fibras	54
Figura 41: Corpo de prova posicionado para ensaio de cisalhamento paralelo às fibras.....	55
Figura 42: Detalhe das amarras com corda de polipropileno de 5 mm, (a) ligação perpendicular (b) ligação paralela.....	60
Figura 43: Dimensões dos corpos de prova de ligação Paralela.....	61
Figura 44: Dimensões dos corpos de prova de ligação perpendicular	61
Figura 45: Gabaritos para confecção dos corpos de prova (a) ligação perpendicular (b) ligação paralela	62
Figura 46: Máquina de ensaios INSTRON. Fonte: Do autor.....	62
Figura 47: Ensaio das ligações perpendicular	63
Figura 48: Ensaio das ligações Paralela.....	63
Figura 49: Vista frontal do treliças proposta	65
Figura 50: Perspectiva isométrico da estrutura.....	66
Figura 51: Vista da Cobertura da estrutura	67
Figura 52: Vista lateral da treliça proposta.....	67
Figura 53: Detalhe de locação dos nós com a geometria real.....	68
Figura 54: Detalhe de locação dos nós com seguimentos de reta	69
Figura 55: Esquema das seções das barras da treliça.....	70
Figura 56: Esquema de montagem das terças.....	71
Figura 57: Seção esquemática das terças	71
Figura 58: Detalhe da cobertura com esteira de bambu e manta asfáltica	72
Figura 59: Detalhe da cobertura com esteira de bambu e manta asfáltica	73
Figura 60: Esquema de direção de vento e geometria do galpão	74
Figura 61: Coeficiente de pressão externa – Paredes - Vento 0° (a) e Vento 90° (b).....	74
Figura 62: Coeficiente de pressão externa - Teto - Vento 0° (a) e Vento 90° (b)	75
Figura 63: Esforços resultantes - Vento 0° - Cpi = -0,30 (a) e Cpi = 0,00 (b)	75
Figura 64: Esforços resultantes - Vento 90° - Cpi = -0,30 (a) e Cpi = 0,00 (b)	76
Figura 65: Touceira de <i>Dendrocalamus strictus</i>	81
Figura 66: Detalhe da touceira do bambu <i>Thyrsostachys siamensis</i>	82
Figura 67: bambus vendidos em loja de materiais de construção no Vietnã.....	82
Figura 68 Aquecimento com fogo para viabilizar a curvatura da vara.....	83
Figura 69 bambus recém colhidos posicionados em gabarito.	84
Figura 70: Bambus sendo curvados com auxílio de maçarico para aquecimento....	84
Figura 71: Detalhe do tratamento por imersão em tanque.	85
Figura 72: Detalhe do tratamento por imersão em água com alta concentração de sólidos suspensos.	85
Figura 73: Secagem do bambu ao ar livre.	86
Figura 74: Detalhe das ligações com pinos e cordas de nylon.	86
Figura 75: Detalhe das ligações com pinos e cordas de nylon. Fonte: Bambuild, 2017	87

Figura 76: Detalhe das ligações com pinos e cordas de nylon. Fonte: Bambuild, 2017	87
.....	
Figura 77: Detalhe das ligações com pinos e cordas de nylon. Fonte: Bambuild, 2017	87
.....	
Figura 78: Detalhe da fundação – Foto do autor, obra Bambuild	88
Figura 79: Detalhe da fixação da treliça na fundação	88
Figura 80: Detalhe do gabarito.	89
Figura 81: bambus recém colhidos posicionados em gabarito.	89
Figura 82: bambus recém colhidos posicionados em gabarito.	90
Figura 83: Posicionamento das treliças.	90
Figura 84: Peças posicionadas	91
Figura 85: Detalhe da planta (esquerda) e dos feixes prontos para instalação (direita).	91
.....	
Figura 86: Detalhe da cobertura (esquerda) e iniciando a instalação (direita).	92
Figura 87. Cobertura instalada em processo de oxidação.	92
Figura 88: Detalhe do forno para defumação dos colmos	93
Figura 89: Detalhe da ruptura do pino	99
Figura 90: Ruptura do pino de madeira nos ensaios da ligação perpendicular	100
Figura 91: Esquema de resistência da Ligação paralela as fibras	101
Figura 92: Esquema de resistência da Ligação Perpendicular as fibras.	101
Figura 93: Treliça mais solicitada	102
Figura 94: Posicionamento dos nós e esforços máximos de compressão e tração axial	107
.....	
Figura 95: Locação dos pontos de apoio das treliças	109
Figura 96: Detalhe da orientação dos eixos nos apoios de fundação	109
Figura 97: Esquema estrutural do galpão – Isométrico	120
Figura 98: Esquema de lançamento de cargas – Carga permanente - Isométrico	121
Figura 99: Esquema de lançamento de cargas – Carga permanente na treliça –Vista frontal.....	121
Figura 100: Esquema de lançamento de cargas – Carga de vento de Pressão - Isométrico	122
Figura 101: Esquema de lançamento de cargas – Carga de vento de Pressão – Vista frontal.....	122
Figura 102: Esquema de lançamento de cargas – Carga de vento de Subpressão - Isométrico	123
Figura 103: Esquema de lançamento de cargas – Carga de vento de Subpressão – Vista frontal.....	123
Figura 104: Diagrama de esforços axiais nas barras -Isométrico	124
Figura 105: Diagrama de esforços axiais nas barras – vista frontal.....	124
Figura 106: Diagrama de momento fletor - Isométrico.....	125
Figura 107: Diagrama de momento Fletor nas barras – Vista frontal	125
Figura 108: Diagrama de esforços de Cortante - Isométrico.....	126
Figura 109: Diagrama de esforços de Cortante – Vista frontal	126
Figura 110: Esquema da estruturap.....	127
Figura 111: Detalhes de 01 a 08	128

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Relação entre a massa específica aparente (g/cm^3) e ano da colheita do bambu da espécie <i>Phyllostachys pubescens</i>	36
Tabela 2: Resultados médios de umidade (seco ao ar livre) e retrações totais de três espécies de bambus gigantes.....	37
Tabela 3: Valores médios das propriedades físicas de <i>Bambusa tuldoides</i> , em função da posição e local de retirada das amostras	38
Tabela 4: Valores médios de módulo de elasticidade na compressão (MOE) e da relação MOE/Me12% do <i>Bambusa tuldoides</i>	39
Tabela 5: Fator de correção do teor de umidade Cmois, em função do teor de umidade no momento do teste	56
Tabela 6: Fator de condição do ensaio laboratorial Clab	56
Tabela 7: Fator de classe de serviço e duração do carregamento Kmod	58
Tabela 8: Fator de segurança do material YM.....	58
Tabela 9: Características mecânicas da corda de polipropileno de 5 mm	60
Tabela 10: Número da barra, nós de início e fim e seção da barra	70
Tabela 11 Forças características de projeto f_i, k para bambu seco*, maduro**, livre de defeitos visuais (fendas, apodrecimento, etc.) e assumindo uma carga de teste de 10 minutos (N/mm^2).	78
Tabela 12: Classificação da peça comprimida em função do índice de esbeltez.	79
Tabela 13: Diâmetro e espessura da parede dos colmos do <i>Bambusa tuldoides</i> nas partes média e basal.	94
Tabela 14: Resultados de massa específica básica, amostras da parte basal e média.	94
Tabela 15: Resultados dos ensaios a compressão paralela em amostra da parte basal.	95
Tabela 16: Resultados dos ensaios a compressão paralela em amostra da parte média.....	95
Tabela 17: Resultados dos ensaios a cisalhamento paralelo às fibras	96
Tabela 18: Resultados dos ensaios a flexão estática	96
Tabela 19: Resistências Características de projeto.....	97
Tabela 20 Forças características f_i, k para projeto com bambu seco* e maduro**, livre de defeitos visuais (rachaduras, apodrecimento, etc.) e assumindo uma carga de teste de 10 minutos (N / mm^2).....	97
Tabela 21: Resultados dos ensaios das ligações em paralelo e umidade no momento do ensaio	98
Tabela 22: Resultados dos ensaios para ligações perpendiculares	99
Tabela 23: Resultados do Valor Característico de uma População (f_i, k) e da Força Característica de Projeto (X_{id})	100
Tabela 24 – Verificação das barras à compressão axial.....	103

Tabela 25: Resultados de carga axial máxima atuante e tração admissível nas barras	104
Tabela 26: Resultados e verificação das barras quanto ao momento fletor.....	105
Tabela 27: Resultados de esforços cortantes e verificação das barras	106
Tabela 28: Esforços nos nós e quantidade de ligações por união.	108
Tabela 29: Resultante de esforços nos pilares de concreto	110
Tabela 30: Quantitativos de material para a fabricação da estrutura.....	112

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Diferença entre bambus herbáceos e lenhosos	19
Quadro 2: Normas técnicas internacionais de projeto de estrutura em bambu e o método de dimensionamento utilizado.....	33
Quadro 3: Propriedade de alguns bambus estudados na PUC RJ. Fonte: Ghavami (1992)	39
Quadro 4: Detalhe das configurações de feixes proposta pelo engenheiro estrutural.	42

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Valores médios do limite de resistência à compressão paralela às fibras da base, meio e ápice dos colmos, provenientes dos nós e internódios do <i>Bambusa tuldooides</i>	38
---	----

1 INTRODUÇÃO

A construção civil é de grande importância para a economia brasileira, essencial para o desenvolvimento do país, contudo, o intenso desenvolvimento da construção civil no Brasil vem trazendo consequências irreversíveis ao meio ambiente, o consumo intenso de recursos naturais para a fabricação de materiais de construção e o descarte inadequado durante a obra são as principais ações geradoras do impacto neste contexto. (Karpinsk et al, 2009).

Os Resíduos da Construção Civil - RCC representam um problema para os sistemas de limpeza pública nas cidades brasileiras, estima-se que os RCC representam cerca de 50% a 70% da massa dos resíduos sólidos urbanos gerados no Brasil (PNAD, Brasil, 2005b). Grande parte dos resíduos da construção são de baixa periculosidade, no entanto, geram um grande volume e sua disposição muitas vezes é realizada de forma irregular em locais inapropriados o que gera muitos inconvenientes, desde estéticos até da própria contaminação do solo e recursos hídricos.

A adoção de sistemas construtivos que geram o mínimo de resíduo tem sido uma busca constante nos países desenvolvidos, tanto no processo fabril do material de construção com a utilização de matérias primas renováveis, como em processos construtivos mais eficientes garantindo ainda, que ao final da vida útil da construção, grande parte dos materiais possa ser reutilizado ou reciclado.

Segundo estudo realizado pela Fundação Getúlio Vargas (FGV), em 2017 o déficit habitacional brasileiro atingiu o terceiro pior índice da história, cerca de 7,7 milhões de domicílios, e vem crescendo na zona urbana principalmente nas famílias de classe mais baixa. Esta é uma equação complexa de ser sanada, no entanto, é consenso entre os especialistas que adotar sistemas construtivos de baixo impacto é a melhor saída, considerando o elevado número de residências que precisam ser edificadas e o grande volume de resíduos que possivelmente serão gerados na construção destas moradias.

Segundo estudo de Estimativas do Déficit Habitacional brasileiro (PNAD 2007-2012), o déficit era em sua maioria urbano, na ordem de 85% do total, com 15% na área rural, sendo que, no ano de 2012 cerca de 742 mil famílias que habitavam a zona rural viviam em domicílios em condições precárias. Mesmo havendo uma tendência de redução deste déficit, principalmente nas áreas rurais, ainda há muito que avançar para a universalização da moradia em condições de habitação.

Grande parte dos materiais de construção passam por algum processo de queima em altas temperaturas durante sua fabricação, o cimento, cerâmica, aço alumínio, vidro, entre outros. As temperaturas geralmente são alcançadas com a utilização de combustíveis fósseis não renováveis, sendo o diesel, o carvão mineral e o carvão vegetal as principais fontes de calor. Um exemplo é o cimento, material de construção mais utilizado no mundo o qual é responsável por 5% das emissões de CO₂, tal como o aço que responde por 7 a 8% das emissões (Goldemberg, 2011).

Materiais de construção e sistemas construtivos conhecidos como "sustentáveis" tem sido estudados com maior frequência nas universidades pelo mundo e adotados em muitas edificações, especialmente aquelas que recebem certificações dos mais diversos tipos de "selos verdes" existentes atualmente. Materiais que em seu processo de fabricação utilizam prioritariamente matérias primas renováveis são cada vez mais utilizados em construções, onde podemos destacar a madeira, a terra e o bambu.

O bambu possui muitas características que o colocam como um material sustentável de grande importância para o suprimento do déficit habitacional no mundo. Além de possuir elevada resistência físico-mecânica, pode ser encontrado em grande parte do planeta. Uma touceira de bambu pode durar acima de 50 anos, produzindo anualmente colmos que podem ser destinados aos mais diversos usos, desde a alimentação até a construção civil, do paisagismo à medicina. Não necessita de replantios frequentes, o que evita o uso de insumos e equipamentos para seu plantio, como ocorre na maioria das espécies florestais.

É uma planta da família das gramíneas, tal como a cana-de-açúcar. São denominadas plantas "C4", plantas que armazenam em suas fibras o CO₂ liberado na atmosfera. O bambu tem a capacidade de reciclar 12 toneladas/hectare de CO₂ da atmosfera, produzindo 35% mais oxigênio do que as árvores na mesma situação, apresentando a maior taxa de crescimento entre os vegetais, em média com 1 ano, a partir do nascimento de um broto, o bambu atinge 70% do seu tamanho final (Oprins, 2006). Estima-se que a quantidade de carbono nos bambus seja da ordem de 40% a 45% da biomassa total (Maoyi, 2002).

Esta gramínea se adapta facilmente às condições ambientais e climáticas, ocorrendo em todo mundo, principalmente em regiões de clima subtropical ou tropical e, em alguns casos, em climas temperados. Por isso e por sua grande disponibilidade em diversos países, estima-se que mais de 1 bilhão de moradias em todo mundo utilizam o bambu em suas construções, na forma de estrutura, paredes, coberturas, entre outros usos (FAO, 2007)

Segundo Filgueiras (2015), a Lista das Espécies da Flora do Brasil cita 258 espécies de bambus nativos brasileiros, no entanto, são pouco utilizados em construções principalmente pelo fato dos bambus nativos não ser de fácil acesso para o consumo nos grandes centros. As principais espécies utilizadas em construções no Brasil são exóticas trazidas principalmente pelos portugueses e japoneses, dentre elas as mais utilizadas são os bambus das espécies *Dendrocalamus asper*, *Bambusa vulgaris* e os bambus do gênero *Phyllostachys*.

Construções com bambu utilizando espécies de bambus gigantes com diâmetros acima de 10 cm, como o *Dendrocalamus Asper* e o *Phyllostachys pubescens*, já são comuns no Brasil, pois, se assemelham às madeiras roliças comerciais disponíveis para construção, como o *Eucalyptos*. Além disso, a maioria dos construtores de bambu no Brasil utilizam a técnica construtiva colombiana, na qual o *Guadua angustifolia*, espécie também encontrada na região norte do Brasil, porém pouco explorada comercialmente, com diâmetros médios de 12 cm, é a mais utilizada nas construções na Colômbia. Por outro lado, as espécies de bambus de pequenos diâmetros como o *Bambusa tuldoides* e os *Phyllostachys aurea* são utilizados geralmente apenas para a confecção de móveis, cercas, entre outros usos não estruturais.

O *Bambusa tuldooides*, que segundo relatos de especialistas em bambu, ocorre em grande quantidade em todo o Brasil, especialmente nos estados de Minas Gerais, São Paulo e Rio de Janeiro, é muito pouco utilizado na construção de estruturas mesmo apresentando características físico-mecânicas apropriadas para este uso. A possibilidade de utilizar esta espécie na construção de sistemas estruturais se apresenta como uma alternativa importante e viável, porém, carente ainda de investigação científica a fim de possibilitar as melhores formas de plantio, colheita, tratamento preservativo e uso final.

Portanto, compreender todos os processos envolvidos na sua utilização e possibilitar seu uso na confecção de elementos estruturais pode significar uma nova opção de material de construção com caráter sustentável e de baixo custo.

Identificar um uso mais nobre para um material subutilizado, possibilitando seu acesso em todos os níveis de construção, desde pequenos galpões até residências, justifica o estudo mais aprofundado do *Bambusa tuldooides* a fim subsidiar o desenvolvimento de seu uso em estruturas temporárias e permanentes.

Deste modo, identificar estes processos, locais de ocorrência, formas de colheita, secagem e tratamento preservativo, características físico-mecânicas e possibilidades de usos de bambus de médios porte em estruturas são os primeiros passos para o desenvolvimento de um sistema construtivo que utilize o material que temos disponível no Brasil, no caso o *Bambusa tuldooides*.

A utilização do *Bambusa tuldooides* na pré-fabricação de sistemas de cobertura, pode também possibilitar a minimização de desperdício de materiais, reduzir o tempo de construção, padronizar o processo de fabricação e ainda reduzir os riscos de acidentes por trabalho em alturas e ainda as falhas de execução.

A proposta do estudo de treliças com feixes de *Bambusa tuldooides*, surgiu da pesquisa dos sistemas construtivos com bambu utilizados na Ásia, mais especificamente no Vietnã, onde a utilização dos treliças encontra-se consolidada, porém, sem informações específicas quanto ao dimensionamento destas estruturas, deste modo, a compreensão de todos os processos para a produção destes elementos utilizando o *Bambusa tuldooides* pode representar um novo campo de utilização deste material na construção de coberturas, residências, galpões entre outros tipos de edificações, possibilitando ainda, propostas de outros sistemas estruturais baseados neste conceito.

1.1 Lacuna e problema de Pesquisa

O bambu da espécie *Bambusa tuldooides*, abundante em diversas partes do Brasil, principalmente nos estados de Minas Gerais, Rio de Janeiro, São Paulo e Goiás, embora seja uma espécie que possui características físicas adequadas para a produção de estruturas, ainda é pouco estudado, aplicações práticas são raramente observadas e, quando existem, não são registradas. Deste modo, entender o material com uma visão técnica com foco na produção de estruturas possibilita a sua aplicação em escala, considerando sua abundância e baixo custo.

As perguntas principais da pesquisa são quais as condições para a utilização do *Bambusa tuldooides* para a produção de treliças pré-fabricadas baseadas em feixes, se as características físico-mecânicas desta espécie atendem às normas técnicas aplicáveis e se existe viabilidade técnica no processo de produção destas estruturas para uso na construção civil.

A hipótese principal é que a produção de treliças pré-fabricadas com o *Bambusa tuldooides* seja viável do ponto de vista técnico levando em consideração a sua alta resistência físico-mecânica a facilidade da produção deste elemento e o baixo custo do material.

1.2 Objetivos principal e secundários

O objetivo principal da pesquisa é compreender os processos que envolvem a utilização do *Bambusa tuldooides* na produção de treliças pré-fabricadas e propor uma solução de cobertura com este sistema

Para tanto, realizar uma pesquisa bibliográfica sobre os processos envolvidos na construção com bambu e especialmente com o *Bambusa tuldooides*, complementada por pesquisa de campo visitando obras com este tipo de solução estrutural, trará subsídios importantes para entender o seu funcionamento. Interpretar os resultados dos ensaios de investigação das propriedades físico mecânicos do bambu e das ligações que compõem a estrutura proposta possibilitará a análise estrutural das treliças a fim de verificar sua viabilidade técnica.

1.3 Estrutura do trabalho

Este trabalho está estruturado em; introdução, revisão da literatura, metodologia e resultados. Para que fosse possível investigar o uso de uma espécie de bambu exótico de grande ocorrência no Brasil para seu uso em sistemas pré-fabricados, primeiramente é apresentado uma revisão da literatura com informações sobre o uso do bambu como material construtivo. Ele auxilia no entendimento do tema considerando sistemas de feixes de bambu, tanto de pequenos quanto médios e grandes diâmetros. Para tanto, são abordados os aspectos gerais sobre a planta, o seu uso como material de construção, os sistemas construtivos que utilizam o bambu como material estrutural, a demanda por construções com este material, finalizando esta parte com um panorama geral sobre a pré-fabricação na construção civil.

São abordadas ainda questões sobre o dimensionamento de estruturas de bambu, identificando as normas técnicas nacionais e internacionais que possibilitam o dimensionamento de estruturas e métodos de análise estrutural que estão sendo utilizados para o dimensionamento de estruturas de bambu. Também apresentam-se aspectos específicos da espécie de bambu estudada, o *Bambusa tuldooides*, abordando questões sobre sua durabilidade, formas de se proceder à colheita e manejo, de estender a sua vida útil por meio de técnicas preservativas e secagem adequada além das características físico-mecânicas do material. Finalmente, apresenta-se um levantamento dos usos do *Bambusa tuldooides* em estrutura, tanto no Brasil como em outros países, bem como dados de estudos que abordam o uso de feixes de bambu, não excluindo bambus de médios e grandes diâmetros

A metodologia apresenta informações sobre os aspectos levantados no estudo de caso realizado no Vietnã, sobre estruturas de treliças com feixes de bambu de pequenos diâmetros, com a visita às obras e registro da experiência dos trabalhos em bambu dos escritórios de arquitetura vietnamitas Vo Trong Nghia Architects e Bambuild Architects, que desenvolvem o sistema construtivo com excelência.

A metodologia também compreende os métodos utilizados no processo de experimentação do *Bambusa tuldooides* para o uso em estruturas de treliças com feixes. Dessa forma, são descritos os métodos de ensaios para a determinação das propriedades físico-mecânicas do material. Os resultados destes ensaios são utilizados para propor um sistema de ligação baseado em pino de madeira e cordas de polipropileno. É apresentado o método para o ensaio de ruptura desse sistema de ligações para a determinação da sua resistência. De posse destas informações, o estudo realiza a análise estrutural e dimensionamento de um galpão baseado no sistema estrutural de treliças com feixes de *Bambusa tuldooides*.

Na sequência são apresentados os resultados e discussões sobre cada etapa do trabalho, abordando os resultados do Estudo de Caso no Vietnã, as avaliações físico-mecânicas do *Bambusa tuldooides* e das ligações propostas e, finalmente, dados do sistema estrutural projetado para pré-fabricação. As conclusões trazem algumas considerações gerais sobre o trabalho, novos desafios e recomendações de aprofundamentos de pesquisas sobre o tema.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Aspectos gerais sobre os bambus

O bambu é uma gramínea pertencente à divisão Angiospermae, classe das Monocotyledoneae e família Poaceae que se distribui por quase todas as regiões do planeta, sendo que os nativos crescem naturalmente em todos os continentes, exceto na Europa. Em todo o mundo existem em torno de 50 gêneros e 1.300 espécies de bambu divididos entre duas principais Tribos, os Herbáceos (Olyreae) e os Lenhosos (Bambuseae). No Brasil, Figueiras (2004) apontam a existência de 34 gêneros e 232 espécies de bambus nativos, dentre elas, 174 espécies são consideradas endêmicas), sendo 16 gêneros do tipo herbáceo (ornamental) e 18 do tipo lenhoso, portanto, são em sua maioria enquadradas na categoria de ornamentais. No Quadro 01 é possível observar algumas características que diferem os bambus herbáceos e lenhosos.

Quadro 1: Diferença entre bambus herbáceos e lenhosos

Características	Herbáceos	Lenhosos
1. Comprimento	Geralmente , 2 m	35 m
2. Ramificações	Simples	Complexas
3. Consistência do colmo	Não lignificado; facilmente quebrável entre dois dedos	Lenhoso (lignificado; inquebrável entre dois dedos)
4. Folha do colmo	Ausente	Presente
5. Lígula externa	Ausente	Presente
6. Flores	Unissexuais	Bissexuais
7. Florescimento	Contínuo (Policárpico)	Sazonal(monocárpico)
8. Exposição direta ao sol	Intolerante	Tolerante

Fonte: SPOLIDORO, P.J. 2008

Para o uso em construções abordaremos as espécies consideradas lenhosas por apresentarem características físicas indicadas para este uso. Dentre as espécies lenhosas mais utilizadas para a construção no Brasil podemos citar o *Dendrocalamus asper*, o *Phyllostachys pubescens*, o *Phyllostachys bambusoides* e o *Guadua angustifolia*. Na Figura 1 podemos observar a distribuição geográfica natural do Bambu lenhoso no mundo.



Figura 1: Distribuição de todos os bambus lenhosos (Bambuseae) no mundo
 Fonte: <https://www.eeob.iastate.edu/research/bamboo/maps.html> - 05/05/2018

Na Figura 2 podemos observar a morfologia externa que constitui os bambus de um modo geral, do ponto de vista do uso em construções podemos destacar as características físicas principais, diâmetro do colmo, comprimento do colmo, espessura de parede e comprimento do entrenó.

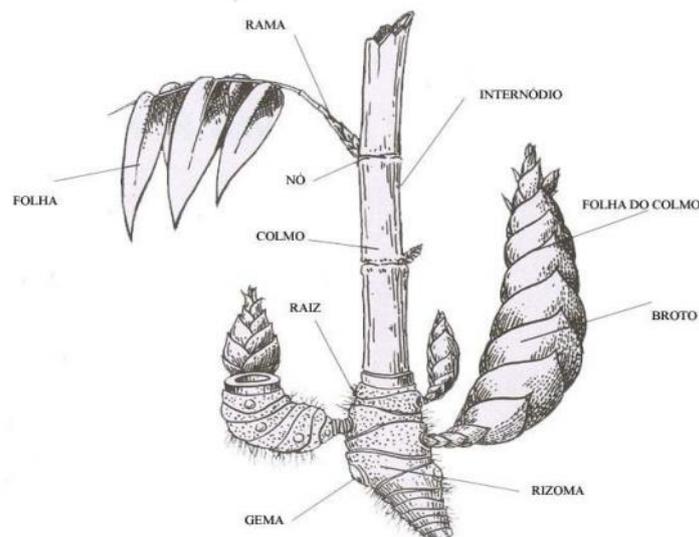


Figura 2: Morfologia externa dos bambus.
 Fonte: MANTILLA et al.(1995)

Os colmos nascem a partir dos rizomas e adquirem uma estabilidade no crescimento e no desenvolvimento das fibras a partir de 3 a 4 anos para a maioria das espécies quando já se encontra apropriado para o uso em construções. O Rizoma é basicamente um caule subterrâneo e desenvolve paralelamente na superfície do solo. Existem dois grupos distintos de bambus quanto ao tipo de rizoma: alastrantes (monopodiais) os entouceirantes (simpodiais). Alguns autores propõem o rizoma do tipo semi-entouceirante (anfipodial) o qual apresenta características dos citados anteriormente (Figura 3).

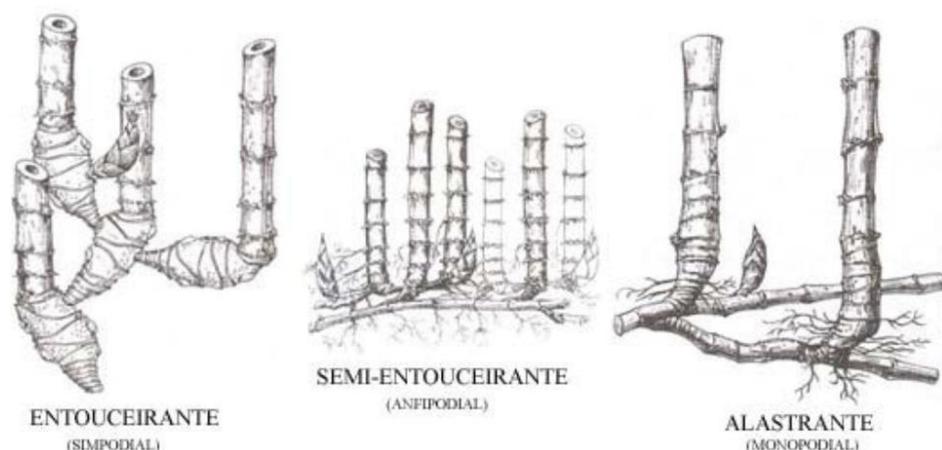


Figura 3: Tipos de rizomas
 Fonte: MANTILLA et al. (1995)

O colmo é constituído por células de parênquima, pelos feixes vasculares e pelos feixes de fibras, compreendendo cerca de 50% de parênquima, 40% de fibra e 10% de tecidos condutores. As fibras são as principais responsáveis pela resistência mecânica dos colmos, na direção transversal do interior do colmo à parte externa as fibras aumentam, na direção vertical a quantidade de fibras aumentam da base ao topo do colmo, e a quantidade de células de parênquima diminui, deste modo, as regiões da parte mais alta do colmo possui um alto conteúdo de fibras, com isso, são mais resistentes (Mantilla et al, 1995).

O bambu é um material ortotrópico e heterogêneo e apresenta comportamento elástico que difere de acordo com a orientação das fibras, Mantilla Carrasco et al. (1995), destacam ainda fatores como a espécie, características do solo, clima, altitude e idade do corte influenciam diretamente na resistência mecânica do bambu.

Os colmos do bambu na maioria das espécies lenhosas apresentam forma cilíndrica cônica e dispõem de uma sequência de entrenós ocos, separados por diafragmas que podem ser observados externamente como nós, de onde saem ramos e folhas. Para uso em construções com bambu roliço, os diafragmas conferem maior rigidez ao colmo, por esta razão suportam a movimentação devido a vento e ao próprio peso. Azzini et al. (1997) destacam ainda que a ocorrência de entrenós no bambu confere ao material ser uma obra prima da natureza, pois, possibilita que o bambu tenha resistência mecânica e flexibilidade. Alguns bambus podem atingir até 30 metros de comprimento de colmo e diâmetros acima de 30 cm como o *Dendrocalamus giganteus*.

2.2 Bambu como material de construção

Segundo a Food and Agriculture Organisation of the United Nations - FAO (2007), o bambu vem sendo utilizado em construções pelo mundo a mais de 7.000 anos e estima que atualmente mais de 1 bilhão de habitações no mundo possuem algum elemento em bambu em sua composição, seja em estruturas, coberturas, paredes ou pisos.

López (2003), em sua publicação "Bamboo, The Gift of The Gods-2003" considerada a "bíblia" do bambu para muitos pesquisadores e práticos, traz umas séries de experiência do uso do bambu em construções em diversas regiões do mundo, desde sua utilização na construção de casas até pontes para pedestres. (Figuras 4 a e 4b)



(4a)



(4b)

Figura 4 a: – Ponte de bambu sobre o “Tjipaït Tjitaroem Preanger” em 1893, West Java, Indonésia. Figura 4b:- Ponte de bambu em “Preanger Regencies” em 1902, West Java, Indonésia. Fonte: Autor desconhecido.

Do ponto de vista do uso do bambu em construções algumas características são importantes para a seleção de uma determinada espécie, o comprimento útil do colmo, o diâmetro externo, a espessura média da parede e a distância entre nós. O comprimento útil determina o tamanho das peças que poderá ser utilizado na estrutura, influenciando diretamente no projeto estrutural e até na arquitetura, lembrando sempre questões relativas ao transporte das varas. O diâmetro do colmo, influencia diretamente no resultados da arquitetura, nas formas, na possibilidade de curvar as varas, no tipo de ligação adotada, entre outros fatores. A espessura da parede tem relação direta na resistência do bambu, quanto menor a espessura de parede menor será sua resistência mecânica, e maior a possibilidade de ocorrer rachaduras, além de influenciar de forma significativa na estética da arquitetura.

2.3 Sistemas construtivos com bambu

Existem atualmente diversos tipos de sistemas construtivos utilizando o bambu como elemento estrutural principal, além da influência da cultura construtiva de cada país, os sistemas construtivos se diferenciam principalmente devido ao tipo de bambu disponível em cada local, pois, cada espécie pode apresentar diferentes características físicas, tais como, diâmetro do colmo, distância entre nós, comprimento útil, espessura de parede, além de diferentes maneiras de se executar as ligações, com amarras, parafusos ou pinos.

É possível identificar algumas características bem marcantes quando falamos de estilos de construção onde podemos destacar principalmente a "escola" ¹da América do Sul, da Índia, e do Sudeste Asiático, principalmente a Indonésia, o Vietnã e a Tailândia. Contudo, o que se assemelha em todos os sistemas construtivos é a preocupação com a proteção física do material, ou seja, pilares apoiados em sapatas que distanciam estes elementos do piso e coberturas com grandes beirais e balanços que protegem com eficiência a edificação, premissas essenciais para a durabilidade das construções com bambu.

Na escola Sul Americana, podemos destacar a Colômbia com principal responsável pela expansão do uso do bambu na arquitetura pelo mundo, os projetos consagrados do Arquiteto colombiano Simon Velez, utilizando o bambu da espécie *Guadua angustifolia* destacando para o Pabellón del Pensamiento², estrutura montada na cidade de Manizales, Colômbia (Figura 5), o qual serviu de vitrine para pessoas no muno interior pudessem observar uma construção com bambu de grande porte.



Figura 5: Pabellón del Pensamiento.

Fonte: Arq. Simon Velez

O sistema Construtivo Colombiano, que utiliza basicamente o bambu *Guadua angustifolia*, espécie com diâmetro médio de 13 cm, entrenós de 20 cm e comprimento útil de 12 metros, tem como características principais o sistema construtivo de pilar e viga e a ligação por parafusos e barras roscadas como podemos observar nas Figuras 6 e 7.

¹ Estilo arquitetônico ou estilo construtivo, neste caso, que se torna referência de uma região, ou país.

² Uma das maiores construções em bambu do mundo situada na cidade de Manizales, Colômbia, projetada pelo Arquiteto Simon Velez.

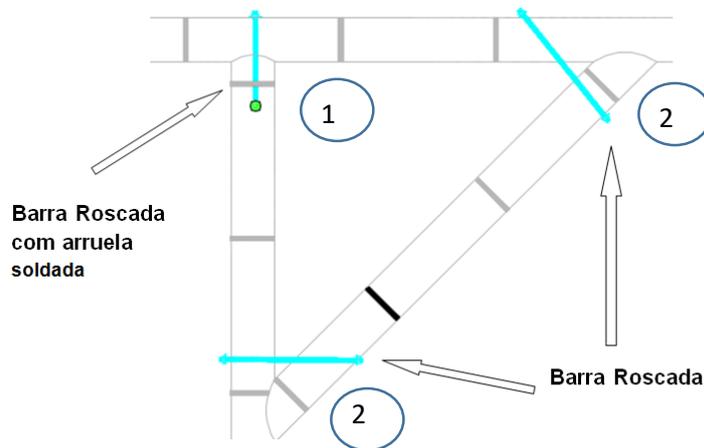


Figura 6: Sistema básico de ligação da "Escola" Colombiana
 (1) Boca de pescado; (2) Ligação em 45 graus

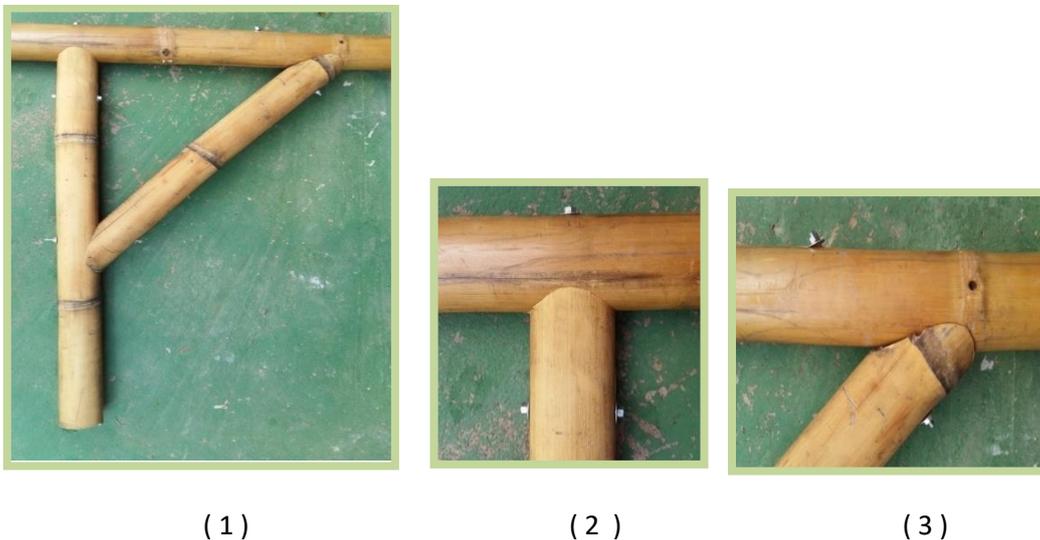


Figura 7: (1) Detalhes das ligações (2) Boca de pescado; (3) Ligação em 45 graus

Após o desenvolvimento da construção com bambu na Colômbia, países como o Peru, Equador, México e Costa Rica, que já utilizavam o bambu em construções rurais, iniciaram o seu uso na arquitetura seguindo a mesma tipologia construtiva da "Escola" Colombiana, uma vez que os bambus utilizados têm características similares ao utilizado na Colômbia.

No Brasil, a utilização do bambu na construção iniciou a partir das experiências da Colômbia, onde alguns profissionais como a arquiteta Celina LLerena no início dos anos 2000 visitou aquele país e as construções de Simon Velez trazendo a técnica lá utilizada iniciando a sua aplicação e a difusão deste conhecimento por meio de cursos de capacitação, portanto, utilizando também bambus de grandes diâmetros na construção, principalmente os bambus das espécies *Dendrocalamus asper* e *Phyllostachys pubescens*.



Figura 8: Construção executada com *Phylostachys pubescens*.

Fonte: Ebiobambu

Devido à grande diversidade de espécies exóticas trazidas para o Brasil em diferentes períodos, desde o Colonial, principalmente no século XVII até a imigração japonesa ao longo do século XX, a possibilidade de se construir com diferentes espécies com diferentes características físicas fez com que a construção com o material se desenvolvesse de forma mais diversificada o que pode ser observado nas construções do mestre Lucio Ventania, utilizando intensivamente o *Phylostachys Aurea*, bambu de pequeno diâmetro muito utilizado na fabricação de elementos decorativos.



Figura 9: Construção de viveiro com a espécie *Phylostachys aurea*.

Fonte: CERbambu (<https://www.cerbambu.org.br/>) 02/04/2019

Na Índia, a cultura do bambu é milenar, no entanto, sua utilização em construções é restrita em zonas rurais uma das construções mais importantes não exatamente na Índia, mas logo ao lado, em Bangladesh é o edifício escolar situada em Rudrapur (Figura 10), uma construção com cobertura executada com bambus de médio diâmetro, ligações em amarras e pinos de bambu, sobre uma estrutura de terra.



Figura 10: Escola em Rudrapur/Bangladesh.

Fonte: Anna Heringer, Eike Roswag

Olhando mais para a Ásia, podemos observar uma variedade de sistemas estruturais com formas mais orgânicas, onde a disponibilidade de espécies naquela região responde por mais 70% de todas as espécies catalogadas em todo o mundo, com diferentes características físicas, diâmetros e comprimentos variados e até tonalidades diferentes como o Black bamboo (*Bambusa lako*) encontrado principalmente na indonésia.



Figura 11: Black bamboo, *Bambusa lako*, Black Timor.

Fonte: Do autor

Na ilha de Bali, indonésia, a utilização de bambus de diversos diâmetros representa grande parte das construções recentes. Ligações com nós e amarras e fixação com pinos de bambu são as principais características das construções naquele local, impulsionada

principalmente pela construção da Green School, escola internacional localizada em Ubud, Bali, totalmente construída com bambu, estrutura, pisos, vedações e mobiliários.



Figura 12: Parte da estrutura principal da Green School.

Fonte: IBUKU

Em Chiang Mai, ao norte da Tailândia, está localizada uma empresa chamada Chiang Mai Life Construction, que desenvolve e constrói estruturas em bambu utilizando diversas espécies, além de ripas e coberturas utilizando o próprio bambu na forma de esteiras, sendo a sua obra mais importante a escola situada no mesmo local, conhecida como Payden International School (Figura 13), referência para construtores de bambu de todo o mundo.



Figura 13: Payden School, Chiang Mai, Tailândia:

Fonte: Chiang Mail Life Construction

O sistema construtivo que mais difere dos citados anteriormente é também o sistema mais utilizado no Vietnã. É baseado em sistemas treliçados construídos com feixes de bambus de pequenos diâmetros. Desenvolvido pelo arquiteto Vo Trong Nghia, é aplicado principalmente na arquitetura de alto padrão, resorts, centros comunitários de condomínios de luxo e restaurantes, como o construído na província de Hoa Bing (Figura 14), difere totalmente dos sistemas construtivos mencionados, que por sua vez é objeto deste estudo e será detalhado

nos resultados, onde o autor descreve o sistema construtivo por meio de estudo de campo realizado.



Figura 14: Serena Restaurante, distrito de Kim Boi, Hoa Bing, Vietnã. Arq. Bambuild.

Fonte: Do autor

2.4 Demanda por construções com bambu

Embora o bambu tenha sido utilizado ao longo dos tempos em construções por todo mundo, este uso foi sempre associado à construções de baixa qualidade e instalações provisórias. O baixo custo do material devido a sua grande disponibilidade em diversos países tropicais possibilitou seu uso nas comunidades rurais com custo praticamente somente de mão de obra.

Com a ampliação do uso do bambu em uma arquitetura mais elaborada, com a construções de casas, resorts, hotéis de luxo e restaurantes, criou-se uma imagem de que construir com este material pode ter um custo muito elevado, no entanto, principalmente em países onde a disponibilidade do bambu e a cultura em torno dele é bem desenvolvida, como na Ásia, trata-se de uma construção acessível a todas as classes sociais.

No Brasil, não existe ainda uma cadeia produtiva que oferece colmos de bambu tratados próprios para a construção com exceção de alguns poucos fornecedores isolados, não se compra bambu tratado em lojas de material de construção assim como a madeira, cimento ou tijolo, por isso, existem duas formas básicas de se construir com bambu no país, quando a própria pessoa colhe, trata e executa, ou quando se contrata uma empreiteira para realizar a obra, sendo que esta última o custo da construção é bem maior.

Embora seja possível observar diversas iniciativas de arquitetos, engenheiros e construtores executando construções em bambu, o conhecimento sobre este tipo de construção no Brasil ainda é restrito, são poucas as faculdades de arquitetura e engenharia que abordam o uso deste material em construções, portanto, acredita-se que existe ainda um mercado reprimido, que aos poucos despertará e descobrirá as inigualáveis possibilidades construtivas do bambu.

2.5 Sistemas pré-fabricados

O presente estudo propõe um sistema estrutural baseado em treliças com feixes de *Bambusa tuldoides*, no qual seja possível que as treliças sejam pré-fabricadas e montadas posteriormente com o auxílio de equipamentos de movimentação de carga, trazendo agilidade na montagem, controle no processo de produção, redução de resíduos e qualidade para o trabalhador.

Arnold Van Acker (2002) destaca que a forma mais eficiente de industrializar o setor da construção civil é a realização do trabalho em fábricas o que possibilita processos de produção eficientes e racionais, trabalhadores mais qualificados para cada atividade, qualidade do produto, melhoria nas condições de trabalho, entre outros benefícios. Franco (1992) ressalta que a industrialização e a racionalização estão diretamente interligadas pois a pré-fabricação em indústrias melhora o nível de organização dos processos, e permite a implementação de inovações tecnológicas, métodos de trabalho, controle e planejamento.

A norma técnica NBR 9062(2017), que rege sobre projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado, define que o elemento pré-fabricado é o elemento executado industrialmente, mesmo em instalações temporárias em canteiros de obra, sob condições rigorosas de controle de qualidade.

Segundo Ordonéz (1974) a história da pré-fabricação deu início efetivamente no período pós Segunda Guerra Mundial, principalmente na Europa, iniciando o processo de industrialização na construção com a utilização intensiva do pré-fabricado em função da necessidade de se construir em grande escala devido à grande carência por habitações, uma vez que muitas foram destruídas durante este período.

Revel (1973) destaca que a pré-fabricação se aplica a toda fabricação de elementos de construção civil em indústrias, utilizando matérias primas outros produtos industrializados cuidadosamente escolhidos e utilizados, que posteriormente são transportados para o canteiro de obra onde ocorre a montagem da edificação.

No Brasil, a primeira grande obra executada com o uso da pré-fabricação foi em 1926 no Rio de Janeiro na construção do hipódromo da Gávea, no Rio de Janeiro Vasconcelos (2002). No final da década de 50, João Filgueiras Lima, o Lelé, inicia os trabalhos de pré-fabricação devido à necessidade de construir alojamentos temporários para a construção da nova capital do Brasil, para tanto, cria canteiros para a produção dos elementos e acelerar o processo (Lima, 2004). Pouco depois Lelé foi convidado por Darcy Ribeiro para trabalhar no Centro de Planejamento da Universidade de Brasília (CEPLAN) – UNB, onde seria criado um grande centro de construção industrializada. Lelé participou da construção de diversas obras baseadas na pré-fabricação, edifícios universitários na UNB, prédios de própria universidade, o hospital de Taguatinga, entre outros.

A pré-fabricação de sistemas construtivos traz uma série de vantagens para a cadeia da construção civil, controle de qualidade, rapidez na montagem, redução significativa na perda de materiais, controle do resíduo gerado, otimização do canteiro de obras com uma melhor organização e limpeza, maior controle dos custos envolvidos e melhores condições de trabalho aos profissionais. Já as desvantagens, embora poucas, ainda existem, principalmente o custo quando consideramos os impostos de industrialização e a necessidade de reforços das peças devido as operações de movimentação.

Praticamente todos os sistemas construtivos estruturais são passíveis de serem pré-fabricados, preferencialmente aqueles que podem ter suas medidas precisas, geralmente na casa do milímetro, tais como, estruturas metálicas, concreto armado e estruturas em madeira. O bambu roliço apresenta características que dificultam seu uso em sistemas pré-fabricados, principalmente a sua grande variação dimensional, deste modo, a industrialização de pré-fabricados que utilizam o bambu roliço requerem cuidados especiais para garantir que na montagem os elementos se encaixem perfeitamente.

A variação dimensional do bambu roliço é uma questão a se resolver quando se deseja desenvolver elementos pré-fabricados, no entanto, é possível citar experiências de sucesso na pré-fabricação de casas e estruturas de grandes vãos. No Hawaii, a bamboo Living é referência mundial na pré-fabricação de residências de alto padrão com uso de bambu roliço e elementos industrializados como placas cimentícias, drywall e coberturas Shingle (Figura 15 e 16). (<https://bambooliving.com/>)



Figura 15: Detalhe dos painéis pré-fabricados da BambooLiving

Fonte: (<https://bambooliving.com/>)



Figura 16: Residência pré-fabricada executada pela Bambooliving.

Fonte: (<https://bambooliving.com/>)

No Brasil, a Domebambu Estruturas³ produz e realiza montagens de estruturas em bambu pré-fabricadas para eventos utilizando o bambu roliço como elemento principal com ligações em chapas de aço carbono e coberturas em membrana PVC, sendo capaz de atingir precisão nas peças, possibilitando diversas montagens e desmontagens de cada estrutura produzida. São geralmente domos geodésicos formados por triangulações que favorecem a estabilização da cobertura (Figura 17).



Figura 17: Domo geodésico pré-fabricado

Fonte: Do autor

³ A Domebambu Estruturas é uma empresa que fabrica, vende e realiza a locação elementos pré-fabricados em bambu, é referência mundial na produção de domos geodésicos em bambu e membrana – www.domebambu.com.br

2.6 Dimensionamento de estruturas de bambu

2.6.1 Normas técnicas existentes

No Brasil não existem normas técnicas para o dimensionamento estrutural utilizando colmos de bambu roliço, no entanto, está sendo discutida a Norma Brasileira que tem como base a norma ISO 22156:2004 - Bamboo – Structural design. Outras Normas internacionais são utilizadas mundialmente por diversos calculistas para o dimensionamento deste tipo de estrutura, dentre elas podemos citar:

NSR-10: Colombian code for seismically resistant construction, seção G12: Structures of timber and *Guadua angustifolia* Kunth bamboo.

NEC – SE – GUADUA – Estruturas de Guadua, a norma técnica equatoriana trata exclusivamente do bambu da espécie *Guadua angustifolia* e apresenta metodologia de dimensionamento similar a norma Colombiana onde utiliza o método das tensões admissíveis.

NORMA TÉCNICA E. 100 BAMBÚ – Norma técnica Peruana, esta norma assim como a Colombiana e a Equatoriana trata apenas do bambu da espécie *Guadua angustifolia* e apresenta metodologia similar por tensões admissíveis.

CED 13(7702) - Structural Design using Bamboo - Code of Practice – Norma técnica Indiana.

NBR 7190/97 - Projeto de Estruturas de Madeira.

2.6.2 Métodos de análise estrutural

O bambu apresenta características muito similares as da madeira, por isso, os métodos de dimensionamento e normas técnicas existentes têm como base normas de dimensionamento de estruturas de madeira. Algumas das normas técnicas para projeto de estruturas em bambu existentes utilizam como base o método das tensões admissíveis (Quadro 2), este método determinístico considera que os esforços podem ser analiticamente determinados admitindo-se um comportamento elástico linear, dado um modelo que considerava elementos resistentes suficientemente simples.

Atualmente a maioria das normas técnicas, estruturas de concreto, de madeira e de aço, utilizam o método dos estados limites, neste método probabilístico é estipulado um limite de carregamento acima do qual a estrutura não poderá ser utilizada, se o limite for ultrapassado e a estrutura for considerada insegura é caracterizado um estado limite último. Se acima de um dado limite, não for possível o uso da estrutura, mesmo ela não sendo considerada insegura, este é o estado limite de serviço (Zagottis, 1974). Algumas normas internacionais utilizam este método (Quadro 2) mesmo que ainda não existam muitos estudos e registros de projetos e construções com bambu que possibilitem de forma probabilística utilizar este método.

Quadro 2: Normas técnicas internacionais de projeto de estrutura em bambu e o método de dimensionamento utilizado.

Norma	Origem	Método de dimensionamento
NSR-10: Colombian code for seismically resistant construction, seção G12: Structures of timber and Guadua angustifolia Kunth bamboo.	Colombia	Tensões Admissíveis
NEC – SE – GUADUA – Estruturas de Guadua,	Equador	Tensões Admissíveis
NORMA TÉCNICA E. 100 BAMBÚ – Norma técnica Peruana	Perú	Tensões Admissíveis
CED 13(7702) - Structural Design using Bamboo - Code of Practice – Norma técnica Indiana	India	Tensões Admissíveis
ISO 22156:2004 Bamboo – Structural design	Internacional	Estados Limites

Marçal (2018) traz uma análise comparativa das normas técnicas internacionais disponíveis destacando suas semelhanças e diferenças, com o objetivo de auxiliar projetistas a selecionar a norma que melhor se adapte às condições locais, como por exemplo a disponibilidade de material na região onde a construção será edificada. Marçal (2018) destaca a necessidade de disponibilizar as normas e os conhecimentos a fim de ampliar o uso do bambu roliço na construção de estruturas prediais.

Kaminski (2017), propõe um método de dimensionamento baseado em normas internacionais, tais como a ISO 22156 (2004) Bamboo – Structural design, ISO 22157-1 (2005) Bamboo – Determination of physical and mechanical properties, NSR-10: Colombian code for seismically resistant construction. G12: Structures of timber and Guadua angustifolia Kunth bamboo (2010), BS 5268-2:1996 Structural use of timber and BS EN 1995-1-1:2004 Eurocode 5: Design of timber structures. Embora grande parte destas normas utilizem o método das tensões admissíveis para o dimensionamento de estruturas, Kaminski propões o método dos estados limites.

2.7 Aspectos gerais sobre o *Bambusa tuldooides*

Serão apresentadas as características principais do *Bambusa tuldooides*, e os processos que deverão ser estudados para que seu uso na construção de estruturas possa ser da forma mais eficiente possível, garantindo a durabilidade e segurança necessárias para o atendimento às normas técnicas vigentes. É importante destacar que os bambus lenhosos em geral apresentam características físicas e mecânicas semelhantes, portanto, os processos descritos a seguir, quando não especificamente sobre o *Bambusa tuldooides*, podem ser aplicados à esta espécie obtendo resultados semelhantes.

2.7.1 Características gerais do *Bambusa tuldooides*

Segundo Guerreiro (2010), o *Bambusa tuldooides* é uma espécie endêmica da China e é amplamente cultivado em todo mundo e foi trazido para a América do Sul no início do século XX pelos imigrantes portugueses. É uma espécie do tipo entouceirante, ou seja, quando plantado permanece em moitas, portanto, não se alastra. Possui colmos de até 12 metros de altura, diâmetros entre 3 e 6 cm e entrenós de até 40 cm (Figura 18 e 19).



Figura 18: Touceira do *Bambusa tuldooides*.

Fonte: do autor



Figura 19: Detalhe da seção do *Bambusa tuldooides*.

Fonte: do autor

Guerreiro (2010), ressaltam que em algumas espécies de bambu ocorre o florescimento gregário, sendo que alguns deles morrem logo após o florescimento. O florescimento do *Bambusa tuldooides* ocorre a cada 23 anos, porém, os registros encontrados apontam que esta espécie permanece saudável após o florescimento.

Não há estudos de mapeamento da ocorrência do *Bambusa tuldooides* desenvolvidos no Brasil, no entanto, a experiência do autor e relatos de profissionais envolvidos com a aplicação destas espécies confirmam a sua ocorrência em praticamente todos os estados brasileiros, principalmente nos estados de Minas Gerais, São Paulo e Rio de Janeiro.

2.7.2 Durabilidade

Os bambus em geral são plantas que naturalmente após serem colhidas iniciam processos de degradação por ação de fungos, insetos e bactérias, para tanto, é necessário realizar um tratamento preservativo para evitar essa degradação logo após sua colheita, favorecendo assim, o prolongamento da vida útil da construção.

Os principais agentes que degradam os bambus são os fungos e os insetos xilófagos. Os fungos se desenvolvem em condições adequadas de temperatura, umidade e a presença de oxigênio e do ponto de vista de danos causados ao material podem ser divididos em fungos de superfície, fungos manchadores e fungos apodrecedores. Os fungos de superfície não afetam a estrutura do colmo, somente ocorrem manchas nas paredes sem comprometer a resistência física do material, já os fungos manchadores causam pequenos danos pois penetram na parede do bambu podendo ocasionar descolamento da parede. Os fungos apodrecedores são os mais preocupantes, pois atacam de forma drástica o bambu reduzindo significativamente sua resistência mecânica. (Training Manual 05, 07/06 Preservation of Bamboo,2006)

Para que os fungos possam se desenvolver nos bambus é necessário que três fatores sejam atendidos, a presença de oxigênio, os fungos de apodrecimento precisam de oxigênio para respirar, alguns fungos, no entanto, podem existir mesmo com baixos níveis de oxigênio associados a altos níveis de umidade. Teor de umidade: Os fungos se reproduzem em ambientes úmidos a um nível de umidade entre 40 a 80% é ideal para seu desenvolvimento de forma rápida, deste modo, bambus com umidade abaixo de 20% impossibilita o desenvolvimento dos fungos. A temperatura é também um fator importante, sendo que entre 25° C e 35° C é ideal para o crescimento. (Training Manual 05, 07/06 Preservation of Bamboo,2006)

Os besouros e cupins são os insetos que mais ocorrem no bambu. Ocorrem em qualquer situação sem necessitar de alguma condição específica. No entanto, em zonas tropicais quentes e úmidas as condições climáticas favorecem o ataque destes insetos. Durante o ciclo de vida do inseto, ovo, larva (lagarta), pupa e adultos, ocorre a destruição da parede do bambu, as larvas penetram as paredes destruindo o tecido por ação mecânica e química. As partículas são digeridas no intestino das larvas e o resíduo é liberado na extremidade traseira. Os filhotes de larva e finalmente o besouro adulto saem do colmo de bambu deixando orifícios de saída na superfície e podem consumir todo o colmo de bambu deixando apenas uma fina camada externa ao sair. As Larvas de besouros estão em busca do amido e açúcares nas células do parênquima no colmo e a intensidade do ataque dependerá da quantidade de amido disponível. Geralmente os colmos colhidos na estação chuvosa ou durante a brotação são mais propensos a serem atacados (Training Manual 05, 07/06 Preservation of Bamboo,2006). Os insetos mais comuns no Brasil são o *Dinoderus minutus* e o *Chlorofhorus annularis* conhecido como Tigre do bambu (Figura 20).



Figura 20: *Dinoderus minutus* (esquerda) e *Chlorofhorus annularis* (direita).

Existem diversas formas de realizar a preservação dos colmos, Kaminski (2016) indica que com tratamento adequado o bambu pode ter uma vida útil superior a 30 anos. Kaminski ressalta ainda, que são necessários medidas de projeto para a longevidade do material, proteção física de chuva dirigida e raios UV, ou seja, boas coberturas e proteção de umidade por capilaridade, no caso, eliminar o contato dos apoios com o solo.

2.7.3 Colheita

A colheita do *Bambusa tuldooides* é similar aos bambus entouceirantes, com o uso de um arco de serra simples é possível realizar o corte dos colmos maduros. Na maioria das espécies de bambus utilizados na produção de estruturas, os colmos atingem a resistência adequada a partir do terceiro ano após a brotação. É possível observar na Tabela 01 que a densidade da espécie *Phyllostachys pubescens*, característica diretamente relacionada à resistência do colmo, sobe significativamente ao longo dos três primeiros anos, depois se estabiliza até iniciar um decréscimo a partir do oitavo ano. Por esta razão o bambu é colhido a partir do terceiro ano, pois já possui resistência suficiente para o uso em construções.

Tabela 1: Relação entre a massa específica aparente (g/cm³) e ano da colheita do bambu da espécie *Phyllostachys pubescens*.

Idade (ano)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>Phyllostachys pubescens</i>	0,43	0,56	0,61	0,63	0,62	0,63	0,62	0,66	0,61	0,61

Fonte: CBRC,2001

2.7.4 Métodos preservativos

A publicação do Internacional Network for Bamboo and Rattan- INBAR, (2003) conduzido por Jorge Moran traz uma série de processos para a preservação do bambu *Guadua angustifolia*, espécie que ocorre em diversos países da América Latina, os processos descritos são os métodos utilizados pela população rural a centenas de anos, tais como, o tanino de espécies florestais, imersão em água, aguardente, proteção com cal, com fumaça, recobrimento com hidróxido de cálcio, entre outros, porém, em todos eles Moran destaca que não são totalmente eficazes, portanto, não recomendável para construções de longa duração

Colli (2006), avaliou alguns produtos para o tratamento do *Bambusa tuldooides* Munro para a imunização contra a ação de fungos e insetos xilófagos. Foi utilizado para ensaios laboratoriais uma composição de ácido bórico a 5% e tanino a 1,2%, alcançando resultados satisfatórios, para ensaios de campo uma composição de borato de cobre cromatado obteve melhor desempenho.

A utilização do ácido bórico e bórax na proporção 1:1,5 também é citada na norma indiana IS 9096 (2006) - Code of practice for preservation of bamboo for structural purposes (first revision), onde é recomendada a imersão em tanque ou embebedamento do colmo com o produto preservante, porém, a norma não menciona o tempo que o produto deve estar em contato com as varas.

A norma NEC (2017), traz uma recomendação para o tratamento dos colmos por imersão em tanque com ácido bórico e bórax na proporção de 2 kg de cada produto para 100 litros de água, e ressalta ainda que a solução deve ser mantida em temperatura média de 50°C a 80 °C, neste caso recomenda-se a imersão por pelo menos 6 horas, no caso da solução em temperatura ambiente o tratamento deve ocorrer por no mínimo 5 dias. Os colmos devem apresentar ainda, umidade média entre 30% para serem submetidos a imersão. A Norma descreve ainda dois métodos por pressão, o boucherie e o difusão vertical utilizando a mesmo produto e concentração citados anteriormente.

2.7.5 Secagem

O processo de secagem do bambu é de fundamental importância para garantir a qualidade do material pois interfere diretamente na redução do peso para o transporte, na estabilidade dimensional, na resistência físico mecânica, na resistência ao ataque dos fungos e insetos xilófagos e no surgimento de trincas e fissuras.

A Tabela 02 apresenta uma pesquisa realizada por Lopes (2003) para identificar as porcentagens de umidade de duas espécies de bambus gigantes logo após colheita (Umidade de saturação) e após secagem ao ar que ocorre em 12 semanas em média, assim como as retrações do material após este processo de secagem.

Tabela 2: Resultados médios de umidade (seco ao ar livre) e retrações totais de três espécies de bambus gigantes.

Espécie	Região do colmo	Umidade de Saturação (%)	Umidade seco ao ar (%)	Retração radial (%)	Retração tangencial (%)	Retração Longitudinal (%)
<i>Guadua angustifolia</i>	base	73,36	16,88	-5,52	-8,75	-1,77
	meio	71,82	15,87	-8,82	-8,14	-0,88
	ponta	57,71	14,09	-7,47	-5,43	-0,84
<i>Dendroca lamus asper</i>	base	56,96	13,45	-5,29	-5,73	-0,19
	meio	37,59	13,17	-5,13	-5,23	-0,26
	ponta	34,78	15,56	-6,65	-5,46	-0,15

Fonte: Lopes (2003)

2.7.6 Características físico-mecânicas

Colli (2006) analisou algumas das propriedades físico mecânicas do *Bambusa tuldoides*, massa específica básica - Meb, massa específica básica a 12% de umidade - Me12%, contração volumétrica - CVP e contração volumétrica total - CVT, obtendo resultados significativos de massa específica a 12% de umidade que colocam esta espécie na condição de densidade similar as madeiras de alta densidade.

Os resultados apresentam uma maior densidade na região apical e sem o nó, ou seja, valores crescentes em direção ao ápice, o que indica a maior quantidade de fibras por área de seção na parte apical. Colli (2006) analisou também esta característica na região com nó e sem o nó, observando uma maior densidade na região do internó, pelo fato da melhor orientação axial das fibras nesta região, e na região dos nós a presença de maior quantidade de células

parenquimatosas, células não estruturais, conferem a esta região menor resistência mecânica (Tabela 03).

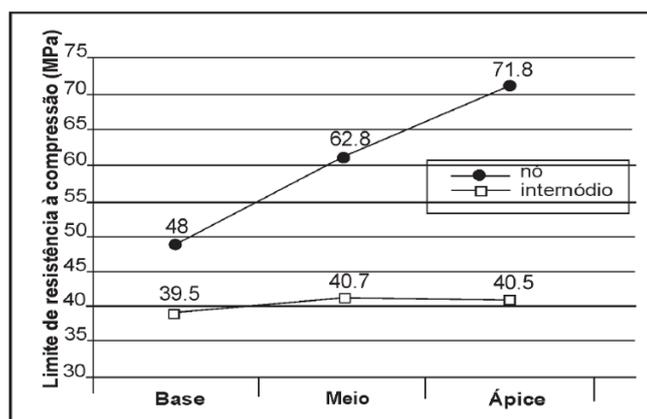
Tabela 3: Valores médios das propriedades físicas de *Bambusa tuldoides*, em função da posição e local de retirada das amostras

Posição	Região	Meb kg/m ³	Me12% kg/m ³	CVP %	CVT %
Base	nó	532	763	19,9	28,6
meio	nó	506	715	18,9	26,5
ápice	nó	473	713	23,7	28,7
Média		504	730	20,8	27,9
Base	internódio	458	617	16,1	21,1
meio	internódio	537	730	16,9	22,5
ápice	internódio	608	733	19,1	23,6
Média		534	693	17,4	22,4

Onde: Meb: massa específica básica; Me12%: massa específica a 12% de umidade; CVP: contração volumétrica parcial; CVT: contração volumétrica total. Fonte: Colli et al (2006)

Colli (2006), investigou os limites de resistência à compressão nas três partes principais do colmo, base, meio e ápice, ou seja, cada segmento representa 1/3 da altura total do colmo. Os resultados demonstram uma alta resistência a compressão do material, chegando próximo a 72 MPa na região apical sem o nó, valores próximos de muitas das espécies folhosas tropicais utilizadas na construção de estruturas (Gráfico 1).

Gráfico 1: Valores médios do limite de resistência à compressão paralela às fibras da base, meio e ápice dos colmos, provenientes dos nós e internódios do *Bambusa tuldoides*.



Fonte: Colli et al (2006)

A Tabela 4 apresenta a análise do Modulo de Elasticidade a Compressão paralela às fibras - MOE do *Bambusa tuldoides* com valores médio na ordem 23.887 MPa, valor bem superior aos encontrados para madeiras de folhosas e coníferas utilizadas na construção (Colli, 2006).

Tabela 4: Valores médios de módulo de elasticidade na compressão (MOE) e da relação MOE/Me12% do *Bambusa tuldooides*

Colmo	MOE (MPa)	MOE/Me12%
1	26.047	33,63
2	23.807	30,14
3	25.499	30,00
4	26.359	35,15
5	21.778	32,50
6	19.832	27,54
Média	23.887	31,49

Onde: MOE é o módulo de elasticidade à compressão de amostras sem a presença de nós; Me12% é a massa específica a 12% de umidade. Fonte: Colli et al (2006)

Estes estudos comprovam a elevada resistência do material proposto, no entanto, ensaios complementares para a obtenção de valores de tensão de flexão, Módulo de elasticidade a flexão, tensão de cisalhamento paralelo e perpendicular às fibras e compressão perpendicular às fibras devem ser realizados para se obter parâmetros para o dimensionamento segundo normas específicas.

Ghavami (1992), realizaram ensaios mecânicos com o *Bambusa tuldooides* encontrados na região do estado do Rio de Janeiro, encontrando resistências na ordem de 119 MPa para tensão de tração axial, 38 MPa de tensão de compressão paralela às fibras e 3.000 MPa de módulo de elasticidade na compressão paralela às fibras. Ghavami (1992) encontraram também valores de 54,5 Mpa para tensões de cisalhamento paralelo às fibras e 99,6 Mpa para Módulo de Ruptura à flexão estática (quadro 03).

Quadro 3: Propriedade de alguns bambus estudados na PUC RJ. Fonte: Ghavami (1992)

Espécie	Tração (MPa)		E _t (GPa)		Compressão (MPa)		E _c (GPa)		Cisalhamento (MPa)		Flexão (MPa)		
	C/nó	S/nó	C/nó	S/nó	C/nó	S/nó	C/nó	S/nó	C/nó	S/nó	C/nó	S/nó	
<i>Bambusa multiplex</i> Reaush (RJ)*	Base	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Interm	95,3	124,7	10,04	12,10	27,20	35,70	2,79	3,30	-	62,0 ^a	71	98,3
	Topo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Média	95,3	124,7	10,04	12,10	27,20	35,70	2,79	3,30	-	62,0 ^a	71	98,3
<i>Bambusa multiplex Disticha</i> (RJ)*	Base	68,80	98,00	11,11	14,08	20,60	30,00	3,05	4,15	-	49,0 ^a	57,0	78,0
	Interm	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Topo	79,8	108,4	11,95	14,92	20,00	26,50	3,54	4,27	-	57,0 ^a	63,0	83,6
	Média	74,30	103,2	11,53	14,50	20,30	28,25	3,29	4,21	-	53,0 ^a	60,0	80,8
<i>Bambusa tuldoide</i> (RJ)*	Base	112,0	140,5	9,99	12,66	30,20	37,80	2,97	3,24	-	50,0 ^a	94,0	115,2
	Interm	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Topo	95,80	98,00	8,55	11,19	30,00	38,3	2,83	2,78	-	59,0 ^a	79,0	84,0
	Média	103,9	119,2	9,27	11,92	30,10	38,05	2,90	3,01	-	54,5 ^a	86,5	99,6

2.8 Uso do *Bambusa tuldoides* em estruturas

Alguns poucos estudos são encontrados no Brasil relacionados ao uso do *Bambusa tuldoides* em estruturas, dentre eles um material publicado pela Secretaria de Estado do Meio Ambiente - SEMA/PR, Federação dos Trabalhadores na Agricultura do Estado do Paraná FETAEP e o Serviço Nacional de Aprendizagem Rural - SENAR em 2009 cujo conteúdo é um manual para a construção de uma estufa para uso agrícola onde é utilizado esta espécie para a formação da cobertura em arco (Figura 21). Neste manual não é apresentado ensaios de resistência físico mecânica, nem tão pouco, a análise estrutural do sistema.



Figura 21: Estufa Ecológica modelo SENAR-Paraná.
Fonte: Estufa Ecológica, SEMA-FETAEP-SENAR, Paraná 2009

Lana (2016) estudou uma treliça (Figura 22) utilizando o *Bambusa tuldoides* como elemento principal com um tipo de ligação utilizando biocompósitos constituída de tecido de algodão alvejado de sacaria saturado, com resina poliuretana monocomponente à base de mamona, para tanto, realizou ensaios de tração paralela às fibras e compressão paralela às fibras de amostras do *Bambusa tuldoides* alcançando resultados médios na ordem de 5,35 MPa e 4,86 Mpa respectivamente.



Figura 22: Detalhe da treliça estudada por Lana (2016)

Lana (2016), destaca ainda que as ligações com biocompósitos possibilitaram uma maior resistência se comparado a utilização de barras metálicas nas ligações, pois, caso as uniões tivessem sido executadas a partir de furos e instalações de barras os colmos romperiam por cisalhamento paralelos às fibras, e no caso da ligação por biocompósito, é garantida uma distribuição maior das cargas axiais nas paredes do bambu.

Wellington (2007), avaliou a possibilidade do uso do *Bambusa tuldooides* em estruturas para casas vegetativas, avaliando as deformações de um sistema estrutural de cobertura composto por peças compostas com espaçadores (Figura 23), para tanto foram realizados ensaios de carregamento nas treliças para verificação de possíveis deformações determinando assim uma distância ótima entre treliças de 2,5 metros (Figura 24).



Figura 23: Detalhe da seção da peça composta de bambu.
Fonte: Wellington (2007)



Figura 24 Estufa Ecológica modelo SENAR –Paraná.
Fonte: Wellington (2007)

2.9 Sistemas Estruturais com Feixes de Bambu

Neste item são apresentados sistemas construtivos que utilizam bambus para a fabricação de estruturas em feixes a fim de embasar a proposta de utilização do *Bambusa tuldoides* na produção de treliças pré-fabricadas com feixes deste bambu, para tanto, serão apresentados estudos científicos e aplicações práticas sobre o tema.

Utilizar bambus de médios diâmetros é uma realidade em países asiáticos, principalmente na Tailândia e Vietnã, na construção de resorts, casas entre outras edificações. O uso deste tipo de material nestes países se dá a partir da formação de feixes formando seções retangulares ou circulares simulando uma peça composta.

Uthaipattrakoon (2015) realiza uma revisão de diversos projetos de estruturas com bambu construídos na Tailândia, onde destaca um projeto em específico que utiliza feixes de bambus de diâmetros médios de 6 cm. Neste sistema estrutural, as ligações entre os bambus que formam os feixes devem ser o mais consolidadas possível a fim de garantir que o feixe funcione como uma única peça (Figura 25). No Quadro 4 é possível observar diferentes configurações de composições de feixes utilizando a espécie *Dendrocalamus strictus*.



Figura 25: Detalhe do feixe com bambu da espécie *Dendrocalamus strictus*.

Fonte: Bamboo Design and Construction in Thailand: Bamboo Art Gallery at Arsomsilp Institute of the Arts, Uthaipattrakoon, Thana

Quadro 4: Detalhe das configurações de feixes proposta pelo engenheiro estrutural.

Nr	Elementos	Espécie/diâmetro (cm)	Seção
1	Vigas	<i>Dendrocalamus strictus</i>	
		7,5	
2	Pilares	<i>Dendrocalamus asper</i>	
		13	
3	Suporte de Caibros	<i>Dendrocalamus strictus</i>	
		7,5	
4	Suporte do telhado	<i>Dendrocalamus asper</i>	
		13	

Fonte: Bamboo Design and Construction in Thailand: Bamboo Art Gallery at Arsomsilp Institute of the Arts, Uthaipattrakoon, Thana

Rittironk (2015), estudou alguns tipos de ligações para unir colmos formando feixes para uso em colunas, unindo de dois a quatro colmos e observou que ao juntar colmos a capacidade de carga aumenta, mas não de forma linear, para tanto, utilizou dois tipos de ligações, uma com pinos de bambu e cordas de sisal e outra com barras metálicas (Figura 26 e 27) observando que a utilização e barras metálicas com porca e arruela são pelo menos 20% mais resistentes que as ligações com pino e corda.

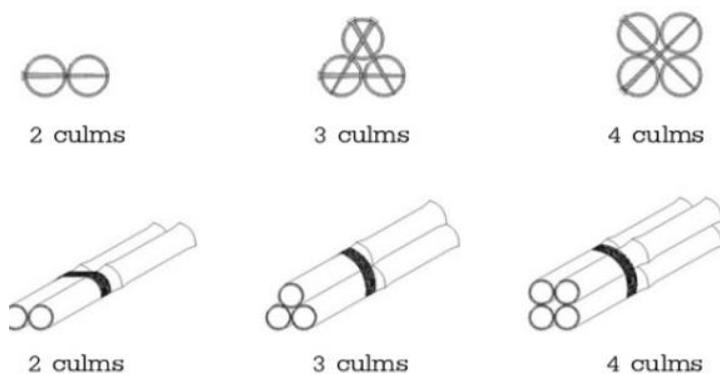


Figura 26: Ligação com pino de bambu e corda.

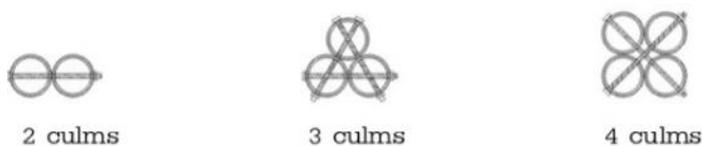


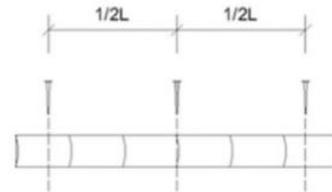
Figura 27: Ligação com barras metálicas

Rittironk (2015) avaliou neste mesmo estudo qual seria a melhor forma de localizar as ligações, propôs três tipos de configuração, com ligação nas extremidades da peça, com 3 ligações sendo uma em cada extremidade e uma no centro da peça e uma terceira configuração com ligações nas extremidades e a duas a 1/3 do vão conforme mostra a Figura 28. As ligações com barras metálicas se comportaram melhor na terceira opção, com a localização a 1/3 do vão, já as ligações com pinos e corda se comportaram bem tanto na opção 1/3 L quanto a 1/2 L.

Fixado em dois pontos nas extremidades da barra



Fixado em três pontos nas extremidades da barra e no meio do vão



Fixado em 4 pontos a 1/3 do vão excluindo 15 cm da extremidade

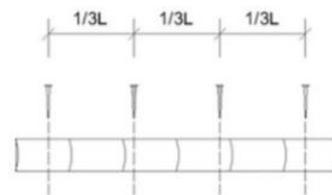


Figura 28: proposta de locação das ligações entre colmos

Um dos pioneiros neste tipo de sistema é o arquiteto Vo Trong Nghia. Radicado no Vietnã, Nghia desenvolve coberturas com grandes vãos utilizando feixes de bambus de diâmetros médio de 6 cm, explorando curvas e formas diversas que trazem plasticidade e requinte ao material (Figura 29).



Figura 29: Sistema estrutural com tesouras em feixes de bambus de médios diâmetros

É possível observar na Figura 30 um detalhe do sistema estrutural de feixes formando uma seção retangular.



Figura 30: Detalhe do sistema estrutural com tesouras em feixes de bambus de médios diâmetros Fonte: <http://votrongnhia.com/projects/naman-beach-bar/>

Outra empresa radicada no Vietnã, a Bambubuild, desenvolve uma série de treliças para coberturas utilizando bambus de médios diâmetros em forma de feixes formando uma seção retangular. As treliças são pré-fabricadas em solo e posteriormente posicionadas com o auxílio de equipamentos de movimentação (Figura 31)



Figura 31: Detalhe da tesoura sendo posicionada.
Fonte: <http://www.bambubuild.com/en/>.

Na Figura 32 é possível observar os feixes de bambus com diâmetros médio de 6 cm formando seções retangulares possibilitando curvaturas e sistemas de tesouras não convencionais que vencem vãos de até 14 metros segundo informações coletadas no website da Empresa (Figura 33).



Figura 32: Detalhe da tesoura sendo posicionada.

Fonte: <http://www.bambubuild.com/en/>.

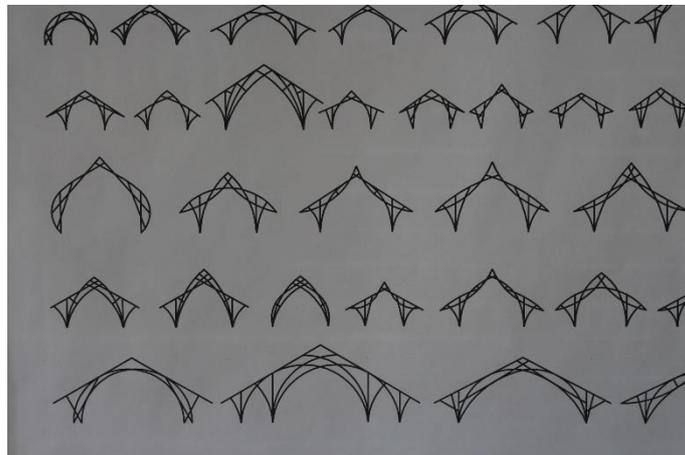


Figura 33: Tipos de tesouras oferecidas pelo fabricante. Fonte: Foto do autor

Os diversos sistemas construtivos com feixes de bambus de médios diâmetros utilizados em países asiáticos, tais como; Vietnã, Tailândia e Indonésia demonstram a possibilidade de usos de bambus de médios diâmetros na construção de estruturas e nos motivam a pensar em soluções estruturais para o uso do *Bambusa tuldoides* na produção de treliças para coberturas. Contudo, realizar uma visita às construções que utilizam esta tecnologia, a fim de conhecer os processos produtivos, tais como; a matéria prima, tratamento, processamento, fabricação, projeto, montagem e manutenção é essencial para compreender o sistema e propor algo semelhante, utilizando uma espécie de bambu abundante no Brasil e de certa forma equivalente do ponto de vista físico mecânico.

3 METODOLOGIA

Com a elaboração do estado da arte do uso do bambu como material construtivo, apresentado na revisão da literatura, construiu-se a base para a investigação do uso do *Bambusa tuldoides* em sistemas de cobertura com feixes. Por meio de um processo metodológico de revisão bibliográfica e pesquisa de campo, este trabalho apresenta os processos que envolvem o uso do bambu em construções e propõe uma solução estrutural replicável.

Para que seja viável a produção de estruturas de bambu baseadas em treliças pré-fabricadas com feixes de bambus utilizando a espécie *Bambusa tuldoides*, é importante que todos os processos que envolvem a sua produção estejam bem definidos, possibilitando assim, que atendam tanto a viabilidade técnica quanto a econômica. Porém, é importante salientar que, apesar de os processos observados nas construções do Vietnã serem a base para este estudo, nos encontramos em uma outra realidade cultural, onde certamente a relação de mão de obra é diferente, tal como as relações envolvendo questões legais referentes ao funcionamento das construtoras. Neste caso, serão abordadas apenas as questões técnicas e os custos da produção.

Inicialmente, é importante realizar um mapeamento da ocorrência e quantidade do *Bambusa tuldoides*, como citado anteriormente, embora seja consenso entre os especialistas de bambu no Brasil que esta espécie é abundante sendo possível encontrar em diversos estados brasileiros. Não existe um estudo onde seja possível mensurar uma oferta deste material, portanto, identifica-se uma possibilidade de pesquisa para sanar esta demanda.

Quanto a colheita, o tratamento, a secagem e o armazenamento do *Bambusa tuldoides*, já existem estudos que definem formas eficientes de como proceder para que o material esteja adequadamente preparado para o uso em estruturas os quais são aplicáveis a todas as espécies de bambus utilizadas para a construção de estruturas, portanto, podem ser utilizados para o *Bambusa tuldoides*, contudo, dentre todos os processos descritos, cada empresa identificará quais serão mais adaptados aos processos internos e que apresentem principalmente viabilidade econômica.

As demais condições necessárias para a produção das treliças serão abordadas a seguir, questões relacionadas ao projeto e dimensionamento das estruturas, tais como, caracterização físico mecânica, ensaio das ligações, procedimentos de cálculo e por fim, uma avaliação dos custos envolvidos na produção das treliças.

Questões mais relacionadas à execução da obra e ao processo construtivo só serão sanadas com a construção de um protótipo em escala real, onde será possível esmiuçar todos os detalhes e dificuldades, tais como, como curvar o bambu, dificuldades encontradas no gabarito, na confecção das ligações, pinos e amarras, no içamento das tesouras para a montagem, na instalação da cobertura e a manutenção ao longo da vida útil da estrutura, sendo que este último, de extrema importância para a durabilidade da construção e atendimento à NBR 15.575/13 – Edificações Habitacionais - Desempenho.

3.1 Estudo de Caso – Produção de Coberturas com Treliças em Feixes de bambus de pequenos diâmetros no Vietnã

Com o objetivo de compreender melhor o sistema construtivo baseado em treliças com feixes de bambus de pequenos diâmetros, foi realizada uma visita a construções existentes no Vietnã no período de janeiro de 2018, onde foi percorrido diversas regiões a fim de visitar as principais construções com este sistema e identificar todos os processos envolvidos na produção destes elementos, desde a colheita da espécie utilizada, passando pelo seu tratamento, processo de fabricação, montagem, detalhes construtivos e finalmente os processos de acabamento e manutenção.

Foram visitadas construções executadas pelos escritórios de arquitetura Vo Trong Nghia Architects, e Bambuild. Todas as construções apresentavam o mesmo sistema construtivo, e o mesmo processo de execução, uma parte das informações descritas a seguir foram coletadas pelo autor e outras informadas pelo escritório de arquitetura da Bambubuild, localizada na cidade de Ho Chi Minh City, Vietnã.

3.2 Ensaios de caracterização físico mecânica do *Bambusa tuldoides*

A fim de atender as normas técnicas para o dimensionamento de estruturas em bambu possibilitando a sua utilização na produção de estruturas se faz necessário a identificação de parâmetros físicos e mecânicos por meio de ensaios controlados em laboratório, portanto, este trabalho visa identificar algumas das características físico mecânicas do *Bambusa tuldoides*, massa específica básica, tensão de compressão paralelo às fibras, tensão de cisalhamento paralelo às fibras, módulo de ruptura a flexão estática e módulo de elasticidade à flexão estática.

Para a caracterização do *Bambusa tuldoides* foram seguidos os procedimentos recomendados pela norma ISO 22157-1(2004) e ISO 22157-2 (2004). Os ensaios foram realizados no Laboratório de Produtos Florestais - LPF localizado em Brasília.

Os bambus foram coletados em 2018 em 10 touceiras, de forma aleatória, situadas na região Administrativa de Brazlândia, Distrito Federal, Latitude °42'44.50"S e Longitude 48° 9'45.76"O. Os colmos coletados apresentavam idade estimada acima de 3 anos, sendo que, a identificação dos colmos maduros foi de forma visual, onde considera-se a quantidade elevada de líquens na parede dos bambus como indicador de madurês, característica que ocorre na maioria das espécies de bambu (Figura 34).



Figura 34-Detalhe do colmo maduro do *Bambusa tuldooides*

Foram cortados doze colmos com 4 metros de comprimento e diâmetro médio de 4 cm. A fim de realizar os ensaios conforme recomendam as Normas, o colmo foi dividido em parte Basal e Média conforme Figura 35.

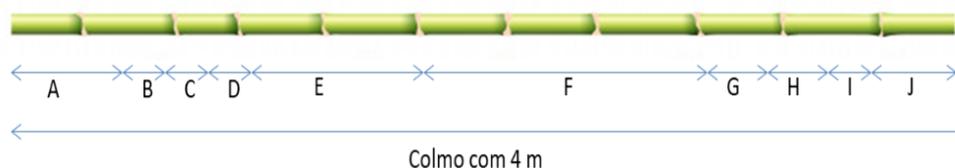


Figura 35 - Detalhe das partes do colmo onde foram retirados os corpos de prova

A - Parte basal - 20 cm iniciais descartados;

B -Parte Basal -Corpo de prova para ensaio de cisalhamento paralelo às fibras sem nó - comprimento de 5 cm;

C - Parte Basal -Corpo de prova para ensaio de cisalhamento paralelo às fibras com nó- comprimento de 5 cm;

D - Parte Basal -Corpo de prova para ensaio de compressão paralela às fibras – comprimento de 5 cm;

E - Descarte de 100 cm;

F - Parte média -Corpo de prova para ensaio de flexão - comprimento de 180 cm;

G - Parte média - Corpo de prova para ensaio de cisalhamento paralelo às fibras sem nó - comprimento de 5 cm;

H - Parte média - Corpo de prova para ensaio de cisalhamento paralelo às fibras com nó- comprimento 5 cm;

I - Parte média - Corpo de prova para ensaio de compressão paralela às fibras - comprimento 5 cm

J - Descarte

Os colmos já cortados conforme Figura 35 foram deixados em sala climatizada no LPF com controle de temperatura (20 ± 3) °C e umidade (60 ± 1) % até atingir umidade de equilíbrio com o ambiente, o que ocorreu em aproximadamente 20 dias.

3.2.1 Massa Específica Básica

Foram utilizados dez corpos de prova com dimensões variadas sendo cinco da parte basal do colmo e cinco da parte média. As amostras foram colocadas em estufa a (103 ± 2) °C até atingirem 0% de umidade. As amostras retiradas da estufa foram pesadas (Figura 36) e o volume foi determinado pelo método de imersão (Figura 37).



Figura 36: Pesagem da amostra a 0% de umidade



Figura 37: Imersão em água para determinação do volume da amostra

Para a determinação da *Meb* foi utilizada a equação 1:

$$Meb \text{ (Kg/m}^3\text{)} = (m/v) \times 10^3 \quad [1]$$

Onde:

Meb = Massa específica básica (kg/m³)

m = Massa da amostra seca em estufa (g)

V = volume saturado da amostra (cm³)

3.2.2 Teor de umidade

A cada ensaio realizado foi retirada uma amostra com comprimento variado para a determinação do teor de umidade, deste modo, após o ensaio realizado a amostra foi pesada e medida para depois seguir para a estufa a (103[±]2) °C até atingir a umidade de 0%.

O conteúdo de umidade TU (±%) foi calculado a partir da equação 2:

$$TU \% = ((m-m_0)/m_0)/100 \quad [2]$$

Onde:

TU = Conteúdo de umidade (%)

m = massa da amostra no momento do ensaio (g)

m₀ = massa da amostra após secagem a 0% (g)

3.2.3 Propriedades Mecânicas

Na realização dos ensaios para determinação das propriedades mecânicas do *Bambusa tuldooides*, foi utilizado a máquina universal de ensaios modelo USM – 600 (600 KN – 60tf) da Martins Campelo, o qual possui Controle da taxa de carregamento, deslocamento e deformação, contínuo e sem choques durante todo o ensaio, o que dispensa o controle dos deslocamentos de forma analógica e agiliza o processo de preparo do ensaio.



Figura 38: Máquina universal de ensaios modelo USM – 600 (600 kN – 60tf) da Martins Campelo.

3.2.3.1 Compressão paralela às fibras

Foram realizados ensaios com 12 corpos de prova sendo seis unidades da parte basal do colmo e seis unidades da parte média. Foram preparadas amostras com a mesma altura do diâmetro, conforme preconiza a norma ISO 22156/2004, sendo aplicada uma carga constante de 0,6 mm/min. O equipamento utilizado garante a aplicação da carga de maneira uniforme.

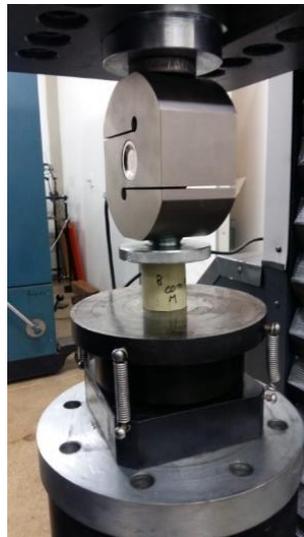


Figura 39: Corpo de prova sendo submetido a compressão paralela

A tensão máxima de compressão paralela é determinada pela equação 3:

$$\sigma_{ult} = F_{ult}/A \quad [3]$$

Onde:

σ_{ult} - Tensão máxima de compressão paralela última (N/mm²)

F_{ult} - máxima carga aplicada (N)

A - área da seção – (mm^2)

3.2.3.2 Ensaio a Flexão Estática

As amostras foram retiradas da parte média do colmo conforme detalhado na Figura 35. Para a execução dos ensaios foi necessário desenvolver um aparato para a aplicação da carga conforme indicado na norma ISO 22156 /2004 (Figura 39). Os aparatos foram improvisados utilizando madeira de alta densidade e pequenas chapas metálicas para garantir a movimentação do apoio.



Figura 39: Aparato para a realização do ensaio à flexão estática.

O vão-livre adotado entre apoios foi de 1200 mm, pois a norma ISO 22156/2004 recomenda que o vão-livre seja de no mínimo $30 \times D$, onde D é o diâmetro externo, que no caso das amostras ensaiadas, o diâmetro médio é de 40 mm.

Para determinação do segundo Momento de Inércia da amostra utilizamos a equação 4:

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

As amostras foram pesadas logo após o ensaio para determinação do conteúdo de umidade no momento do ensaio

Para a determinação da tensão na flexão máxima de flexão estática (MOR) foi utilizada a equação 5:

$$\sigma_{fult} = FxLx\left(\frac{D}{2}\right) x IB \quad [5]$$

Onde:

F = Carga máxima aplicada (N);

L = Vão Livre (mm);

D = Diâmetro externo (mm); e

IB = segundo momento de inércia (mm⁴)

A carga foi aplicada a uma velocidade constante de 30 mm/min

O módulo de elasticidade na flexão estática - MOE é calculado pela equação 6:

$$E = \frac{23 \times F \times L^3}{1296 \times \delta \times IB} \quad [6]$$

Onde:

F = Carga máxima aplicada (N);

L = Vão Livre (mm);

IB = segundo momento de inércia (mm⁴)

δ = deflexão máxima no meio do vão (mm)

3.2.3.3 Cisalhamento Paralelo às fibras

Para a determinação da tensão de cisalhamento paralelo às fibras foram utilizadas doze amostras extraídas de três colmos, sendo duas amostras da basal e duas amostras da parte média de cada colmo, uma com nó e uma sem nó a fim de avaliar a diferença de resistência ao cisalhamento paralelo do colmo com nó e sem nó.

Foi utilizado um aparelho específico para a aplicação da carga conforme preconiza a norma ISO 22156/2004. Inicialmente o aparelho foi confeccionado com madeira de alta densidade, no entanto, não suportou a carga e rompeu, deste modo, foi fabricado o mesmo elemento, porém desta vez em aço carbono (Figura 40).



Figura 40: Aparato em aço carbono para a realização de ensaios de cisalhamento paralelo às fibras

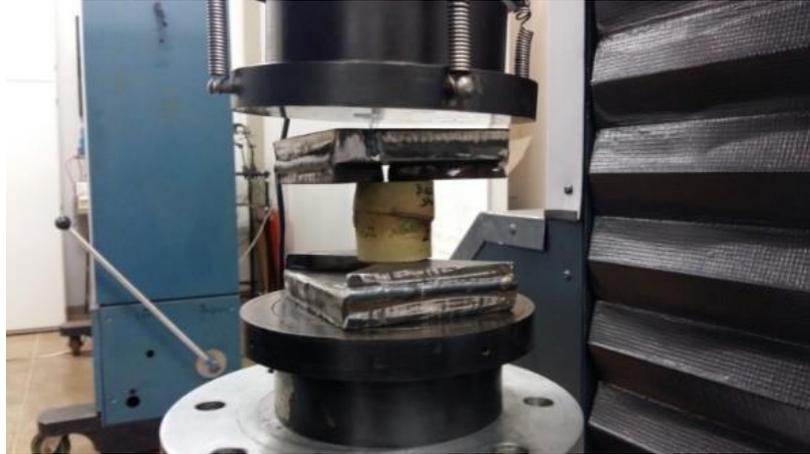


Figura 41: Corpo de prova posicionado para ensaio de cisalhamento paralelo às fibras.

Para a determinação da tensão de cisalhamento paralelo às fibras foi utilizada a equação 7:

$$\tau_{ult} = \frac{F_{ult}}{\sum(t \times L)} \quad [7]$$

Onde:

τ_{ult} = Tensão última de ruptura a cisalhamento paralelo às fibras (Mpa)

F_{ult} = Carga máxima aplicada até a falha da amostra (N)

t = Espessura da parede (mm)

$\sum(t \times L)$ = Soma dos produtos da espessura da parede e altura da amostra mm²

3.2.4 Resistência Característica de projeto

Sobre os valores encontrados nos ensaios realizados, foram aplicados coeficientes de segurança para a determinação das resistências características de projeto por meio das equações 8 e 9 propostas por Kaminski (2016).

$$f_{i,k} = C_{mois} C_{lab} f_{i,0.05} \left[1 - \frac{2.7s}{m\sqrt{n_i}} \right] \quad [8]$$

Onde

$f_{i,k}$ – Valor característico de uma população (N/mm²)

m - média dos resultados (N/mm²)

C_{umid} - fator de correção de umidade

$Clab$ - fator de condição de teste de laboratório

s – Desvio padrão

n – número de amostras

$f_{i0,05}$ - percentil 5 do resultado das amostras, determinado pela equação(N/mm²)

$$f_{i,0.05} = m - 1.645s$$

[9]

Onde:

$f_{i0,05}$ - percentil 5 do resultado das amostras, determinado pela equação(N/mm²)

m - média dos resultados (N/mm²)

s – Desvio padrão

Tabela 5: Fator de correção do teor de umidade Cmois, em função do teor de umidade no momento do teste

Conteúdo de umidade (MC) %	Flexão	Cortante	Tração paralela às fibras	Compressão paralela às fibras
MC ≤ 12	1,0	1,0	1,0	1,0
12 < MC ≤ 18	Interpolar entre os valores acima e abaixo			
MC > 18	1,2	1,2	1,2	1,2

Fonte: adaptado de Kaminski (2016)

Tabela 6: Fator de condição do ensaio laboratorial Clab

Flexão	Cortante	Tração paralela às fibras	Compressão paralela às fibras
0,7	0,5	0,5	0,7

Fonte: adaptado de Kaminski (2016)

A Tabela 5 define o fator de correção de umidade que considera a umidade das amostras no momento da realização do teste, para os ensaios realizados neste estudo, as medias de conteúdo de umidade permaneceram abaixo de 12%, deste modo, utilizaremos os valores indicados para MC < 12%. A Tabela 6 indica os valores do fator de condição de teste laboratorial, fator este que considera as possíveis falhas ocorridas durante os ensaios laboratoriais ou falhas nas amostras considerando o alto grau de variabilidade do material.

Para elementos submetidos somente a compressão, onde um elemento é formado a partir de quatro ou mais colmos conectados em conjunto de modo a compartilham igualmente a carga, que corresponde ao caso em estudo, elementos formados por seções compostas por feixes de bambu, o valor característico de força para toda uma população $f_{i,k}$ pode ser determinado a partir da equação 10.

$$f_{i,k} = C_{mois} C_{lab} \left[m - \frac{1.645s}{\sqrt{n_c}} \right] \left[1 - \frac{2.7s}{m\sqrt{n_i}\sqrt{n_c}} \right] \quad [10]$$

Onde

$f_{i,k}$ – Valor característico de uma população (N/mm²)

m - média dos resultados (N/mm²)

C_{umid} - fator de correção de umidade

C_{lab} - fator de condição de teste de laboratório

s – Desvio padrão

n_c – números de colmos conectados juntos

n_t – número de amostras ensaiadas

Resistência Característica de projeto

A partir das resistências características de uma população, considerando os ensaios realizados, determina-se as resistências de projeto $X_{i,d}$ por meio da equação 11:

$$X_{i,d} = k_{mod} k_{sys} \frac{X_k}{\gamma_M} \quad [11]$$

Onde:

$X_{i,d}$ – Resistência de projeto (N/mm²)

k_{mod} - classe de serviço e fator de duração da carga

γ_M - fator material de segurança

k_{sys} - fator de força do sistema 1,1

Para o k_{sys} , segundo Kaminski (2016), quando quatro ou mais elementos da mesma rigidez estiverem ligados a um sistema de distribuição de carga contínua (como é o caso de vigas, caibros e treliças) ou o sistema de distribuição de carga contínua é capaz de resistir a redistribuição de cargas, ou os elementos não estão a mais de 0,6 m de distância e os membros de distribuição de carga são contínuos em pelo menos dois vãos e quaisquer juntas são escalonadas, sugere-se que as tensões admissíveis sejam modificadas por um fator de força k_{sys} do sistema de 1,1. Portanto, como a estrutura proposta é composta por feixes e atende estas premissas, utilizaremos o k_{sys} 1,1.

As Tabelas 7 e 8 apresentam os valores para K_{mod} e γ_M respectivamente, onde o K_{mod} está relacionado com a duração e serviço da estrutura, já o γ_M corresponde ao fator de segurança do material considerando suas imperfeições e inexistência de pesquisa em relação ao comportamento estrutural do bambu.

Tabela 7: Fator de classe de serviço e duração do carregamento K_{mod}

Classe de serviço	Permanente (peso próprio)	Longa duração	Média duração	Curta duração	Instantânea (vento, sismo)
1	0,6	0,65	0,75	0,8	1,05
2	0,6	0,65	0,75	0,8	1,05
3*	0,4	0,45	0,55	0,8	0,75

* o bambu não deve ser usado em contato com umidade ou água de chuva; portanto, a Classe de Serviço 3 assume que o bambu está coberto e protegido da chuva / água direta, mas em um ambiente muito úmido com umidade relativa > 85%. Este cenário existe apenas em alguns países tropicais. O bambu deve ser tratado se neste ambiente, caso contrário, é susceptível de apodrecer

Fonte: adaptado de Kaminski (2016)

Tabela 8: Fator de segurança do material γ_M

Flexão	Cortante	Tração paralela às fibras	Compressão paralela às fibras
1,5	1,5	1,5	1,5

Fonte: adaptado de Kaminski (2016)

3.3 Ensaio das Ligações

A utilização do bambu roliço na produção de estruturas vem sendo ampliada em diversos países inclusive no Brasil, para tanto, do ponto de vista da engenharia e arquitetura, a caracterização físico-mecânica das espécies disponíveis, o desenvolvimento de normas técnicas e de métodos construtivos são a base para que esta cultura possa ser estabelecida de forma consistente.

Deste modo, é proposto o estudo de uma ligação para o sistema estrutural que o utiliza o *Bambusa tuldooides* como elemento principal em treliças com feixes deste bambu. Portanto, um sistema de ligação que garanta a estabilidade estrutural, a transferência dos esforços entre os elementos é fundamental para que se atinja o desempenho requerido nas normas técnicas.

Conforme orientações das normas técnicas utilizadas neste trabalho, quando uma proposta de ligação de peças em um sistema estrutural com colmos de bambu não for possível ser dimensionada utilizando as informações de resistência dos materiais utilizados, seja pelo alto grau de incerteza que o sistema de conexão pode apresentar, ou simplesmente pela impossibilidade de associar comportamento de diferentes materiais aplicados, recomenda-se que sejam realizados ensaios na ligação para a determinação de sua resistência possibilitando a sua utilização de forma segura e durável.

Este caso se aplica ao estudo proposto, pois, ao utilizar uma ligação com pino de *Eucalyptos dunnii* e cordas de polipropileno em uma material de diâmetro e espessura de parede variadas, o grau de incerteza é muito grande, portanto, a realização de ensaios das ligações é fundamental para se obter a resistência da ligação proposta.

3.3.1 O bambu

Os bambus foram coletados em 26/06/2018 em 03 touceiras, de forma aleatória situadas na região Administrativa de Brazlândia, Distrito Federal, Latitude °42'44.50"S e Longitude 48°9'45.76"O. Os colmos coletados apresentavam idade estimada acima de 3 anos, sendo que, a identificação dos colmos maduros foi de forma visual, onde considera-se a quantidade elevada de líquens na parede dos bambus como indicador de maturês, característica que ocorre na maioria das espécies de bambu.

3.3.2 Pinos

A utilização de barras roscadas em estruturas de bambu reduzem as grandes incertezas que naturalmente existem quando estamos falando de uma ligação em bambus com diâmetros e espessuras variadas, no entanto, a utilização das barras de aço geram um custo considerável no valor da construção, e ainda, em se tratando de construções em zonas costeiras, a utilização de barras de aço inoxidável exige investimento ainda maior, e por fim, uma quantidade excessiva de porcas e arruelas pode comprometer a estética da estrutura. Deste modo, optou-se em estudar a utilização de pino de madeira, que, embora apresente resistência muito inferior ao aço, apresenta custo menor além de proporcionar uma estética mais interessante considerando que as estruturas em bambu são muitas vezes adotadas em projetos eco turísticos, locais estes que priorizam o uso de materiais de baixo impacto ao meio ambiente.

Deste modo, foi proposto a utilização de pinos de madeira de alta densidade, no caso em estudo, foi utilizado o *Eucalyptus dunnii*, espécie exótica muito semelhante ao *Eucalyptus grandis*, com uma densidade básica de $Db = 0,800 \text{ g/cm}^3$. (Instituto de Pesquisas Florestais - <http://www.ipef.br/identificacao/cief/especies/dunnii.asp>)

Os pinos utilizados são cavilhas cilíndricas lisas com 15 mm de diâmetro e 1 m de comprimento e foram adquiridos de empresa localizada na Indústria e Comercio de Cavilhas LUFRA Ltda localizado em União da Vitória – PR.

3.3.3 Cordas em Polipropileno

Para que fosse possível a realização dos ensaios das ligações optou-se pela utilização de cordas de polipropileno trançado de 5mm em dois pontos da ligação conforme Figura 42, possibilitando que os bambus permanecessem alinhados, e ainda, garantir que as peças não escapassem durante os ensaios.

As cordas podem auxiliar nas uniões entre barras possibilitando que os feixes trabalhem de forma conjunta, aumentando assim, a resistência tanto nas ligações quando consideramos cargas axiais, quanto em esforços de flexão em elementos compostos por feixes, onde a ligação entre as barras é fundamental na resistência a flexão.



(a)

(b)

Figura 42: Detalhe das amarras com corda de polipropileno de 5 mm, (a) ligação perpendicular (b) ligação paralela

As cordas de polipropileno foram adquiridas da empresa Riomar cordas, a qual apresenta a resistência a carga de ruptura conforme quadro 9. No entanto, os ensaios visaram a identificação da carga de ruptura da ligação considerando o conjunto bambu-pino-corda, portanto, os valores de resistência a ruptura serviram de base apenas para a adoção do número de voltas em cada ponto de amarra, no caso estudado, foi utilizado um mínimo de 4 voltas, totalizando uma carga de ruptura mínima de 648 kg.

Tabela 9: Características mecânicas da corda de polipropileno de 5 mm

Polipropileno Trançado		
Bitola	mm	5
	pol	3/8
Metros p/ Kg (aprox.)		89
Carga Ruptura (kgf)		162

Fonte: Riomar Cordas

3.3.4 Produção dos corpos de prova

Foram executadas 12 Ligações do tipo perpendicular e 12 do tipo paralela conforme as dimensões descritas nas Figuras 43 e 44, definidas tomando como base as dimensões recomendadas pela NBR 7190/1997 com algumas alterações em função dos diâmetros externos dos colmos do *Bambusa tuldoides*, espessura de paredes e distância do entrenó além da dimensão do equipamento utilizado para o ensaio considerando a sua viabilidade técnica.

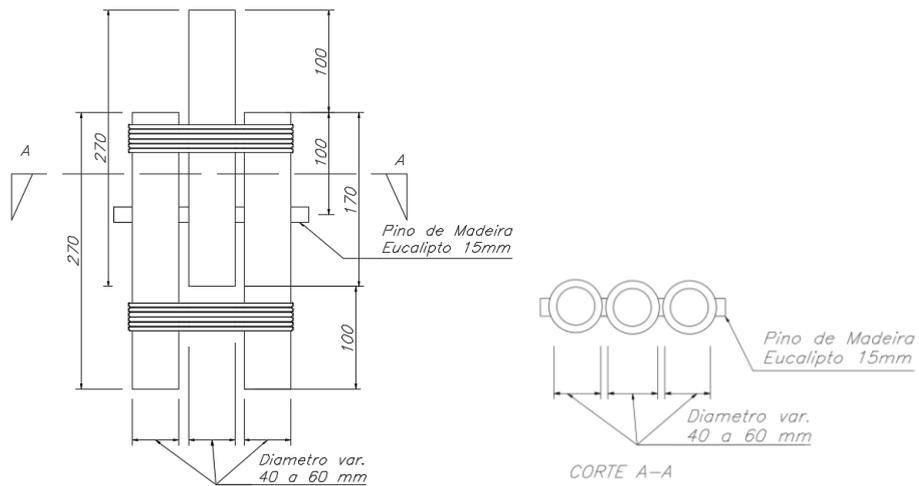


Figura 43: Dimensões dos corpos de prova de ligação Paralela

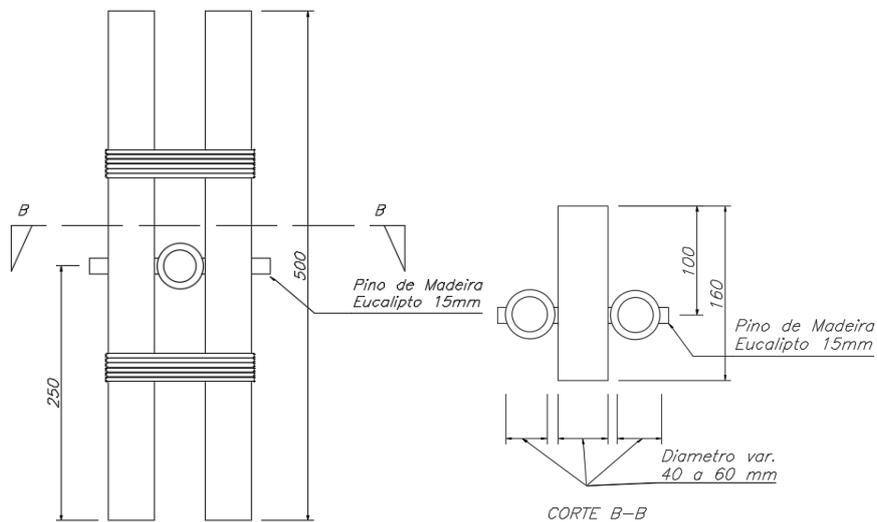


Figura 44: Dimensões dos corpos de prova de ligação perpendicular

3.3.5 Gabarito

Os corpos de prova foram produzidos com o auxílio de um gabarito improvisado com uma prancha em madeira de alta densidade, mãos francesas metálicas e grampos de aperto rápido (Figura 45). Foi utilizado uma broca de aço bimetálico para realizar as perfurações. Não houve maiores dificuldades na confecção das ligações, o gabarito proposto funcionou de maneira satisfatória.



(a)



(b)

Figura 45: Gabaritos para confecção dos corpos de prova (a) ligação perpendicular (b) ligação paralela

3.3.6 O ensaio

Os ensaios foram realizados no Laboratório de Produtos Florestais (LPF) do Serviço Florestal Brasileiro (SFB), localizado em Brasília, em 10/09/2018 na máquina de ensaios INSTRON modelo 1115 de 10 toneladas (Figura 46). Considerando a inexistência de normas específicas para este tipo de ensaio, foram consultadas as normas NBR 7190 (1997), ISO 22157-1(2004) e ISO 22157-2 (2004), NSR-10 (2008), EN 384 (1995) e EN 1995-1-1(2004) Eurocode 5.



Figura 46: Máquina de ensaios INSTRON. Fonte: Do autor

As ligações já confeccionadas foram deixadas em sala climatizada no LPF com controle de temperatura (20 ± 3) °C e umidade (60 ± 1) % até atingir umidade de equilíbrio com o ambiente. Os ensaios foram realizados sem imprevistos sendo possível realiza-los em aproximadamente 2 dias. Para o ensaio das ligações em perpendicular foi necessário a confecção de uma aparato em madeira conforme Figura 47, já para os ensaios das ligações em paralelo não foi necessário aparatos específicos (Figura 48).



Figura 47: Ensaio das ligações perpendicular



Figura 48: Ensaio das ligações Paralela

Após a realização dos ensaios das ligações e extraídos a média dos resultados, desvio padrão e coeficiente de variação, foram aplicadas as equações propostas por Kaminski et al (2016) para a obtenção das resistências Características de projeto.

Determinação do Valor de resistência Característico de uma população $f_{i,k}$ em Kgf pela equação 12 e 13.

$$f_{i,k} = C_{mois} C_{lab} f_{i,0.05} \left[1 - \frac{2.7s}{m\sqrt{n_t}} \right] \quad [12]$$

Onde:

$$f_{i,0.05} = m - 1.645s \quad [13]$$

$f_{i,k}$ - Característico de uma população (Kgf)

$f_{i,0,05}$ - Da força resultante de dados de teste (N)

m - média dos resultados (Kgf)

S - Desvio padrão

C_{mois} - fator de correção de umidade (Tabela 5)

C_{lab} - fator de condição de teste de laboratório (Tabela 6)

n - número de amostras

Após a determinação do Valor Característico de uma população ($f_{i,k}$) aplica-se a equação 14 para a determinação da Resistência Característica de Projeto ($X_{i,d}$) onde os coeficientes de classe de serviço e fator de duração da carga (K_{mod}), e o fator de segurança do material γ_M são aplicados conforme as recomendações da Tabela 7 e 8.

$$X_{i,d} = k_{mod} k_{sys} \frac{X_k}{\gamma_M}$$

[14]

Onde:

$X_{i,d}$ - Resistência característica de projeto (Kgf)

K_{mod} - Coeficientes de classe de serviço e fator de duração da carga (Tabela 7)

K_{sys} - Fator de força do sistema

γ_M - Fator de segurança do material (Tabela 8)

Segundo Kaminski (2016), quando quatro ou mais elementos da mesma rigidez estiverem ligados a um sistema de distribuição de carga contínua (como é o caso de vigas, caibros, treliças e treliças de fundo) e o sistema de distribuição de carga contínua é capaz de redistribuição de cargas, ou os elementos não estão a mais de 0,6m de distância, os membros de distribuição de carga são contínuos em pelo menos dois vãos e quaisquer juntas são escalonadas sugere-se que as tensões admissíveis fornecidas na Tabela 3 sejam modificadas por um fator de força k_{sys} do sistema de 1,1. Portanto, como a estrutura proposta é composta por feixes e atende estas premissas utilizaremos o K_{sys} 1,1.

3.4 Análise estrutural do sistema de cobertura

A partir dos estudos realizados, caracterização do *Bambusa tuldooides*, ensaio das ligações com pino e cordas de polipropileno, é possível partir para a análise estrutural, dimensionamento e detalhamento de uma estrutura baseada em treliças com feixes de bambu de pequenos diâmetros com a possibilidade da pré-fabricação dos elementos.

A partir dos estudos realizados pelo autor e visitas técnicas a construções que adotam este sistema estrutural, algumas configurações de treliças com feixes de bambus de pequenos diâmetros foram analisados a fim de encontrar uma solução que atendesse melhor os requisitos de segurança, exequibilidade, possibilidade de pré-fabricação, transporte e montagem, custo e estética. Deste modo, será descrito a análise estrutural da solução que mais atendeu a proposta do estudo considerando os requisitos descritos.

3.4.1 Dados gerais da estrutura proposta

A proposta é a utilização dos feixes de bambu em seções retangulares, para tanto, o projeto é um galpão duas águas composto por 5 treliças com vão livre de 10,70 m espaçados a cada 3,80 m, cobertura em esteiras de bambu com manta asfáltica, fundações em concreto armado e ligações com pinos de *Eucalyptos dunnii* e cordas em polipropileno. A geometria do galpão é detalhada nas Figuras 49 a 52.

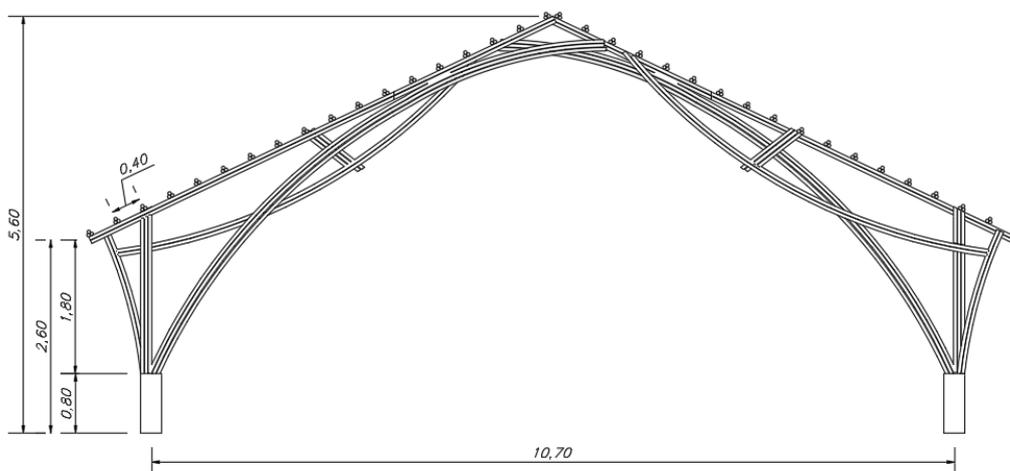


Figura 49: Vista frontal do treliças proposta

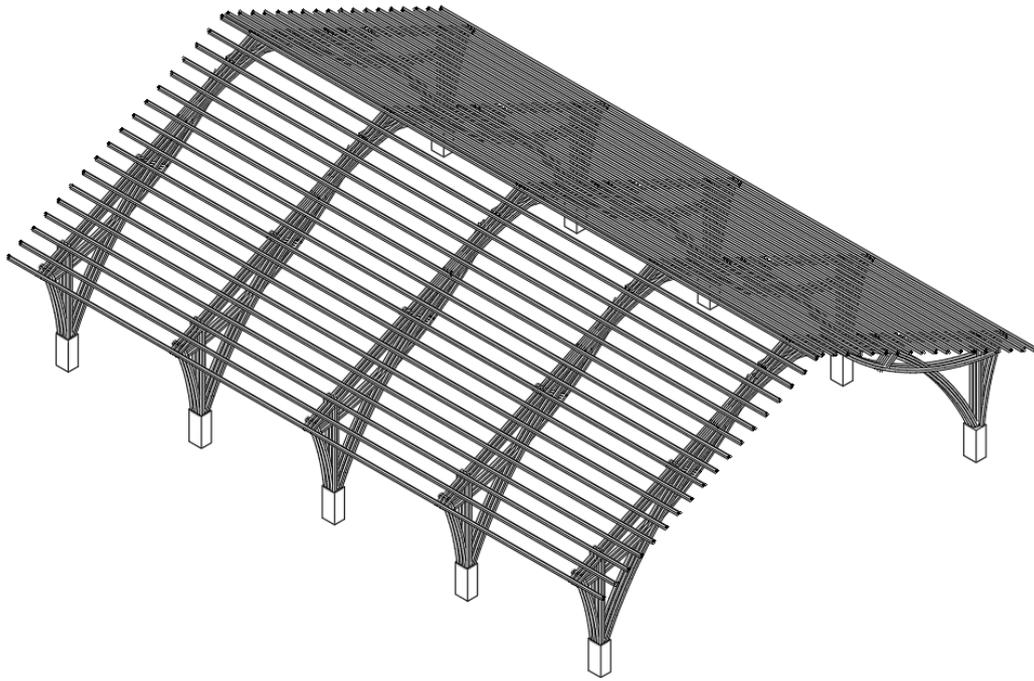


Figura 50: Perspectiva isométrico da estrutura

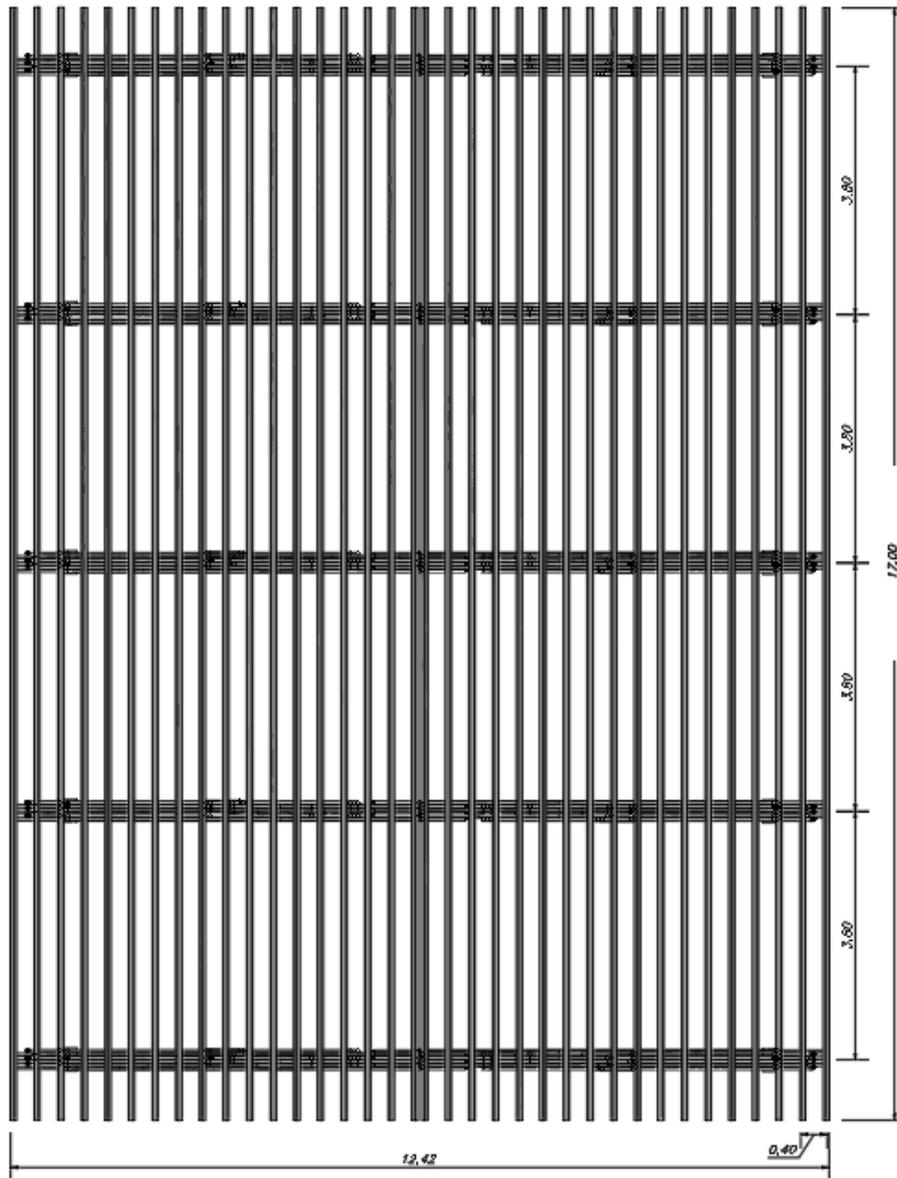


Figura 51: Vista da Cobertura da estrutura

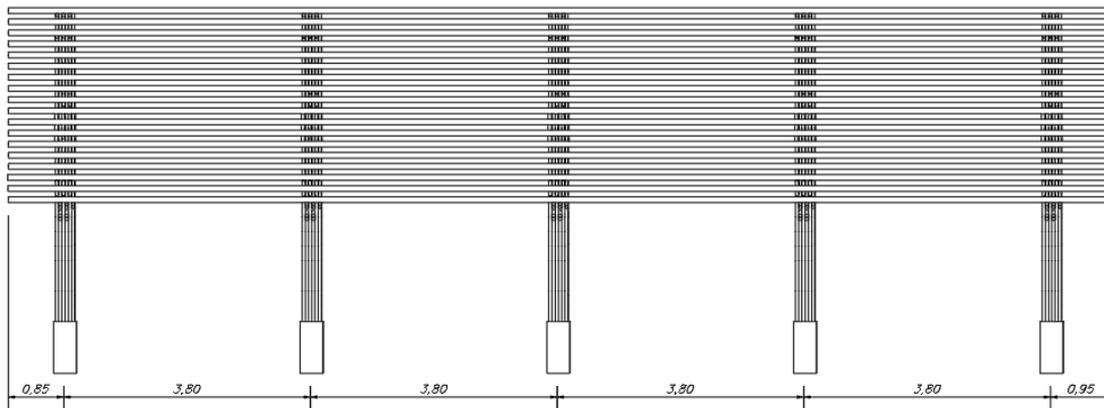


Figura 52: Vista lateral da treliça proposta

3.4.2 Método de Análise estrutural adotado

Embora grande parte das normas internacionais de projeto de estruturas em bambu utilizem o método das tensões admissíveis para o dimensionamento de estruturas, conforme descrito no item 3.6, para o presente trabalho utilizaremos o método dos Estados Limites proposto por Kaminski (2016), Structural use of bamboo, partes 3 e 4, por se tratar de um método que leva em consideração diversas normas internacionais, tais como a ISO 22156(2004) Bamboo – Structural design, ISO 22157-1(2005) Bamboo – Determination of physical and mechanical properties, NSR-10: Colombian code for seismically resistant construction. G12: Structures of timber and Guadua angustifolia Kunth bamboos, BS 5268-2:1996 Structural use of timber and BS EN 1995-1-1(2004) Eurocode 5: Design of timber structures.

Como ferramenta computacional de análise estrutural foi utilizado o software para análise estrutural e dinâmica, linear e não linear, por elementos finitos SAP 2000 versão 10. A fim de simplificar o lançamento e análise dos resultados, considerando que a estrutura proposta apresenta um vão livre de apenas 10 metros, optou-se por lançar a geometria da estrutura com segmentos de reta coincidindo nos nós ao invés das curvas originais, desconsiderando assim, esforços de flexo-compressão.

Os pontos dos eixos foram lançados seguindo o eixo dos nós conforme Figura 53, já na Figura 54, o resultado do lançamento no SAP 2000 a partir de seguimentos de reta.

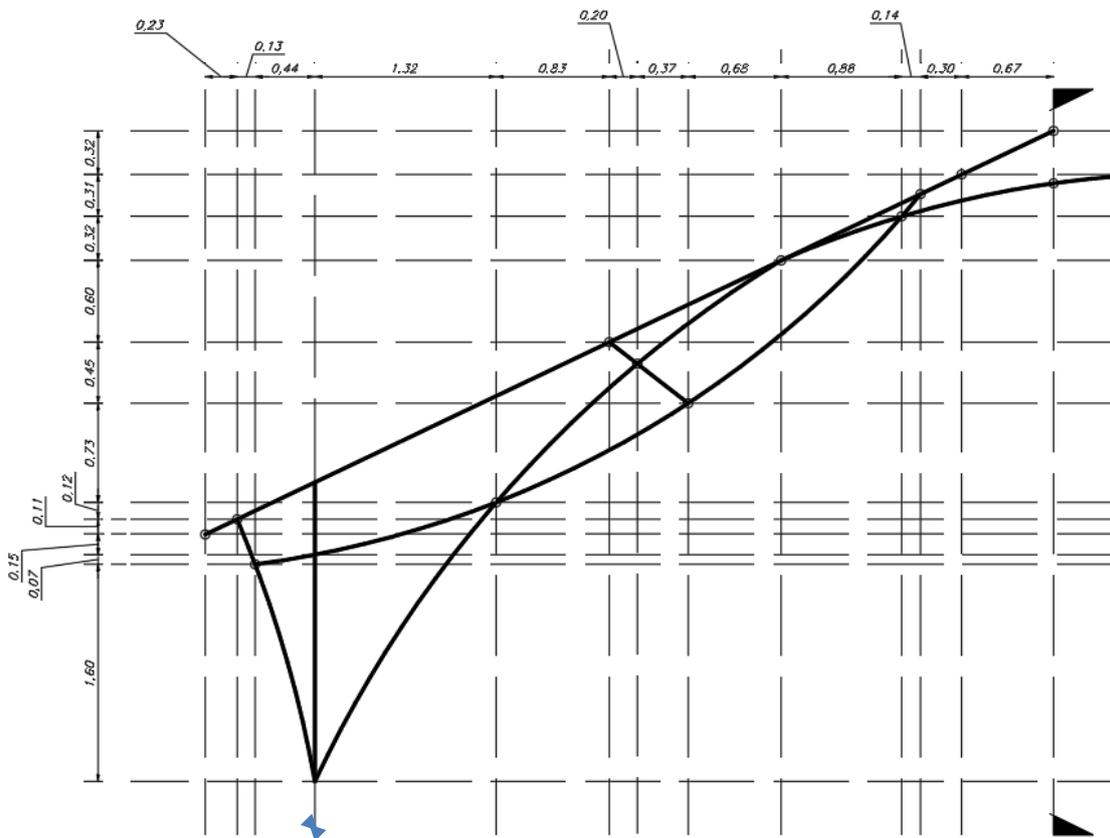


Figura 53: Detalhe de locação dos nós com a geometria real

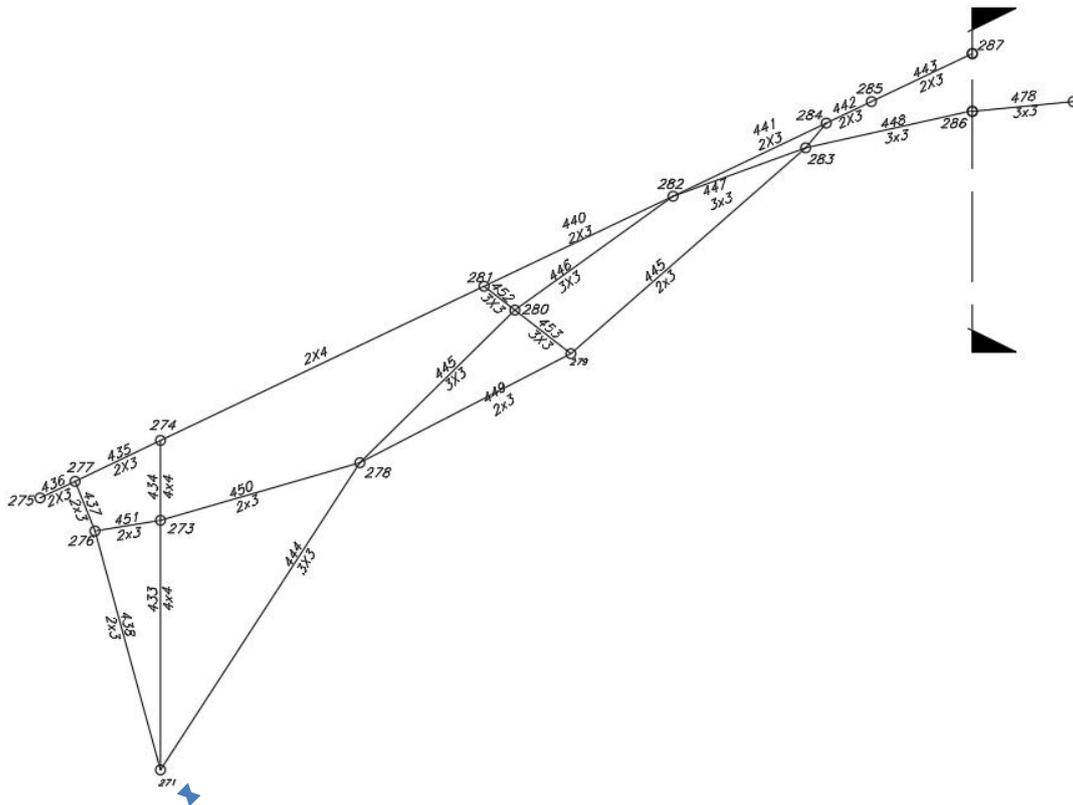


Figura 54: Detalhe de locação dos nós com seguimentos de reta

3.4.3 As seções compostas

As seções de cada peça, ou seja, a quantidade de peças de bambu e a orientação das mesmas, foram pré-definidas pelo autor baseadas nas observações realizadas na visita do estudo de campo e posteriormente ajustada conforme os resultados das análises realizadas. Na Tabela 10 é indicado o número da barra, os nós de início e fim da barra e a quantidade de colmos no eixo Z e no eixo Y.

Tabela 10: Número da barra, nós de início e fim e seção da barra

Barra	Nó		Seção	
	Início	Fim	z	y
433	271	273	3	4
434	273	274	3	4
438	271	276	2	3
437	276	277	2	4
436	275	277	2	3
435	277	274	2	4
439	274	281	2	5
440	281	282	2	3
441	282	284	2	3
442	284	285	2	4
443	285	287	2	3
451	276	273	2	4
450	273	278	2	3
449	278	279	2	3
455	279	283	2	3
456	283	284	2	3
444	271	278	2	4
445	278	280	2	5
446	280	282	2	3
447	282	283	2	3
448	283	286	2	3
478	286	300	2	3
452	281	280	2	6
453	280	279	3	3
9	25	281	1	3

Para melhor compreensão a Figura 55 representa uma barra com seção 2x4 onde é possível observar que a menor quantidade de bambus, e conseqüentemente a menor seção da barra encontra-se no eixo Z e a maior seção no eixo y conforme lançamento estrutural. As demais seções seguem a mesma orientação com exceção das barras de terças e Contraventamentos que seguem outra configuração.

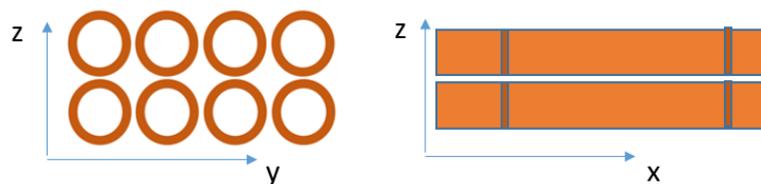


Figura 55: Esquema das seções das barras da treliça.

3.4.4 Configuração das terças

As terças são os elementos que ligam as treliças, e usualmente, no caso das treliças como sistema estrutural, são ligadas nos nós, além de transmitirem cargas verticais para as treliças subsequentes tem a função de apoio para as telhas, para tanto, foi proposto a utilização de uma seção composta de 3 peças ligadas por pinos e cordas a cada 1 metro de seção conforme Figura 56 e 57.

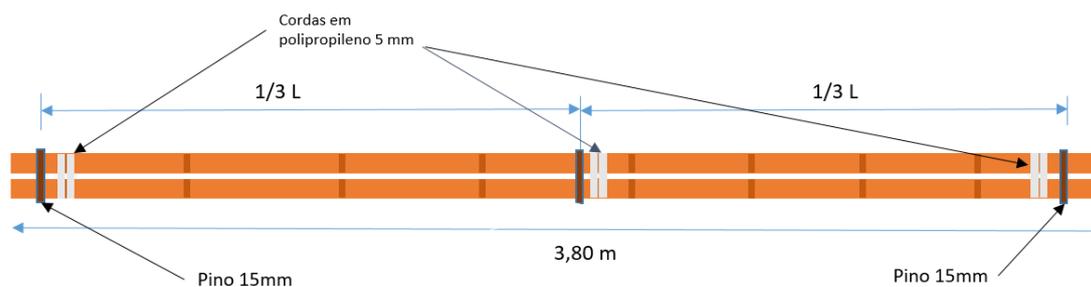


Figura 56: Esquema de montagem das terças



Figura 57: Seção esquemática das terças

Embora o sistema de cobertura proposto para o galpão seja composto por esteiras de bambu e manta asfáltica sendo necessário terças a cada 40 cm, para o lançamento do sistema estrutural no software de elementos finitos optou-se em lançar somente as terças que coincidiam nos nós, contudo, as cargas permanentes de todas as terças somadas à cobertura foram lançadas diretamente no banzo superior das treliças. Portanto, uma vez consideradas todas as cargas, acredita-se que as demais terças não consideradas trará uma segurança ainda maior a estrutura como um todo, pois, tratam-se de elementos que aumentarão a rigidez da estrutura.

3.4.5 Contraventamentos

Os Contraventamentos são sistemas de ligação entre elementos principais de uma estrutura para aumentar a rigidez do conjunto, geralmente composto por diagonais. O sistema de contraventamento será considerado na análise estrutural e a partir desta, serão extraídos os esforços axiais destes elementos, porém, o mesmo não será dimensionado e detalhado neste trabalho.

Para efeito de levantamento de quantitativos da cobertura proposta, serão considerados cabos de aço instalados no plano de cobertura fixados nas treliças por chapas em aço carbono.

3.4.6 Apoios

Os apoios dos treliças serão sobre base em concreto armado simulando uma ligação do tipo flexíveis de segunda ordem. O sistema de apoio e detalhamento desta ligação será abordado no detalhamento das ligações no ANEXO II.

3.4.7 Dados do bambu

- Diâmetro externo (min) - 45 mm
- Espessura da parede (min) - 6,0 mm
- Coeficiente de Poisson - 0,26
- Coeficiente de Expansão térmica CET do bambu – entre 2,5 a $10 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}$ estamos adotando $5 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}$

3.4.8 Cargas na Estrutura

3.4.8.1 Cargas Permanentes

Cobertura

A cobertura proposta para o galpão é composta por esteiras de bambu e manta asfáltica instaladas de forma a garantir a estanqueidade da cobertura. A esteira de bambu é produzida a partir da abertura do colmo no sentido radial, com um pequeno machado o operador aplica golpes de forma aleatória nos nós do colmo, girando-o e seguindo golpeando ao longo de todo o colmo, seguindo de sua abertura e planificação, posteriormente retira-se os nós com uma pá reta e limpando a parte interna do bambu (Figura 58).



Figura 58: Detalhe da cobertura com esteira de bambu e manta asfáltica

A cobertura é executada com duas camadas de esteira, sendo a primeira apoiada diretamente sobre as terças as quais estão posicionadas a cada 40 cm. Logo acima da primeira camada de esteira é instalada a manta asfáltica, garantido assim a estanqueidade da cobertura, e por cima da manta é instalada a outra camada da esteira. Este sistema de cobertura é muito

utilizado nas construções com bambu na Ásia e tem como uma das vantagens a possibilidade de ser instalada em superfícies curvas (Figura 59).



Figura 59: Detalhe da cobertura com esteira de bambu e manta asfáltica

Para a cobertura utilizando esteiras de bambu, será adotado um bambu com uma média de 12 cm de diâmetro, portanto, uma média de 0,36 m² por metro de bambu roliço ou 2,8 metros de colmo de bambu roliço para 1 m² de área. Considerou-se, portanto, duas camadas de esteiras com uma camada de manta asfáltica no meio.

- Peso da cobertura – esteira de bambu e manta asfáltica mais o peso das terças a cada a cada 40 cm = 24 Kg/m²
- Distância entre treliças = 3,80 m
- Carga distribuída sobre as treliças - 24,0 (Kg/m²) x 3,80 (m) = 91 Kg/m

3.4.8.2 Carga Vento

Para a identificação das cargas devido a ação do vento foi utilizado o programa Livre Visual Ventos (<http://www.etools.upf.br>) registrado no INPI No. 0006209, onde foram utilizados os seguintes parâmetros:

Dados Geométricos

b = 10,78 m, a = 18,22 m, b1 = 2 * h, b1 = 2 * 2,62, b1 = 5,24m, h = 2,62 m ,h1 = 2,97 m, β = 28,86 ° e d = 3,80 m

Permeável nas duas direções

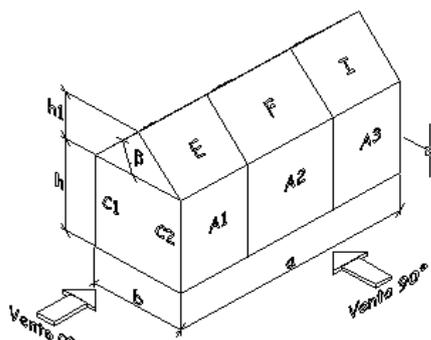


Figura 60: Esquema de direção de vento e geometria do galpão
 Fonte: Visual Ventos (Ftool)

Velocidade básica do vento
 $V_0 = 35,00 \text{ m/s}$

Fator Topográfico (S1)
 Terreno plano ou fracamente acidentado
 $S_1 = 1,00$

Fator de Rugosidade (S2)
 Categoria III - Classe A - Parâmetros retirados da Tabela 2 da NBR6123/88 que relaciona Categoria e Classe
 $b = 0,94$, $Fr = 1,00$ e $p = 0,10$

$$S_2 = b * Fr * (z/10) \exp p$$

$$S_2 = 0,94 * 1,00 * (5,59/10) \exp 0,10$$

$$S_2 = 0,89$$

Fator Estático (S3)
 Grupo 1 - $S_3 = 1,00$

Coeficiente de pressão externa - Paredes

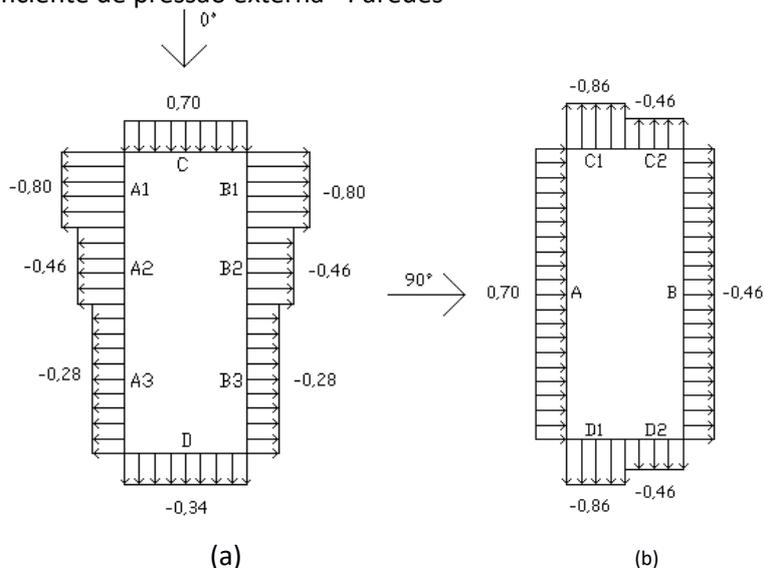


Figura 61: Coeficiente de pressão externa – Paredes - Vento 0° (a) e Vento 90° (b)
 Fonte: Visual Ventos

Coefficiente de pressão externa - Telhado

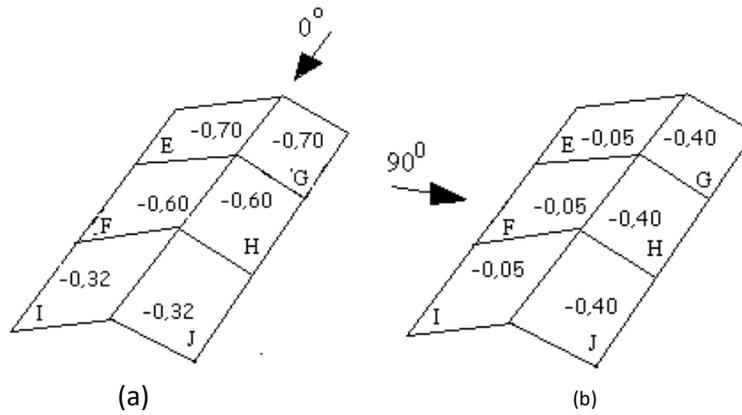


Figura 62: Coeficiente de pressão externa - Teto - Vento 0° (a) e Vento 90° (b)

Fonte: Visual Ventos

Cpe médio = -0,96

Coefficiente de pressão interno

Cpi 1 = -0,30

Cpi 2 = 0,00

Velocidade Característica de Vento

$$V_k = V_o * S_1 * S_2 * S_3$$

$$V_k = 35,00 * 1,00 * 0,89 * 1,00$$

$$V_k = 31,04 \text{ m/s}$$

Pressão Dinâmica

$$q = 0,613 * V_k^2$$

$$q = 0,613 * 31,04^2$$

$$q = 0,59 \text{ kN/m}^2$$

Esforços Resultantes

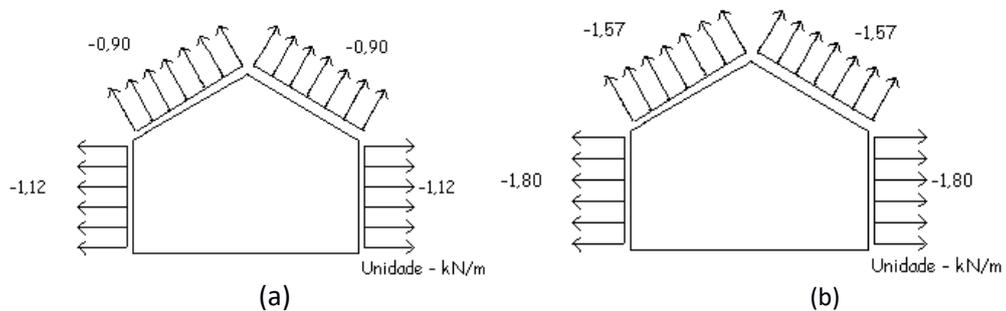


Figura 63: Esforços resultantes - Vento 0° - Cpi = -0,30 (a) e Cpi = 0,00 (b)

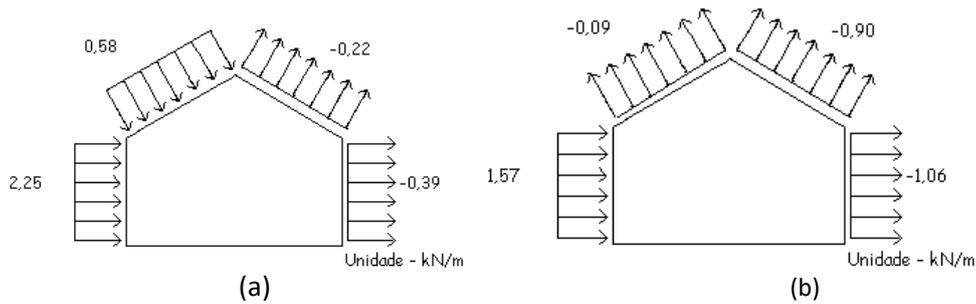


Figura 64: Esforços resultantes - Vento 90° - Cpi = -0,30 (a) e Cpi = 0,00 (b)

3.4.8.3 Combinações de Carga

Considerando a Norma NBR 7190 admite-se que na estrutura em estudo não ocorrerão ações acidentais, assim como sismo, deste modo, as combinações de carregamento serão:

COMB 01 – Ação Permanente

COMB 02 – Ação permanente + Vento de Sucção

COMB 03 – Ação Permanente + Vento de pressão

Além das combinações descritas acima, foram utilizadas as combinações default do SAP 2000, e para a verificação das peças foi utilizada a envoltória dos esforços, máximos e mínimos esforços a compressão axial, tração axial, momento fletor e cortante.

3.4.9 Método de verificações das seções

3.4.9.1 Verificação quanto ao momento fletor

Para a verificação quanto ao momento fletor, Kaminski (2016) propões a utilização do módulo elástico da seção no qual utiliza a equação 15 que leva em consideração o diâmetro externo e a espessura da parede do elemento de forma individual e não o conjunto de bambus formando uma barra, pois, segundo Kaminski, até o momento, um sistema de conexão que permite a ação composta entre os colmos em flexão não foi desenvolvido.

$$S_{elastic} = \frac{\pi \left(D_e^4 - [D_e - 2t]^4 \right)}{32D_e} \quad [15]$$

Onde:

$S_{elastic}$ – Módulo Elástico da seção (mm³)

D_e – Diâmetro externo (mm²)

t – Espessura da parede (mm)

A partir do momento elástico é possível determinar o momento máximo de projeto pela equação 16:

$$M_m = X_{m,d} S_{elastic} \quad [16]$$

Onde:

M_m – momento máximo de projeto do elemento (N.mm)

X_{md} – Módulo de ruptura de projeto (N/mm²)

$S_{elastic}$ – Módulo Elástico da seção (mm³)

3.4.9.2 Cortante

Segundo Kaminski, a capacidade de cisalhamento de um elemento, ou cortante máxima de projeto, pode ser determinada assumindo uma distribuição de tensão elástica utilizando toda a seção do colmo e com base na espessura da parede média e diâmetro, podendo ser determinada pela equação 17:

$$F_v = X_{v,d} k_{cr} \frac{3\pi t (D_e^4 - (D_e - 2t)^4)}{8 (D_e^3 - (D_e - 2t)^3)} \quad [17]$$

Onde

F_v – Cortante máxima de projeto (N)

$X_{v,d}$ – Tensão máxima de cortante (N/mm²)

D_e – Diâmetro externo (mm)

t – Espessura da parede (mm)

K_{cr} – Fator de redução por rachaduras

As rachaduras longitudinais nos bambus são comuns e difícil de evitar, podem ou não ocorrer dependendo de diversos fatores como secagem adequada e época de colheita, portanto, recomenda-se a aplicação de um fator de redução K_{cr} , semelhante ao utilizado na BS EN 19951-17. Recomenda-se para o K_{cr} um fator de redução de 0,5 que representa o risco de uma única divisão através da parede do colmo.

3.4.9.3 Verificação quanto a Tração axial

Para a tração axial, a capacidade de um colmo de bambu é limitada pela capacidade elástica das fibras, no entanto, este esforço raramente é utilizado em sua totalidade em uma ligação em estruturas de bambu, pois geralmente as ligações falharão por cisalhamento paralelo às fibras antes de terem suas fibras rompidas por tração axial, para tanto, a força máxima de tensão axial de projeto poderá ser determinada utilizando a área líquida da seção, excluindo-se os furos necessários para instalação de barras ou pinos, e com base na espessura da parede média e diâmetro externo do colmo.

Os ensaios para determinação da força de tensão paralela às fibras são bastante complexos, e, considerando que em uma estrutura este esforço geralmente não é utilizado em sua totalidade, optou-se em não realizar este ensaio no presente estudo, para tanto, foram utilizados os dados fornecidos por Kaminski (2016) para todos os bambus conforme apresentado na Tabela 11.

Tabela 11 Forças características de projeto $f_{i,k}$ para bambu seco*, maduro**, livre de defeitos visuais (fendas, apodrecimento, etc.) e assumindo uma carga de teste de 10 minutos (N/mm^2).

Forças características de projeto $f_{i,k}$ para bambu seco*, maduro**, livre de defeitos visuais (fendas, apodrecimento, etc.) e assumindo uma carga de teste de 10 minutos				
	Flexão f_{mk} (N/mm^2)	Cortante $f_{v,k}$ (N/mm^2)	Tração paralela às fibras $f_{t,0,k}$ (N/mm^2)	Compressão paralela às fibras $f_{c,0,k}$ (N/mm^2)
<i>Guadua angustifolia</i> Kunt cultivado na Colômbia	35 a 50	3 a 5	40	20
Para todas as espécies de bambu	30	2	40	20
C24 softwood (para compração)	24	3	14	22
* 12% de conteúdo de umidade				
** Dentro da faixa etária "madura" - entre 3 e 5 anos				

Fonte: Adaptado de Kaminski (2016)

Deste modo, para a verificação das barras à tração axial utilizaremos a equação 18:

$$F_T = X_{t,0,d} A \quad [18]$$

Onde:

F_t = Força máxima de tração axial de projeto (N)

$X_{t,0,d}$ – Força de tensão axial de projeto (N/mm^2)

A – área da seção transversal (mm^2)

3.4.9.4 Verificação quanto a compressão axial

A capacidade de um colmo de bambu para resistir a esforços de compressão axial paralelo às fibras é limitada pelo esmagamento local das fibras em peças curtas, por separação das fibras em peças medianas e por flambagem global de Euler para peças longas. A força admissível a compressão axial pode ser determinada pelas equações sugeridas por Kaminski (2016) que leva em consideração o índice de esbeltez da peça que determina se a peça é curta, média ou longa. Para tanto, primeiramente determina-se o índice de esbeltez da peça conforme equação 19 devendo ser inferior a 150 ($\lambda < 150$).

$$\lambda = \frac{l_e}{r} \quad [19]$$

Onde:

λ – Índice de esbeltez

l_e - segundo momento de área de cada colmo individual que forma a seção (mm^4)

r – raio de giro (mm)

O raio de giro pode ser determinado pela equação 20 sugerida por Kaminski (2016).

$$r = \sqrt{\frac{0,9I}{A_{tot}}} \quad [20]$$

Onde:

A_{tot} – Somatória das áreas das seções compostas (mm^2)

I - segundo momento de área de cada colmo individual que forma a seção (mm^4)

$$A_{tot} = \sum A_i$$

Para tanto utilizamos a equação 21 para determinar o momento de inércia da seção.

$$I_{test} \approx I_{composite} = \sum (A_i \cdot d_i^2) + \sum I_i \quad [21]$$

A Tabela 12: indica quando a peça é curta, média ou longa a partir do índice de esbeltes.

Tabela 12: Classificação da peça comprimida em função do índice de esbeltez.

Classificação da peça comprimida	Índice de esbeltes
Curta	$\lambda < 30$
Intermediária	$30 < \lambda < C_k$
Longa	$C_k < \lambda < 150$

Fonte: NSR-10 –G12

Para elementos com $\lambda < 30$ utilizamos a equação 22:

$$F_c = X_{c,0,d} A_{tot} \quad [22]$$

F_c - Força máxima de compressão do elemento (N)

A_{tot} – Área total do elemento (mm²)

Para elementos com $30 < \lambda < C_k$ utilizamos a equação 23:

$$F_c = A_{tot} X_{c,0,d} \left(1 - \frac{2}{5} \left[\frac{\lambda}{C_k} \right]^3 \right) \quad [23]$$

Onde:

F_c - Força máxima de compressão do elemento (N)

A_{tot} – Área total do elemento (mm²)

$X_{c,0,d}$ – Força característica de compressão de projeto (N/mm²)

λ – Índice de esbeltez

C_k - coeficiente de contorno entre elementos finos intermediários e longos para compressão axial determinado a partir da equação 24:

$$C_k = \pi \sqrt{\frac{E_{0,05}}{\gamma_E X_{c,0,d}}} \quad [24]$$

Onde:

$E_{0,05}$ – módulo de elasticidade percentil cinco (N/mm²)

γ_E - fator do material de segurança para o módulo de elasticidade, (1,5)

$X_{c,0,d}$ – Força de compressão característica de projeto (N/mm²)

Para elementos $C_k < \lambda < 150$ utilizamos a equação 25:

$$F_c = N_e = \frac{\pi^2 A_{tot} E_{0,05}}{\gamma_E \lambda^2} \quad [25]$$

N_e - Carga crítica de Euler para compressão axial (N)

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Estudo de Caso – Coberturas no Vietnã

Durante as visitas a obras no Vietnã com sistema construtivo baseado em treliças com feixes de bambus de pequenos diâmetros, procurou-se investigar todos os processos desde a colheita da espécie utilizada, passando pelo seu tratamento, processo de fabricação, montagem, detalhes construtivos e finalmente os processos de acabamento e manutenção.

4.1.1 As espécies identificadas

São utilizadas basicamente duas espécies de bambu nas construções com feixes, sendo que, ambas espécies possuem algumas características similares, as paredes são espessas, podendo ser sólidos principalmente na parte basal, abas são espécies do tipo entouceirante, ou seja, não são invasivas.

Uma das espécies é o *Dendrocalamus strictus* (Figura 65) conhecido como Iron Bambu, tem sido cultivado em diversos países tropicais e temperado do mundo (PROTA, 2015; USDA-ARS, 2015). É utilizado para diversos fins, alimentação, fabricação de papéis, mobiliário e até construções, apresenta colmos entre 7 a 17 metros de comprimento e diâmetros entre 3 e 4,5 cm, é nativo da Ásia, mas atualmente tem sido cultivado em diversos países inclusive no Brasil.



Figura 65: Touceira de *Dendrocalamus strictus*.

Fonte: <http://www.bambooland.com.au/dendrocalamus-strictus>

A outra espécie de bambu utilizada nas construções com feixes é a *Thyrsostachys siamensis* (Figura 66), apresenta colmos entre 4 a 14 metros de comprimento e diâmetros entre 3 e 8 cm, é nativo da região da península da indochina, ocorre principalmente em Myanmar, Tailândia, Vietnã, Laos e Cambodia. É largamente utilizado nestes países na produção de brotos comestíveis, paisagismo, infraestrutura rural, decoração, entre outros. É um bambu com paredes muito espessas tendo uma aparência quase maciça.



Figura 66: Detalhe da touceira do bambu *Thyrsostachys siamensis*

É comum encontrar no Vietnã colmos para venda em lojas de material de construção, ou em alguns casos, alguns utensílios já prontos para venda.



Figura 67: bambus vendidos em loja de materiais de construção no Vietnã

4.1.2 Características da colheita

Os colmos são colhidos maduros, no caso das espécies citadas, entre 3 e 4 anos a partir do nascimento do broto, semelhante a maioria das espécies de bambu utilizados para a construção. Segundo informações da Bambubuild, os bambus são cortados na estação seca pois, quando se colhe na estação chuvosa a quantidade de água nos colmos é muito alta, além disso, a touceira se encontra em processo de intenso metabolismo, soltando novos brotos, portanto muitos nutrientes o que pode ser um atrativo a mais para os organismos degradadores, portanto, a colheita na época seca favorece a qualidade dos colmos e a saúde da touceira. O corte dos colmos maduros é realizado rente ao chão e é deixado de 3 a 4 dias na mata para que o colmo perca umidade livre, reduzindo assim seu peso e facilitando o transporte que é realizado por caminhões até os locais de tratamento.

4.1.3 O tratamento

Os bambus colhidos são encaminhados a centrais de tratamento preservativo, em alguns casos onde é necessário que o bambu seja curvado para compor a estrutura é utilizado fogo, o processo de curvamento do bambu é possível devido ao aquecimento das fibras do bambu onde os colmos após passar pelo aquecimento seguem para um gabarito onde são posicionados e resfriados, sendo que, após o resfriamento se mantém na posição curvada após a retirada do gabarito, e logo em seguida são encaminhados ao tratamento. (Figura 68)



Figura 68 Aquecimento com fogo para viabilizar a curvatura da vara.

Fonte: Bambubuild, 2017

Outra forma de promover o curvamento dos bambus é posicionar as varas em gabarito logo após sua colheita, momento em que as fibras ainda se encontram mais flexíveis e o bambu apresenta menor resistência para ser curvado, desta forma, em alguns poderá ser retirado do gabarito mantendo a curvatura desejada (Figura 69)



Figura 69 bambus recém colhidos posicionados em gabarito.

Fonte: Bambuild, 2017

Em alguns casos são utilizadas lanças-chamas alimentadas por botijões de GLP para esquentar os colmos e realizar a moldagem nos gabaritos (Figura 70)



Figura 70: Bambus sendo curvados com auxílio de maçarico para aquecimento.

Fonte: Bambuild, 2017

Os bambus após curvados são furados e passam por um tratamento por imersão em água fervente com solução de bórax, deste modo o produto químico impregna nos colmos com maior facilidade, o tempo de ebulição depende da quantidade de bambu, no entanto, os trabalhadores sempre se baseiam na cor do bambu para determinar se já suficiente, quando a cor do bambu começa a ficar marrom, é possível terminar o processo. Este processo de fervura dos colmos com bórax tem um custo e tempo reduzido em comparação a outros métodos tradicionais. Não foi possível identificar a proporção de bórax, a temperatura da água e o tempo de cozimento.



Figura 71: Detalhe do tratamento por imersão em tanque.

Fonte: Bambuild, 2017

Existe uma forma de tratamento muito utilizada no Vietnã principalmente pelas comunidades tradicionais devido ao baixo custo que consiste na imersão dos colmos em água com grande concentração de sólidos suspensos. Não foi possível identificar a composição mineral da água. Após a colheita, o bambu é totalmente imerso nesta água com a ajuda de pesos, podendo ser pedras ou tonéis com água pois o bambu geralmente flutua na água. Esta forma de tratamento é simples e fácil de executar, não necessita de equipamentos, porém, apresenta algumas desvantagens, é um processo lento que pode durar de 6 meses a 1 ano, é necessária uma área grande e após este tempo imerso o bambu apresenta um cheiro desagradável.



Figura 72: Detalhe do tratamento por imersão em água com alta concentração de sólidos suspensos.

Fonte: Bambuild, 2017

4.1.4 A secagem

Após a colheita e o tratamento com bórax e ácido bórico, o bambu passa por um processo de secagem, onde é colocado sobre a sombra para secagem ao ar evitando assim a radiação solar intensa, os colmos são posicionados na vertical para economia de espaço e evitar a formação de fungos, o posicionamento na vertical evita também que a sobreposição de peças cause rachaduras por compressão.



Figura 73: Secagem do bambu ao ar livre.

Fonte: Bambuild, 2017

Em média após duas semanas posicionados na vertical os colmos são direcionados a armazenagem em local coberto e ventilado, desta forma pode permanecer por longos períodos antes de serem utilizados na produção das treliças.

4.1.5 As ligações

As ligações utilizadas tanto nas construções de Vo Trong Nghia Architects quanto nas da Bambuild Architects são realizadas da mesma maneira, basicamente com pinos de bambu e amarras em cordas de polipropileno inspiradas nas ligações tradicionais utilizadas em toda a Ásia. Os bambus são posicionados de forma intercalada e nos pontos de ligação, são perfurados com uma broca longa onde imediatamente são posicionados os pinos, posteriormente, afim de garantir a rigidez da estrutura, a cada 1,5 a 2 metros são instaladas amarras com corda de polipropileno conforme apresentado nas Figuras 74 a 77.



Figura 74: Detalhe das ligações com pinos e cordas de nylon.

Fonte: Bambuild, 2017

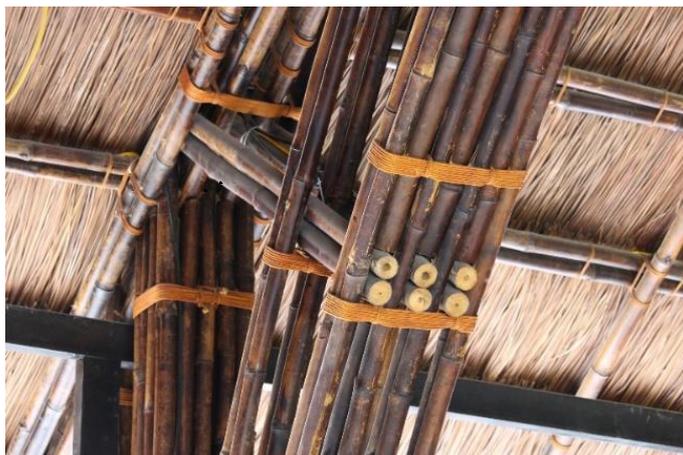


Figura 75: Detalhe das ligações com pinos e cordas de nylon. Fonte: Bambuild, 2017



Figura 76: Detalhe das ligações com pinos e cordas de nylon. Fonte: Bambuild, 2017

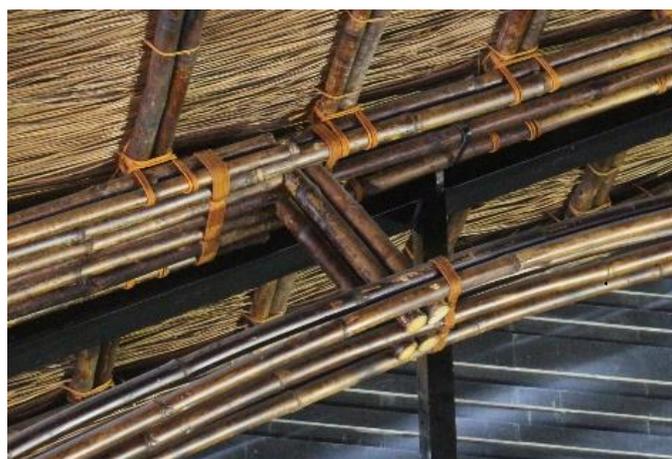


Figura 77: Detalhe das ligações com pinos e cordas de nylon. Fonte: Bambuild, 2017

O pino é o principal elemento de ligação entre as peças de bambu, considerando que em treliças os esforços axiais de compressão e tração são predominantes, a resistência aos esforços ocorre na ligação do pino com bambu, no caso, de cisalhamento perpendicular às fibras no pino, já no colmo, ocorre esforços de cisalhamento paralelo às fibras além de tração perpendicular.

4.1.6 Fundações

As fundações são em concreto armado, sempre com um bloco para apoio dos pilares onde é deixado um arranque em tubo metálico oco para a fixação dos apoios das treliças. Os pilares são posicionados sobre o bloco de fundação com o tubo metálico centralizado, após o posicionamento da treliça, procede-se a perfuração dos colmos da base juntamente com o tubo os quais são ligados por barras metálicas ou pinos de bambu.



Figura 78: Detalhe da fundação – Foto do autor, obra Bambuild

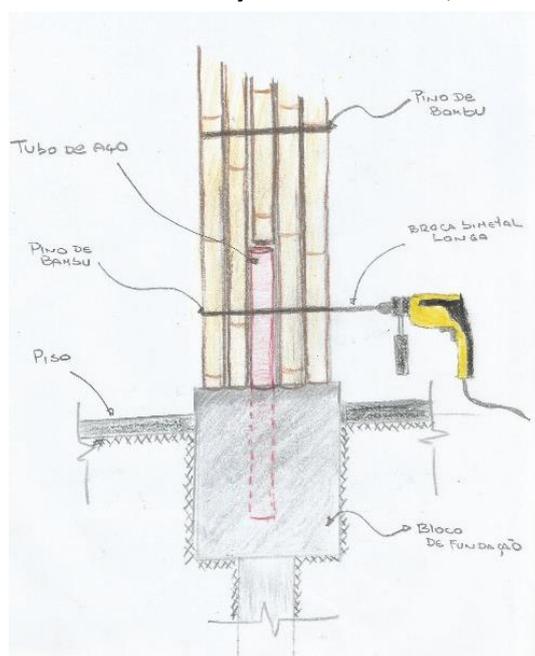


Figura 79: Detalhe da fixação da treliça na fundação

4.1.7 Pré-fabricação

Assim que os bambus passam pelo tratamento, já curvados conforme projeto quando necessário, os treliças são montados em gabaritos geralmente no local da obra sobre uma superfície plana proporcionando um correto nivelamento da estrutura a ser pré-fabricada. São utilizados tubos de aço para garantir a estabilidade do gabarito (Figura 80 a 82). Os colmos são posicionados de forma intercalada e assim que todas as peças são posicionadas procede-se a perfuração dos colmos para instalação dos pinos.



Figura 80: Detalhe do gabarito.

Fonte: Bambuild 2018



Figura 81: bambus recém colhidos posicionados em gabarito.

Fonte: Bambuild, 2017



Figura 82: bambus recém colhidos posicionados em gabarito.

Fonte: Bambuild, 2017

4.1.8 Montagem

Após a pré-fabricação, as treliças são posicionadas sob as fundações em concreto armado executadas previamente conforme descrito no item 4.1.6, com auxílio de equipamentos de movimentação de carga (Figura 83 e 84).



Figura 83: Posicionamento das treliças.

Fonte: Bambuild, 2017



Figura 84: Peças posicionadas
Fonte: Bambuild, 2017

4.1.9 A cobertura

Em todas as construções visitadas e as demais construídas com o sistema de treliças com feixes de bambu é utilizado o mesmo tipo de cobertura, trata se de uma espécie vegetal chamada *Gleicheniaceae* (Figura 86 e 87). A *Gleicheniaceae* cresce na Índia, China, Laos, Vietnã e Sudeste Asiático. No Vietnã, geralmente cresce nas colinas do Norte e Central onde é utilizada para a confecção de produtos artesanais, sextas vassouras, tapetes, esteiras, entre outros. É colhida de forma artesanal e atualmente custa aproximadamente U\$ 3,0 / kg, uma importante renda para as comunidades que tem seu sustento da venda deste material.



Figura 85: Detalhe da planta (esquerda) e dos feixes prontos para instalação (direita).
Fonte Bambuild 2018



Figura 86: Detalhe da cobertura (esquerda) e iniciando a instalação (direita).

Fonte Bambuild 2018

Segundo informações da Bambuild, a cobertura feita com a *Gleicheniaceae* é durável, pois além de ser bem espessa, a água da chuva não acumula, deste modo, pode durar até 15 anos, durabilidade bem superior a coberturas com folhas de palmeiras e até a piaçava. Após seca possui uma cor âmbar e brilhante, principalmente a parte interna da construção, apresentando uma estética digna de resorts de alto padrão. Contudo, em poucos anos a parte externa apresenta uma coloração acinzentada devido a oxidação da matéria vegetal (Figura 87)



Figura 87. Cobertura instalada em processo de oxidação.

Fonte: Foto do autor

Segundo informações dos construtores, a proteção ao fogo se dá por meio da aplicação de produtos que retardam as chamas e evitam a sua propagação.

4.1.10 Acabamentos

Em alguns casos os treliças montadas em solo recebem a aplicação de produtos para proteção, não foi possível identificar o produto utilizado. Após a montagem da estrutura e instalação das coberturas os bambus são limpos com pano úmido e em alguns casos são aplicados vernizes para a proteção de raios UVA e UVB.

Em outros casos, após o tratamento por imersão em lama, os colmos são limpos e passam por um processo de defumação. Os colmos são colocados sobre forno de tijolos (Figura 88) de modo que recebem chama diretamente, mas somente defumados, dependendo da quantidade de tempo o bambu fica mais escuro passando de marrom para preto. Este processo de defumação fará com que o bambu seque mais rápido, portanto, mais resistente e só é realizado nos colmos tratados por imersão em lama.



Figura 88: Detalhe do forno para defumação dos colmos

4.1.11 Manutenção

Segundo informações dos arquitetos da Bambubuild, a manutenção é realizada sempre que a inspeção visual detectar alguma necessidade de manutenção, no caso, como os bambus são bem protegidos da radiação solar, chuva e umidade, a limpeza da poeira acumulada deve ser a principal ação de manutenção. Outro ponto importante é acompanhar o comportamento da cobertura ao longo do tempo, segundo informações, a cobertura pode durar até 15 anos, para tanto, deve-se evitar o acúmulo de água na palha com medidas de projeto e eventualmente corrigir alguma possível infiltração.

4.2 Resultado dos Ensaio de Caracterização do *Bambusa tuldoides*

4.2.1 Características Físicas

Os colmos coletados do *Bambusa tuldoides* apresentaram pequena variação dimensional nos diâmetros e na espessura de parede (Tabela 13), no entanto, observa-se uma redução significativa da espessura da parede na parte basal e média com redução de mais de 5 mm. Desta forma, embora os colmos do *Bambusa tuldoides* apresentem comprimento médio total de 8 metros (Culzoni, 1986), considerando a pequena dimensão da parede na parte média, recomenda-se o aproveitamento *Bambusa tuldoides* na produção de estruturas somente até 5 metros de comprimento de vara, pois, a partir daí, a pequena espessura de parede pode comprometer a eficiência das ligações, principalmente quando na utilização de barras metálicas

ou pinos. Contudo, utilizando a técnica de transpasse de colmos com a utilização de pinos e cordas é possível construir peças compostas com comprimentos superiores a 15 metros.

Tabela 13: Diâmetro e espessura da parede dos colmos do Bambusa tuldooides nas partes média e basal.

Colmo	Parte basal		Parte média	
	D médio (mm)	t médio (mm)	D médio (mm)	t médio (mm)
1	38,25	12	37	6,5
2	41	11	38,75	5,25
3	39,5	11,75	37,5	5
4	36,75	11,25	35,5	5,75
5	41,5	11,5	39,25	5,25
6	36,25	10	36	4,5

D – Diâmetro médio, t – Espessura de parede

4.2.2 Massa específica básica

Foram realizadas as medições para 10 corpos de prova sendo que os valores apresentados para a parte basal variaram entre 835 a 948 kg/m³ e a parte média variou entre 1013 a 1083 kg/m³, ou seja, a densidade aumenta no sentido vertical do colmo da base para o topo (Tabela 14).

Tabela 14: Resultados de massa específica básica, amostras da parte basal e média.

Nr	Amostra	Mea (kg/m ³)
6	4B	898
7	5B	948
8	8B	931
9	10B	939
10	12B	835
Média		931
CV %		0,05%

Nr	Amostra	Mea (kg/m ³)
1	1M	1033
2	2M	1069
3	4M	1083
4	11M	1043
5	12M	1013
Média		1056
CV %		0,03%

B - Corpo de prova parte basal, M - Corpo de prova da Parte Média do colmo

4.2.3 Compressão paralela às fibras

Os resultados para a resistência à compressão do *Bambusa tuldoides* apresentados nas Tabelas 15 e 16 demonstram uma maior carga de ruptura nas amostras da parte basal em relação a parte média. Isto se deve ao maior diâmetro do colmo na parte basal, no entanto, os valores de tensão de compressão foram superiores nas amostras da parte média, isto se deve a maior densidade de fibras por área.

Tabela 15: Resultados dos ensaios a compressão paralela em amostra da parte basal.

Amostra	% de umidade	Fult(N)	σ ult(N/mm ²)
1-B	12,22	58770,4	59,4
2-B	11,83	69077,0	66,7
3-B	12,56	70636,2	69,0
4-B	11,53	52317,7	58,1
5-B	12,16	50130,8	46,3
6-B	12,37	35685,9	43,3
Média			57,1
Coeficiente de Variação -CV(%)			18,31

Tabela 16: Resultados dos ensaios a compressão paralela em amostra da parte média.

Amostra	% de umidade	Fult(N)	σ ult(N/mm ²)
1-M	11,03	42020,9	67,5
2-M	10,61	46649,5	84,5
3-M	10,39	42589,6	83,5
4-M	10,69	44600,0	83,0
5-M	10,49	41295,2	73,7
6-M	10,30	39922,3	89,7
Média			80,3
Desvio Padrão			8,13
Coeficiente de Variação -CV(%)			10,13

4.2.4 Cisalhamento Paralelo às fibras

A Tabela 17 apresenta resultados para o cisalhamento paralelo às fibras, é possível observar valor médio de tensão de cisalhamento paralelo às fibras na ordem de 12,2 N/mm² variando de 7,6 N/mm² até 15,9 N/mm². Nos ensaios realizados não foi observado diferença significativa das amostras com nó e sem nó.

Tabela 17: Resultados dos ensaios a cisalhamento paralelo às fibras

Colmo 02	Fult(N)	σ_{ult} (N/mm²)
B-sheer c/N	15701,0	7,6
M-sheer c/N	10375,8	10,2
B-sheer -S/N	19290,4	10,8
M-sheer S/N	8747,8	10,9
Colmo 03	Fult(N)	σ_{ult} (N/mm²)
B-sheer c/N	29538,7	13,7
M-sheer c/N	12415,7	13,1
B-sheer -S/N	21801,0	10,5
M-sheer S/N	12376,4	15,9
Colmo 04	Fult(N)	σ_{ult} (N/mm²)
B-sheer c/N	24762,7	15,0
M-sheer c/N	10777,9	12,1
B-sheer -S/N	18123,3	12,0
M-sheer S/N	10581,8	14,1
Média		12,2
CV%		19,2

4.2.5 Ensaio a flexão estática

Os resultados do ensaio a flexão estática na Tabela 18 apresentam valores médios para o Módulo de Elasticidade de 34.113 N/mm² e o Módulo de Ruptura na ordem de 155 N/mm². Os resultados apresentaram pouca variação.

Tabela 18: Resultados dos ensaios a flexão estática

Corpo de prova	% umidade	MOE (N/mm²)	σ_{ult} (N/mm²)
Flexão -Médio 01	10,21	30586,45	126,92
Flexão -Médio 02	10,50	31676,39	144,87
Flexão -Médio 03	10,40	32755,50	150,63
Flexão -Médio 04	11,15	35924,27	174,78
Flexão -Médio 05	10,48	34186,65	166,51
Flexão -Médio 06	10,00	35852,26	157,73
Flexão -Médio 07	10,94	30036,75	156,10
Flexão -Médio 08	10,72	34893,90	149,08
Flexão -Médio 09	10,45	36768,80	149,91
Flexão -Médio 10	10,32	36740,61	164,31
Flexão -Médio 11	14,12	35283,74	161,05
Flexão -Médio 12	12,07	34651,22	164,59
Média		34113,04	155,54
Coeficiente de Variação (CV)%		6,81	8,03

4.2.6 Resistência Característica de projeto

Com os resultados dos ensaios, foi possível aplicar as equações propostas por Kaminski (2016) a fim de determinar as resistências características de uma população para cada parâmetro conforme Tabela 19.

Tabela 19: resistências características de uma população

Fc0k (MPa)	Fvk (MPa)	Ftk = Fc0k (MPa)	E (Mpa)	MOR (Mpa)
44,2	4,95	44,2	22.500	98,5

Onde:

Fc0k - Resistencia característica a Compressão (Mpa)

Fvk - Resistencia característica a Cortante (MPa)

Ftk - Resistencia característica a tração (MPa)

MOR - Módulo de Ruptura a flexão estática (MPa)

Resistência de projeto

As resistências de projeto para cada parâmetro mecânico é apresentado na Tabela 19. Se compararmos aos valores apresentados por Kaminski (2016) na Tabela 20, para o bambu da espécie *Guadua angustifolia Kunth*, além do esquema para qualquer espécie, é possível observar uma proximidade entre os valores.

Tabela 19: Resistências Características de projeto

Fc0k (MPa)	Fvk (MPa)	Ftk = Fc0k (MPa)	E (Mpa)	MOR (Mpa)
20	2,2	20	9.940	43

Tabela 20 Forças características $f_{i,k}$ para projeto com bambu seco* e maduro**, livre de defeitos visuais (rachaduras, apodrecimento, etc.) e assumindo uma carga de teste de 10 minutos (N / mm²)

	Flexão (N/mm ²)	Cortante (N/mm ²)	Tração paralela às fibras (N/mm ²)	Compressão paralela às fibras (N/mm ²)
<i>Guadua angustifolia Kunt</i> Colombiano	35 -50	3 - 5	40	20
Para todas as espécies de bambu	30	2	40	20
C24 softwood (para comparação)	24	3	14	22
* a 12% de conteúdo de umidade				
** dentro da idade de maturação - entre 3 e 5 anos				

Fonte: adaptado de Kaminski (2016)

Os valores apresentados na Tabela 19 serão utilizados para as verificações quanto a esforços axiais, momento fletor e cortante das barras que irão compor o sistema estrutural proposto.

4.3 Resultados dos ensaios para as ligações

Os resultados para as ligações perpendiculares (Tabela 21) ficaram entre 301 e 2607 kgf de carga axial até a ruptura do corpo de prova, com isso, o coeficiente de variação ficou próximo a 54%, optou-se então, eliminar as amostras 01 e 11 que apresentaram valores extremos muito fora da curva, pois, observou-se que na amostra 01 o atrito gerado no bambu pelo aperto das cordas de polipropileno foi determinante no resultado, já na amostra 11, a ruptura ocorreu no limite de resistência do pino com baixa influência do atrito gerado pelo aperto das cordas.

Deste modo, a média dos resultados considerou apenas as 10 amostras restantes, ainda com boa representatividade, resultando em uma média de 991 Kgf e um Coeficiente de variação de 26,84%.

Após a realização dos ensaios foram retiradas pequenos pedaços de cada corpo de prova e pesados a fim de verificar a umidade no momento do ensaio. Os corpos de prova passaram por estufa a (103 ± 2) °C até atingirem 0% de umidade e posteriormente pesados. A umidade média dos corpos de prova no momento do ensaio foi de 11,03%.

Tabela 21: Resultados dos ensaios das ligações em paralelo e umidade no momento do ensaio

CP	Umidade (%)	F(Kgf)
1	10,94	2607
2	12,06	408,7
3	12,10	1099,2
4	11,88	943,6
5	9,81	758,8
6	13,02	1293,8
7	10,44	885,2
8	10,20	1001,9
9	9,20	1303,5
10	10,52	1138,1
11	11,68	301
12	10,48	1079,8
média	11,03	991,26
CV %	10,14	26,84

Foi possível observar que nas ligações paralelas ensaiadas, a ruptura ocorreu no pino a cisalhamento perpendicular às fibras (Figura 89), possibilitando assumir que quanto maior a resistência do pino a este esforço, maior será a carga de ruptura da ligação até o limite do cisalhamento do bambu, podendo variar em função da espessura da parede do bambu e do diâmetro externo, portanto, sugere-se, que em próximos estudos, novos ensaios destas ligações sejam realizados com a adoção de barras de aço ou até mesmo com madeiras de resistência a cisalhamento perpendicular as fibras maiores que do *Eucalyptos dunnii*.



Figura 89: Detalhe da ruptura do pino

Outro ponto importante observado, é que, a grande variabilidade de resultados entre as amostras resultou em um alto coeficiente de variação, sendo possível inferir que a corda de polipropileno influenciou diretamente nos resultados, principalmente devido ao atrito gerado entre os colmos pelo aperto das amarras, porém, não foi possível estimar esta influência.

Os resultados para as ligações perpendiculares ficaram entre 242 e 495 kgf de carga axial até a ruptura do corpo de prova, com uma média de 396 kgf e coeficiente de variação de 17,9%. Após a realização dos ensaios foram retiradas pequenos pedaços de cada corpo de prova e pesados a fim de verificar a umidade no momento do ensaio. Os Corpos de prova passaram por estufa a (103 ± 2) °C até atingirem 0% de umidade e posteriormente pesados. A umidade média dos corpos de prova no momento do ensaio foi de 11,16%.

Para a determinação da umidade média optou-se em eliminar as amostras 01 e 02, pois, houve falha no preparo da amostra deixando pequenos fios de fibras de bambu soltos que foram queimados na estufa proporcionando uma inexatidão do resultado final destas duas amostras, contudo, foi possível determinar a umidade média com as dez amostras restantes.

Tabela 22: Resultados dos ensaios para ligações perpendiculares

Amostra	Umidade (%)	F(Kgf)
1	-	369,2
2	10,4	476,1
3	10,1	359,5
4	9,8	242,9
5	11,8	408,1
6	14,7	359,5
7	10,7	495,6
8	10,7	476,1
9	12,6	398,4
10	10,2	388,7
11	10,5	369,2
12	-	417,8
média	11,2	396,7583
CV %	13,5	17,90808

Foi possível observar que nas ligações perpendiculares ensaiadas a ruptura ocorreu tanto no pino a cisalhamento perpendicular às fibras (Figura 90), quanto à tração perpendicular as fibras no bambu, possibilitando assumir que quanto maior a resistência do pino ao cisalhamento perpendicular maior seria a carga de ruptura da ligação, o que depende também da espessura da parede do bambu e do diâmetro externo, portanto, assim como nas ligações paralelas, sugere-se que em próximos estudos novos ensaios deste tipo de ligação seja realizado com a adoção de barras de aço ou até mesmo com madeiras de resistência a cisalhamento perpendicular as fibras maiores que do *Eucalyptos dunnii*.



Figura 90: Ruptura do pino de madeira nos ensaios da ligação perpendicular

No caso das ligações em perpendicular observou-se que quanto maior a resistência do pino ao cisalhamento perpendicular maior seria a carga de ruptura da ligação, a baixa variação entre os resultados e a proximidade da média em relação aos menores resultados dos ensaios das ligações paralelas indicam que, o que resiste nesta ligação é principalmente o pino a cisalhamento paralelo às fibras e a resistência do bambu à tração paralela às fibras.

Com os resultados dos ensaios, média e desvio padrão foram aplicadas as equações propostas por Kaminski et al. (2016) para a determinação do Valor Característico de uma população $f_{i,k}$ e da força característica de projeto (X_{id}). Os valores de cada ligação, tanto na perpendicular quanto na paralela são descritas na Tabela 23.

Tabela 23: Resultados do Valor Característico de uma População ($f_{i,k}$) e da Força Característica de Projeto (X_{id})

Tipo de ligação	Fik (Kgf)	Xd (Kgf)
Perpendicular às fibras	240	159
Paralela às Fibras	437	289

Deste modo, ao identificar a carga axial que cada tipo de ligação suporta, é possível definir a quantidade de ligações são necessárias em cada nó de uma treliça observando a resultante de esforços axiais em cada barra da estrutura. Nas Figuras 91 e 92 é possível observar o esquema e direção de aplicação da carga e a resistência máxima de uma ligação composta de um único pino.

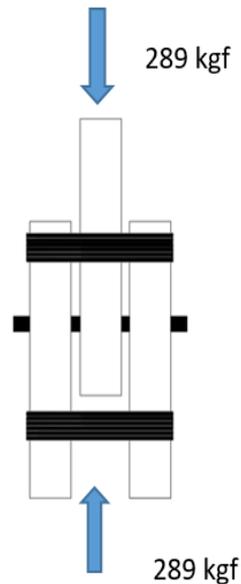


Figura 91: Esquema de resistência da Ligação paralela as fibras

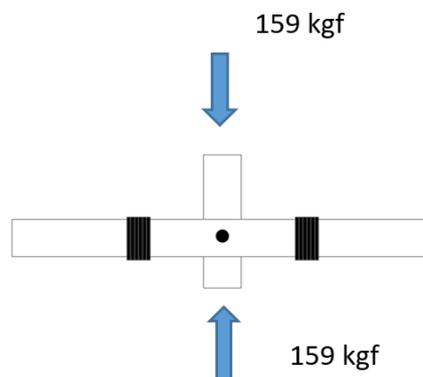


Figura 92: Esquema de resistência da Ligação Perpendicular as fibras

4.4 Análise estrutural do sistema de cobertura

Com os resultados da análise estrutural do sistema proposto (ANEXO I) foi possível identificar a treliça mais solicitada (Figura 93), com os maiores resultados de envoltórias dos esforços axiais de compressão e tração, momento fletor e cortante, e a partir destas informações, foram realizadas as verificações dos esforços citados além das ligações.

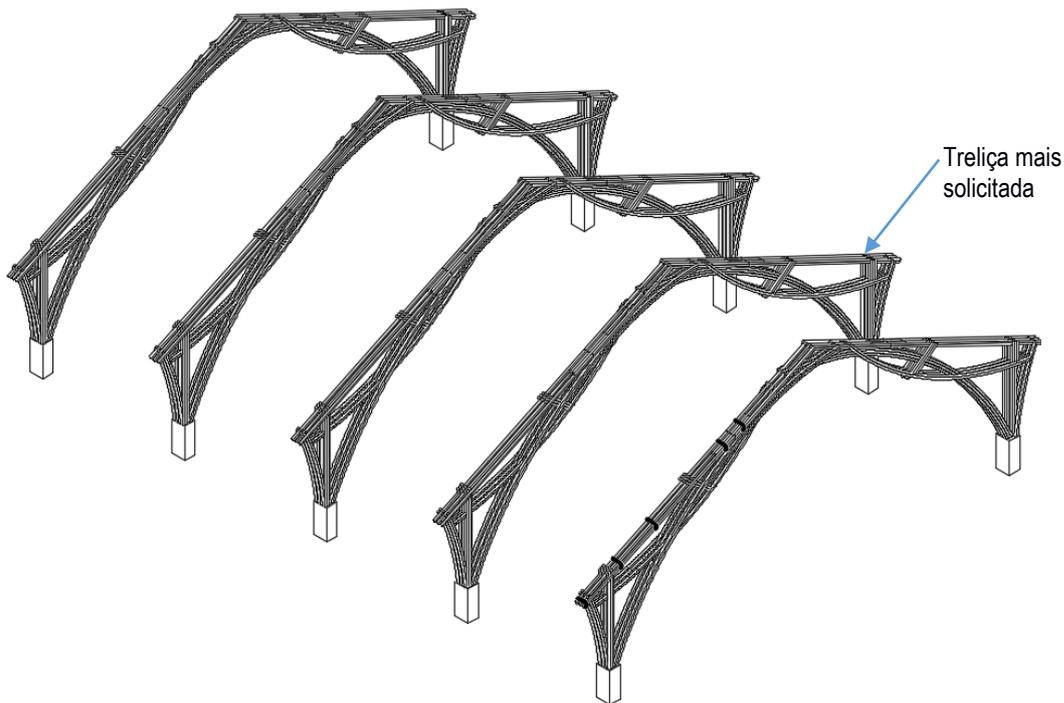


Figura 93: Treliça mais solicitada

4.4.1 Verificação quanto a Compressão Axial

Para a verificação das barras submetidas a compressão axial, como primeiro passo do processo, identifica se a barra é curta média ou longa, segundo Kaminski et al.(2016), a capacidade de um colmo de bambu na compressão axial é limitada pelo esmagamento local das fibras em se tratando de elementos curtos, onde o comprimento de flambagem é menor que duas vezes o seu diâmetro externo do bambu ($L < 2De$), já em peças médias, o rebentamento da parede do colmo e separação das fibras determina sua capacidade de carga, seguindo uma regra geral onde o comprimento deve ser inferior a duas vezes o diâmetro externo ($L > 2De$), e por fim, para peças longas, a flambagem global de Euler é quem determina sua resistência a compressão axial, devendo para tanto atender a relação onde o comprimento de flambagem deve ser inferior a dez vezes seu diâmetro externo ($L > 10De$).

As seções que compõem as barras da treliça apresentam ligações entre os feixes de bambu, permitindo portanto, segundo Kaminski (2016), que o momento de inércia pode ser encontrado a partir da teoria dos eixos paralelos. Deste modo a Tabela 24 apresenta a área da seção, Inércia, raio de giro e o índice de esbeltez, o qual determina se a barra é curta, média ou intermediária, indicando a forma de determinar a Força máxima admissível da barra. No caso da treliça estudada, as barras são curtas, com exceção das barras utilizadas para terças, no caso, a barra 09.

Na Tabela 24, os valores negativos representam os esforços de compressão axial, deste modo, é possível observar que a resistência a compressão das barras, força admissível, é muito superior à força atuante de compressão axial nas barras, contudo, em alguns casos a

resistência a compressão axial será limitada pela resistência a cisalhamento paralelo as fibras na região das ligações, este tema será abordado mais a seguir.

Tabela 24 – Verificação das barras à compressão axial

Barra	Nó		seção		Carga Axial na barra (N)	Área da seção (mm ²)	Inércia total eixo y (mm ⁴)	Raio de giro (mm)	L (mm)	Índice de Esbeltes	Fc adm (N) $\lambda < 30$	Ck	Tipo de peça	Fc adm (N) $30 < \lambda < C_k$
433	271	273	3	4	-9.236	10.028	274.000.000	157	1.670	11	194.979	58	curta	194.495
434	273	274	3	4	-7.400	10.028	274.000.000	157	530	3	194.979	58	curta	194.963
438	271	276	2	3	2.298	5.014	62.185.364	106	1.659	16	97.489	58	curta	96.714
437	276	277	2	4	-2.186	6.685	82.913.819	106	351	3	129.986	58	curta	129.976
436	275	277	2	3	592	5.014	62.185.364	106	264	2	97.489	58	curta	97.486
435	277	274	2	4	3.817	6.685	62.185.364	91	621	7	129.986	58	curta	129.902
439	274	281	2	5	4.852	8.357	62.185.364	82	1.798	22	162.482	58	curta	158.944
440	281	282	2	3	1.707	5.014	62.185.364	106	1.388	13	97.489	58	curta	97.035
441	282	284	2	3	-11.609	5.014	62.185.364	106	1.131	11	97.489	58	curta	97.244
442	284	285	2	4	-7.579	6.685	62.185.364	91	331	4	129.986	58	curta	129.973
443	285	287	2	3	-2.130	5.014	62.185.364	106	746	7	97.489	58	curta	97.419
451	276	273	2	4	-4.400	6.685	62.185.364	91	672	7	129.986	58	curta	129.880
450	273	278	2	3	-5.233	5.014	62.185.364	106	445	4	97.489	58	curta	97.474
449	278	279	2	3	-1.629	5.014	62.185.364	106	1.373	13	97.489	58	curta	97.050
455	279	283	2	3	-1.126	5.014	62.185.364	106	1.578	15	97.489	58	curta	96.822
456	283	284	2	3	-1.126	5.014	62.185.364	106	2.082	20	97.489	58	curta	95.957
444	271	278	2	4	-25.754	6.685	62.185.364	91	212	2	129.986	58	curta	129.982
445	278	280	2	5	-29.316	8.357	62.185.364	82	2.438	30	162.482	58	curta	153.661
446	280	282	2	3	-21.835	5.014	62.185.364	106	1.449	14	97.489	58	curta	96.973
447	282	283	2	3	-8.744	5.014	62.185.364	106	1.296	12	97.489	58	curta	97.120
448	283	286	2	3	-10.377	5.014	62.185.364	106	939	9	97.489	58	curta	97.349
478	286	300	2	3	-7.945	5.014	62.185.364	106	1.135	11	97.489	58	curta	97.241
452	281	280	2	6	-4.007	10.028	62.185.364	75	256	3	194.979	58	curta	194.963
453	280	279	3	3	-705	7.521	62.185.364	86	470	5	146.234	58	curta	146.185
9	25	281	1	3	-415	2.507	23.606.483	92	3.800	41	48.745	58	média	41.705

É possível observar que a estrutura proposta apresenta esforços máximos de compressão nas barras com maior frequência que esforços de tração, para estruturas em bambu isso é interessante, pois, na maioria das barras o esforço a tração axial significa a necessidade de ligações mais resistentes, uma vez que, a resistência a cisalhamento paralelo as fibras nas ligações é quem determina a resistência de uma barra a tração axial.

4.4.2 Verificação quanto a Tração axial

No presente trabalho não foram realizados ensaios para determinação da resistência a tração do *Bambusa tuldoides*, pois, os ensaios para a determinação deste parâmetro são complexos de serem realizados, e ainda, o que determina a resistência a tração de um elemento barra de uma treliça é sua ligação, ou seja, está diretamente ligada a capacidade de resistência ao cisalhamento paralelo às fibras. Ghavami (1991) apresenta em estudo realizado, uma resistência a tração média para o *Bambusa tuldoides* na ordem de 110 MPa, portanto, este foi o valor da resistência adotado para a verificação das peças submetidas a tração axial.

Os resultados das análises apresentaram cargas axiais máximas de tração na ordem de 4.852 N. A Tabela 25 apresenta os resultados de todas as barras considerando suas cargas axiais máximas de tração e compressão, no caso sinal positivo cargas de tração, é possível

observar que em todas as verificações quanto a tração axial, a carga admissível que as barras suportam é muito superior às respectivas cargas atuantes.

Tabela 25: Resultados de carga axial máxima atuante e tração admissível nas barras

Barra	Nó			seção	Carga Axial na barra (N)	Tração Axial Admissível (N)
433	271	273	3	4	-9.236	1.103.076
434	273	274	3	4	-7.400	1.103.076
438	271	276	2	3	2.298	551.538
437	276	277	2	4	-2.186	735.384
436	275	277	2	3	592	551.538
435	277	274	2	4	3.817	735.384
439	274	281	2	5	4.852	919.230
440	281	282	2	3	1.707	551.538
441	282	284	2	3	-11.609	551.538
442	284	285	2	4	-7.579	735.384
443	285	287	2	3	-2.130	551.538
451	276	273	2	4	-4.400	735.384
450	273	278	2	3	-5.233	551.538
449	278	279	2	3	-1.629	551.538
455	279	283	2	3	-1.126	551.538
456	283	284	2	3	-1.126	551.538
444	271	278	2	4	-25.754	735.384
445	278	280	2	5	-29.316	919.230
446	280	282	2	3	-21.835	551.538
447	282	283	2	3	-8.744	551.538
448	283	286	2	3	-10.377	551.538
478	286	300	2	3	-7.945	551.538
452	281	280	2	6	-4.007	1.103.076
453	280	279	3	3	-705	827.307
9*	25	281	1	3	-415	275.769

4.4.3 Momento fletor e cortante

A Tabela 26 apresenta os resultados de momento fletor atuantes e momento fletor máximo nas barras. Para este esforço, nota-se que os resultados de momento atuante foram relativamente próximos aos momentos atuantes, por isso, foi necessário ajustar gradualmente o número de barras em algumas das seções mais solicitadas para que atendesse ao dimensionamento proposto.

Embora a denominação do sistema estrutural seja o de treliças, algumas das barras não seguem o princípio da triangulação, além de que, foram lançadas cargas distribuídas em algumas barras, tanto carga de vento de supressão e de pressão, quanto do peso próprio da cobertura, neste caso, considerando que o galpão possui terças a cada 40 cm, a carga destas terças, peso próprio e peso da cobertura, foram lançadas como carga distribuída no banzo superior.

Tabela 26: Resultados e verificação das barras quanto ao momento fletor.

Barra	Nó		seção		Área da seção (mm ²)	Inércia da seção (mm ⁴)	Modulo da seção elástica (total) mm ³	Momento máximo de um colmo (N.mm)	Momento máximo da seção (N.mm)	Momento atuante na barra (N.mm)
433	271	273	3	4	10.028	1.870.520	83.134	300.223	3.602.674	- 464.875
434	273	274	3	4	10.028	1.870.520	83.134	300.223	3.602.674	821.582
438	271	276	2	3	5.014	935.260	41.567	300.223	1.801.337	455.420
437	276	277	2	4	6.685	1.247.013	55.423	300.223	2.401.783	520.830
436	275	277	2	3	5.014	935.260	41.567	300.223	1.801.337	- 277.388
435	277	274	2	4	6.685	1.247.013	55.423	300.223	2.401.783	- 487.809
439	274	281	2	5	8.357	1.558.767	69.279	300.223	3.002.229	- 1.298.854
440	281	282	2	3	5.014	935.260	41.567	300.223	1.801.337	- 596.566
441	282	284	2	3	5.014	935.260	41.567	300.223	1.801.337	- 343.646
442	284	285	2	4	6.685	1.247.013	55.423	300.223	2.401.783	- 355.819
443	285	287	2	3	5.014	935.260	41.567	300.223	1.801.337	- 464.875
451	276	273	2	4	6.685	1.247.013	55.423	300.223	2.401.783	486.653
450	273	278	2	3	5.014	935.260	41.567	300.223	1.801.337	- 442.671
449	278	279	2	3	5.014	935.260	41.567	300.223	1.801.337	102.613
455	279	283	2	3	5.014	935.260	41.567	300.223	1.801.337	1.023.019
456	283	284	2	3	5.014	935.260	41.567	300.223	1.801.337	350.862
444	271	278	2	4	6.685	1.247.013	55.423	300.223	2.401.783	- 1.152.933
445	278	280	2	5	8.357	1.558.767	69.279	300.223	3.002.229	1.023.019
446	280	282	2	3	5.014	935.260	41.567	300.223	1.801.337	- 192.625
447	282	283	2	3	5.014	935.260	41.567	300.223	1.801.337	134.592
448	283	286	2	3	5.014	935.260	41.567	300.223	1.801.337	119.897
478	286	300	2	3	5.014	935.260	41.567	300.223	1.801.337	- 319.180
452	281	280	2	6	10.028	1.870.520	83.134	300.223	3.602.674	- 1.808.560
453	280	279	3	3	7.521	1.402.890	62.351	300.223	2.702.006	- 892.004
9	25	281	1	3	2.507	467.630	20.784	300.223	900.669	- 248.319

A Tabela 27 apresenta os resultados de esforços cortantes nas barras, cortante atuante e cortante máxima admissível onde é possível observar que este esforço foi o que determinou o aumento do número de peças em algumas seções.

Tabela 27: Resultados de esforços cortantes e verificação das barras

Barra	Nó		seção		Cortante	Cortante
					máxima (N)	Atuante (N)
433	271	273	3	4	5.581	- 443
434	273	274	3	4	5.581	1.880
438	271	276	2	3	2.790	1.739
437	276	277	2	4	3.721	- 2.940
436	275	277	2	3	2.790	- 1.314
435	277	274	2	4	3.721	- 1.624
439	274	281	2	5	4.651	- 3.127
440	281	282	2	3	2.790	- 1.932
441	282	284	2	3	2.790	- 1.653
442	284	285	2	4	3.721	1.900
443	285	287	2	3	2.790	- 1.634
451	276	273	2	4	3.721	- 2.210
450	273	278	2	3	2.790	- 759
449	278	279	2	3	2.790	443
455	279	283	2	3	2.790	405
456	283	284	2	3	2.790	- 2.100
444	271	278	2	4	3.721	2.366
445	278	280	2	5	4.651	- 1.657
446	280	282	2	3	2.790	515
447	282	283	2	3	2.790	- 478
448	283	286	2	3	2.790	584
478	286	300	2	3	2.790	754
452	281	280	2	6	5.581	6.258
453	280	279	3	3	4.186	- 1.962
9*	25	281	1	3	1.395	449

*Peça que corresponde a terças mais solicitada

4.4.4 Ligações

As ligações são pontos cruciais no sistema estrutural proposto e usualmente também na grande maioria das estruturas executadas com colmos de bambu roliço, este fato se dá devido à baixa capacidade do bambu de resistir a esforços de cisalhamento perpendicular e paralelo às fibras, portanto, um cuidado maior deve-se ter ao dimensionar as ligações de bambu. Para o caso estudado foi considerado o maior esforço no nó para definir o número de pinos que devem ser instalados em cada nó. A Figura 94 apresenta os esforços máximos de compressão (negativo) e tração (positivo) em cada nó extraído da análise estrutural executada no SAP 2000, referente à treliça mais solicitada.

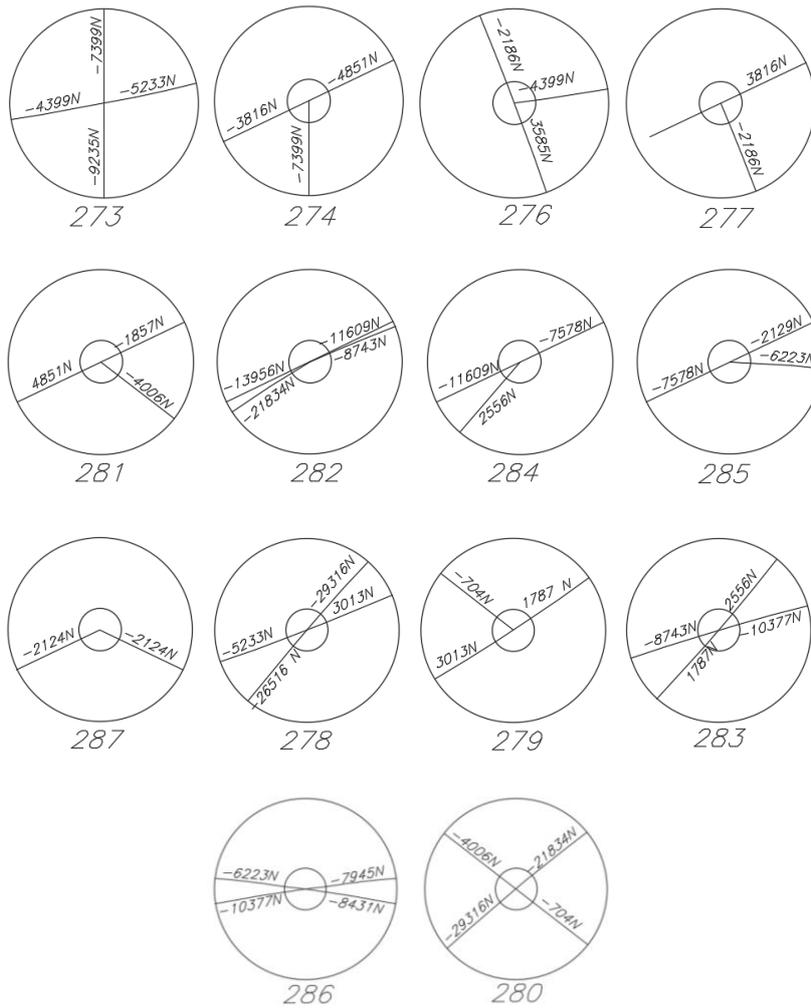
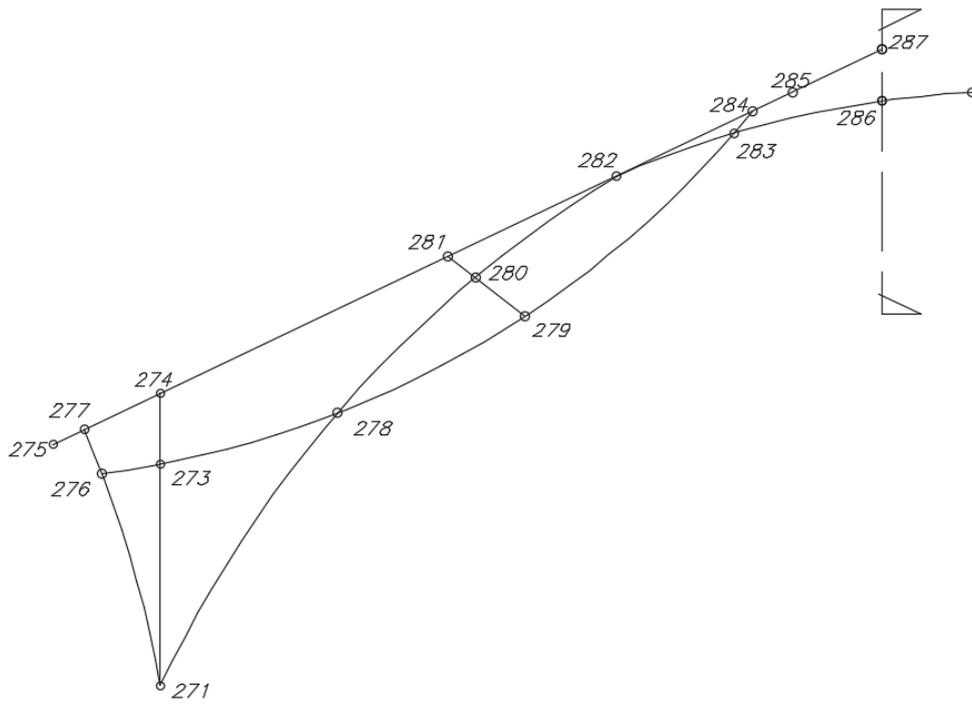


Figura 94: Posicionamento dos nós e esforços máximos de compressão e tração axial

A Tabela 28 apresenta os esforços máximos atuante, compressão axial ou tração axial nos nós, ou seja, nas ligações, considerando que os esforços de tração e compressão máximos admissíveis nas barras são limitados pelo esforço de cisalhamento perpendicular as fibras, a Tabela 28 adota a quantidade de ligações necessárias, no caso a quantidade de pinos, para resistir o maior esforço resultante obtido na análise estrutural.

Tabela 28: Esforços nos nós e quantidade de ligações por união.

nó	Maior esforço no nó (N)	Fk ligação (N)	Nr mín de ligações	Carga total admissível (N)
273	-5.233	1.558	4	6.230
274	-7.399	1.558	5	7.788
276	-4.399	1.558	3	4.673
277	-2.186	1.558	2	3.115
281	-4.006	1.558	3	4.673
282	-10.225	1.558	7	10.903
284	10.134	1.558	7	10.903
285	-7.578	1.558	5	7.788
287	-2.124	1.558	2	3.115
278	-5.233	1.558	6	9.345
279	-3.013	1.558	3	4.673
283	-10.377	1.558	7	10.903
286	-10.377	1.558	7	10.903
280	-9.000	1.558	6	9.345
**g	-415	1.558	2	3.115

** Peça correspondente a terça mais solicitada

4.4.5 Resultante nos apoios

A análise estrutural realizada em ambiente SAP, considerando as cargas permanente e vento resulta em cargas nos apoios, estas cargas são importantes para definir a forma de ligação da treliça na fundação, para o dimensionamento do pilar de concreto que servirá de base para estrutura e para o dimensionamento das fundações da estrutura. A Figura 95 apresenta a planta de locação do apoio dos pilares e a Figura 96 a direção dos eixos do lançamento estrutural.

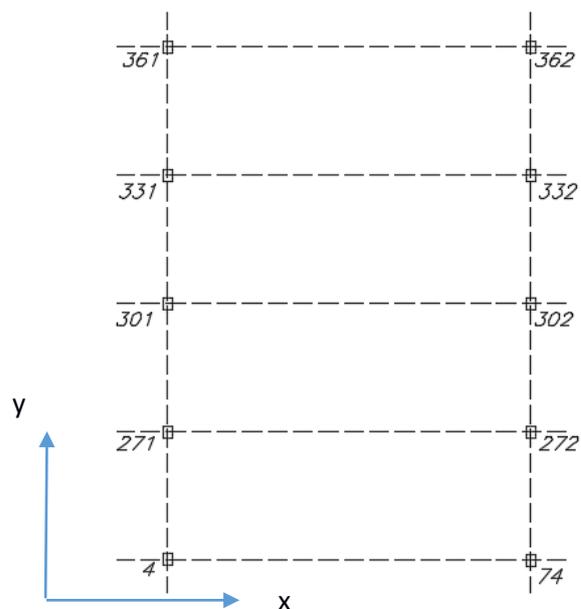


Figura 95: Localização dos pontos de apoio das treliças

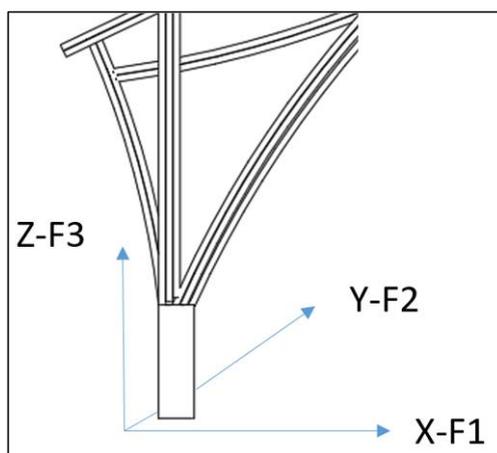


Figura 96: Detalhe da orientação dos eixos nos apoios de fundação

A Tabela 29 apresenta a resultante de forças nos pilares de concreto considerando os esforços máximos e mínimos, neste caso, utilizaremos o maior esforço, seja de compressão ou tração para o dimensionamento da fundação. Note que o maior esforço que ocorre nos apoios é na ordem de 33.203 N no eixo Z (F3) no nó 331, apresenta sinal positivo, ou seja, de cima para baixo.

Tabela 29: Resultante de esforços nos pilares de concreto

Nó	max/min	F1 (N)	F2 (N)	F3 (N)
4	Max	12.264	699	31.070
4	Min	- 2.241	- 2	- 10.570
74	Max	2.241	700	30.872
74	Min	- 12.038	- 2	- 10.570
271	Max	13.039	2	33.188
271	Min	- 2.243	- 314	- 10.571
272	Max	2.243	2	33.493
272	Min	- 13.256	- 318	- 10.571
301	Max	12.004	2	31.354
301	Min	- 2.246	- 0	- 10.573
302	Max	2.245	0	31.552
302	Min	- 12.027	- 2	- 10.573
331	Max	13.056	318	33.203
331	Min	- 2.243	- 2	- 10.571
332	Max	2.243	314	33.479
332	Min	- 13.239	- 2	- 10.571
361	Max	12.183	2	30.941
361	Min	- 2.242	- 696	- 10.570
362	Max	2.241	2	30.844
362	Min	- 11.986	- 703	- 10.570
362	Min	- 11.986	- 703	- 10.570

4.4.6 Dados gerais de consumo de materiais

A análise estrutural do galpão proposto possibilitou a definição das seções e ligações que atendem as solicitações de esforços identificados, com isso, é possível realizar o levantamento do consumo de materiais. É certo que a execução de um protótipo, e por consequência, a identificação dos detalhes referentes aos procedimentos de fabricação e montagem do galpão trará um maior entendimento e aferição dos quantitativos, no entanto, as informações aqui descritas baseiam-se na experiência do autor e nos estudos realizados neste trabalho.

4.4.6.1 Bambus para a estrutura

Para o levantamento do consumo de bambu para a estrutura levou-se em consideração o detalhamento das barras (ANEXO II), quantidade de bambus e as respectivas seções. Foram consideradas uma perda total de 30% baseado na experiência do autor deste trabalho em construções similares, visto que, não existem parâmetros oficiais disponíveis para este caso.

4.4.6.2 Pinos para ligações

Neste caso, foram consideradas os pinos utilizados nas ligações e também na união das barras, essencial para a montagem das peças em solo. Para os pinos foi considerada uma perda aproximada de 10%.

4.4.6.3 Cordas em polipropileno

Para as cordas em polipropileno nos elementos foram consideradas 4 voltas mais as amarras somando-se 10% de perda, considerando que para as cordas as perdas são praticamente no final do rolo. Para as terças foram consideradas 3 voltas mais a amarra e 10% de perdas.

4.4.6.4 Cobertura com esteiras de bambu

Para a cobertura utilizando esteiras de bambu será adotado o bambu da espécie *Dendrocalamus asper*, para tanto, geralmente utiliza-se a parte apical dos colmos, que possui uma média de 12 cm de diâmetro, portanto, uma média de 0,36 m² por metro de bambu roliço ou 2,8 metros de colmo de bambu roliço para 1 m² de área. Considerou-se, portanto, duas camadas de esteiras com uma camada de manta asfáltica no meio.

4.4.6.5 Material para contraventamento

Para o levantamento dos quantitativos de material para os contraventamentos, foi considerado uma chapa de aço carbono galvanizado de 5 mm de espessura e cabos de aço galvanizados com cargas de ruptura na ordem de 1770 N/mm² fixados com presilhas e esticadores de aço galvanizado. Os resultados da análise estrutural possibilitarão o dimensionamento do sistema de contraventamento, no entanto, este elemento não será dimensionado e detalhado neste trabalho.

A Tabela 30 traz os quantitativos de material para a fabricação da estrutura, nela não estão inclusos a mão de obra, ferramentas e equipamentos necessários a sua montagem.

Tabela 30: Quantitativos de material para a fabricação da estrutura.

Item	Descrição	Unidade	Quant	Obs
1	Total para 01 Pórtico			
1.1	<i>Bambusa tuldooides</i> diâmetro médio de 45mm - B1	m	70	Ver detalhe da Barra 01 - Considerando 30% de perda
1.2	<i>Bambusa tuldooides</i> diâmetro médio de 45mm - B2	m	34	Ver detalhe da Barra 02 - Considerando 30% de perda
1.3	<i>Bambusa tuldooides</i> diâmetro médio de 45mm - B3	m	108	Ver detalhe da Barra 03 - Considerando 30% de perda
1.4	<i>Bambusa tuldooides</i> diâmetro médio de 45mm - B4	m	187	Ver detalhe da Barra 04 - Considerando 30% de perda
1.5	<i>Bambusa tuldooides</i> diâmetro médio de 45mm - B5	m	94	Ver detalhe da Barra 05 - Considerando 30% de perda
1.6	<i>Bambusa tuldooides</i> diâmetro médio de 45mm - B6	m	47	Ver detalhe da Barra 061 - Considerando 30% de perda
1.7	Pinos de <i>Eucalipto dunnii</i> com 15 mm de diâmetro - união de peças	m	6	São 8 pinos com 40 cm em média de comprimento, para os dois pórticos
1.8	Pinos de <i>Eucalipto dunnii</i> com 15 mm de diâmetro - ligações	m	59	Considerando todos os pinos nas ligações com média de 40 cm de comprimento, para dois pórticos e 10% de perdas
1.9	Cordas de Polipropileno 5mm	m	200	Considerando todos os pontos de amarra com 4 voltas e 10% de perda
2	Total para o 5 pórticos			
2.1	<i>Bambusa tuldooides</i> diâmetro médio de 45mm - B1	m	351	Ver detalhe da Barra 01 - Considerando 30% de perda
2.2	<i>Bambusa tuldooides</i> diâmetro médio de 45mm - B2	m	172	Ver detalhe da Barra 02 - Considerando 30% de perda
2.3	<i>Bambusa tuldooides</i> diâmetro médio de 45mm - B3	m	538	Ver detalhe da Barra 03 - Considerando 30% de perda
2.4	<i>Bambusa tuldooides</i> diâmetro médio de 45mm - B4	m	936	Ver detalhe da Barra 04 - Considerando 30% de perda
2.5	<i>Bambusa tuldooides</i> diâmetro médio de 45mm - B5	m	468	Ver detalhe da Barra 05 - Considerando 30% de perda
2.6	<i>Bambusa tuldooides</i> diâmetro médio de 45mm - B6	m	234	Ver detalhe da Barra 061 - Considerando 30% de perda
2.7	Pinos de <i>Eucalipto dunnii</i> com 15 mm de diâmetro - união de peças		32	São 8 pinos com 40 cm em média de comprimento, para os dois pórticos
2.8	Pinos de <i>Eucalipto dunnii</i> com 15 mm de diâmetro - ligações	m	295	Considerando todos os pinos nas ligações com média de 40 cm de comprimento, para dois pórticos e 10% de perdas
2.9	Cordas de Polipropileno 5mm	m	998	Considerando todos os pontos de amarra com 4 voltas e 10% de perda
3	Terças			
3.1	<i>Bambusa tuldooides</i> diâmetro médio de 45mm - central	m	410	144 terças dos dois vãos centrais com 3,8 m, são 3 peças por terça
3.2	<i>Bambusa tuldooides</i> diâmetro médio de 45mm - beiral	m	540	144 terças das extremidades com 5 m de vão, são 3 peças por terça
3.3	Pinos de <i>Eucalipto dunnii</i> com 15 mm de diâmetro - ligações	m	53	9 pinos por terça, 36 terças, São 324 ligações de 15 cm e 10% de perda
3.4	Pinos de <i>Eucalipto dunnii</i> com 15 mm de diâmetro - União de barras	m	71	São 36 linhas de terça com 4 vãos, totalizando 144 terças com 3 pinos cada de 15 cm e 10% de perda
3.5	Cordas de Polipropileno 5mm	m	385	36 linhas de terça com 144 barras no total sendo que cada barra vai 3 amarras com 3 voltas - 10% de perda
4	Contraventamento			
4.1	Cabo de aço	m	68	São 4 linhas de contraventamento com cabos de aço totalizando 82 m já considerando 10% de dobras e perdas
4.2	presilha	unid	32	Presilha para fixação de cabos de aço
4.3	Esticadores	unid	16	
4.4	Chapa em aço para fixação #5mm	unid	24	
5	Cobertura			
5.1	Esteria de bambu da espécie <i>Dendrocalamus asper</i>	m ²	469	Total de 234 m ² de área sendo duas camadas totalizando 469,5 mais 10% de perda - considerando um bambu de 12 cm de diâmetro cada
5.2	Manta foil dupla face	m ²	235	Total de 234 m ² de área mais 10% de perda

5 CONCLUSÃO

O uso do *Bambusa tuldoides* na produção de estruturas para a construção civil se mostrou viável do ponto de vista técnico. O material apresenta características físico-mecânicas que possibilitam sua utilização de acordo com as normas técnicas internacionais de projeto de estrutura em bambu disponíveis.

O sistema de ligação proposto neste estudo para as estruturas em feixes de *Bambusa tuldoides*, composta por pinos de *Eucalyptos dunnii* e cordas de polipropileno, apresentou resultados de resistência mecânica que viabilizam tecnicamente o seu uso na produção de treliças.

O sistema estrutural analisado neste trabalho, utilizando feixes da espécie *Bambusa tuldoides* e ligações com pinos de *Eucalyptos dunnii* com cordas de polipropileno apresentou resultados satisfatórios para esforços de compressão axial e tração axial, assim como para momento fletor e cortante, portanto, é possível sua utilização para a produção destes elementos de cobertura atendendo aos requisitos das normas técnicas internacionais de projeto de estrutura em bambu disponíveis.

Com isso, abre-se um caminho para o desenvolvimento de novos sistemas estruturais, novas ligações, novas possibilidades de aproveitamento deste material na construção de casas, galpões, estruturas de apoio ao desenvolvimento rural, entre outros.

Contudo, é necessário o aprofundamento nos estudos de caracterização do *Bambusa tuldoides* nas diversas regiões do Brasil, uma vez que a variação de solo, clima e altitude influencia diretamente na resistência do material. Tal como ensaio de ligações com diferentes materiais para utilização como pino, outras espécies de madeira mais resistentes, o próprio bambu e até barras de aço carbono.

A execução de um protótipo em escala real do sistema estrutural estudado trará um maior entendimento dos processos envolvidos na pré-fabricação, montagem e manutenção da estrutura. Detalhes de montagem dos gabaritos, ferramentas necessária, consumo de mão de obra em cada processo, o consumo dos materiais, a forma de execução do sistema de cobertura, e ainda, o comportamento da estrutura pós obra. Estas informações permitirá o desenvolvimento de métodos eficazes em todos os processos que possibilitem alcançar um custo viável com segurança e durabilidade.

É importante que os ensaios de caracterização físico mecânicas do *Bambusa tuldoides* e de outras espécies disponíveis no Brasil, tanto exóticas quanto nativas, sigam os mesmos procedimentos e protocolos definidos pela norma ISO 22157-1(2004) e ISO 22157-2 (2004), de modo que os resultados possam ser comparados e utilizados pelos projetistas de estruturas no desenvolvimento de projetos de estruturas com bambu. A criação de um banco de dados com as espécies e características deve ser sistematizado para funcionar como apoio à NBR de projeto de estruturas em bambu após sua publicação.

Um estudo para mapeamento da ocorrência do *Bambusa tuldoides* no Brasil é de fundamental importância para que seu uso seja disseminado, identificando os locais de ocorrência e a quantidade, e quando possível, a caracterização físico mecânica do material associado a sua localização, possibilitando a implantação de um banco de dados com estas informações.

O uso do *Bambusa tuldoides* na forma de feixes ligados entre si por pinos de madeira e cordas de polipropileno tem um grande potencial não só na produção de treliças mas em diversas outras soluções estruturais, para tanto, para o desenvolvimento de novas soluções estruturais com o *Bambusa tuldoides* e também outras espécies de bambu é necessário avançar em nos estudos dos materiais e ligações, tais como:

- Novas formas de ligação para sistemas de feixes;
- O estudo do sistema de cobertura com esteiras de bambu e manta asfáltica, principalmente a sua eficiência e durabilidade;
- Mapeamento da ocorrência e quantidade do *Bambusa tuldoides* no Brasil a fim de possibilitar o seu uso em escala.
- Caracterização do *Bambusa tuldoides* em outras regiões do país;
- A análise estrutural de outras configurações de treliças a fim de compreender o melhor uso deste sistema construtivo;
- A aplicação de outros métodos de dimensionamento;
- Outras formas de utilização do *Bambusa tuldoides* em estruturas para a construção civil;
- Estudos de produtividade do plantio do *Bambusa tuldoides*;
- Estudo de outras espécies de bambu na produção de elementos compostos por feixes;
- Métodos preservativos para o *Bambusa tuldoides*; e
- Estudos de durabilidade do *Bambusa tuldoides*;

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACKER, Arnold Van. Manual de sistemas de pré-fabricados de concreto. FIP 2002, Tradução Marcelo Ferreira, ABCIC 2003

AGRICULTURAL RESEARCH SERVICE 2016 ANNUAL REPORT ON SCIENCE, United States Department of Agriculture.

ALMEIDA, J.G.; DRUMOND, P.M.; WIEDMAN, G. (Orgs). Bambu como Insumo Industrial no Brasil: uma reflexão sobre o papel da pesquisa na produção do laminado colado de bambu (BaLC): Bambus no Brasil: da biologia à tecnologia. 1. ed. Rio de Janeiro - RJ: Instituto Ciência Hoje, p. 10-655, 2017.

ALMEIDA, J.G.; ALMEIDA, S.A.O. Preservação de Bambu: processos e técnicas convencionais (químicos) de tratamento de colmos do bambu para a construção: II Seminário Nacional do Bambu Consolidação da Rede. In: II SEMINÁRIO NACIONAL DO BAMBU CONSOLIDAÇÃO DA REDE. 2010. 1 ed, Brasília-DF: Universidade de Brasília, 2010. 105-120 p.

ALMEIDA, J.G.; BONELLI, R.H. Caderno de Nós: amarrações tradicionais de bambu. Gráfica e Editora Ideal LTDA, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR-6023: Informação e documentação - Referências - Elaboração. Rio de Janeiro, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR-6023: Informação e documentação - Referências - Elaboração. Rio de Janeiro, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9062 – Projeto execução de estruturas de concreto pré-moldado. Rio de Janeiro: ABNT, 2001.

AZZINI, A., SANTOS, R.L. PETTINELLI JÚNIOR, A. Bambu: Material alternativo para construções rurais. Campinas, SP, Instituto Agrônomo de Campinas, Boletim Técnico, n. 171, p. 1-18, 1997.

BS EN 1995-1-1:2004 Eurocode 5: Design of timber structures.

CAROLINA I. GUERREIRO. Flowering of *Bambusa tuldooides* (Poaceae, Bambusoideae, Bambuseae) in southern South America, 2010.

CED 13(7702) - Structural Design using Bamboo - Code of Practice – Norma técnica Indiana. (2009).

COLLI, ANDRÉIA. Propriedades físico-mecânicas e preservação, com boro e tanino, do *Bambusa tuldooides* (Munro), Curso de Engenharia Florestal, UFRRJ – 2006.

Centro de Referência do Bambu e das Tecnologias Sociais – CERBAMBU.
(<https://www.cerbambu.org.br>) 02/04/2019

CLARK L.. Bamboo Diversity, Iowa State University, 2006. (
<https://www.eeob.iastate.edu/research/bamboo/maps.html>).

Déficit Habitacional brasileiro (PNAD 2007-2012) Brasília, 2013.

Degree of Architecture Program in Community and Environmental Architecture,
Arsomsilp Institute of the Arts, 399 Soi Anamaingamjaroen 25, Bangkhuntien, Bangkok 10150
THAILAND.

Escola de Bioarquitetura e Centro de Pesquisa e Tecnologia Experimental em Bambu
– EBIOBAMBU. <https://www.ebiobambu.com.br/obras->03/04/2019

Estufa Ecológica, Uso do Bambu em Bioconstruções - SEMA - FETAEP - SENAR em
2009

FILGUEIRAS, T.S. & SANTOS GONÇALVES, A.P. 2004. A Checklist of the basal grasses
and bamboos in Brazil (Poaceae). The Journal of the American Bamboo Society (2004).

FILGUEIRAS, TS et al. Lista de espécies da flora do Brasil. Jardim Botânico do Rio de
Janeiro. (2005)

FAO - Food and Agriculture Organisation of the United Nations, 2007. World Bamboo
Resources. Non-Wood Forest Products, Rome (2007).

FRANCO, L.S. Aplicação de diretrizes de racionalização construtiva 319p. Tese
(Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 1992.

Fundação Getúlio Vargas (FGV), Estudo do déficit habitacional brasileiro, 2017

GHAVAMI, K. e TOLEDO FILHO, R. D. Desenvolvimento de Materiais de Construção
de Baixo consumo de Energia usando Fibras Naturais, Terra e Bambu. Revista de Engenharia
Agrícola, Publicação Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola (1992).

GOLDEMBERG, JOSÉ. O desafio da sustentabilidade na Construção civil: Volume 5, -
São Paulo 2011

HOGAN, LUCAS. Development of Long Span Bamboo Trusses, Architectural
Engineering, California Polytechnic San Luis Obispo, USA 2002.

International Network for Bamboo and Rattan – INBAR, TRADITIONAL BAMBOO
PRESERVATION METHODS IN LATIN AMERICA.2003

IS 9096:2006 - Code of practice for preservation of bamboo for structural purposes
(first revision)

ISO - International Organization for Standardization - 22156:2004 Bamboo – Structural design.

ISO - International Organization for Standardization - 22157-1 – Bamboo - Determination of Physical and Mechanical properties, Part 01 -Requirements, 2004

ISO - International Organization for Standardization - 22157-2 – Bamboo - Determination of Physical and Mechanical properties, Part 02 – Laboratory Manual, 2004

KAMINSKI, SEBASTIAN, Structural use of bamboo: Part 4: Element design equations. Available from: https://www.researchgate.net/publication/314151504_Structural_use_of_bamboo_Part_4_Element_design_equations [accessed May 23, 2017]

KAMINSKI, SEBASTIAN. Structural use of bamboo - Part 2: Durability and preservation (2016)

LANA, C.A.C. Trelças Planas de Bambus de pequeno diâmetro com Bioconexões Compósitas. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia da UFMG, MG, Brasil, 2016

LIMA, J.F. O Que é Ser Arquiteto. Memórias Profissionais de Lelé (João Filgueiras Lima). Em depoimento a Cynara Menezes. Rio de Janeiro: Record, 2004.

LOPES, HIDALGO. Bamboo, The Gift of The Gods, 2003.

MANTILLA CARRASCO, E.V., MOREIRA, L.V., XAVIER, P.V. Bambu Laminado Colado. In: Encontro Brasileiro em Madeira e Estruturas de Madeira, 5, 1995, Belo Horizonte. Anais... Belo Horizonte: EEUFMG; CEFET; EBRAMEM, p. 411-424, 1995.

MAOYI, Fu; YIPING, LOU. Prospects of research on sustainable management techniques. In: Bamboo for Sustainable Development. In: Proceedings of the Vth International Bamboo Congress and the VIth International Bamboo Workshop, San José, Costa Rica, November 1998.

MARÇAL, V.H. Estudo comparativo de Normas Técnicas Internacionais para o emprego do bambu cilíndrico em estruturas prediais, (2018)

MARY, W. Avaliação de estrutura de bambu como elemento construtivo para casa de vegetação. Eng. Agríc., Jaboticabal, v.27, n.1, p.100-109, 2007.

Ministério das Cidades. Ministério do Meio Ambiente. Área de manejo de resíduos da construção e resíduos volumosos: orientação para o seu licenciamento e aplicação da Resolução Conama 307/2002. 2005b

MOLITERNO, A. Projetos de Telhados em Estrutura de Madeira. São Paulo, Editora Edgard Blücher Ltda, 1986, 423p.

National Mission on Bamboo Applications. TRAINING MANUAL TM 05, 07/06. Preservation of Bamboo (2006)

NATIONAL MISSION ON BAMBOO APPLICATIONS Technology Information, Forecasting, and Assessment Council (TIFAC) Department of Science and Technology, Government of India, 2010.

NORMA TÉCNICA E. 100 BAMBÚ – Norma técnica Peruana, 2017

NBR 15.575/2013– Edificações Habitacionais –Desempenho, Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, 2013

NBR 7190/97 - Projeto de estruturas de madeira, Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT, 1997.

NBR 7190/97 - Projeto de estruturas de madeira, Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT, 1997.

NEC – SE – GUADUA – Estructuras de Guadua, Norma Ecuatoriana de la Construcción –NEC, 2017.

NORHASLIYA, MOHA DAUDA -The Physical and Mechanical Properties of Treated and Untreated Gigantochloa Scortechinii Bamboo -Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Universiti Pertahanan Nasional Malaysia, Sungai Besi Camp, 57000 Kuala Lumpur, Malaysia

NSR-10: Colombian code for seismically resistant construction. G12: Structures of timber and Guadua angustifolia Kunth bamboo, 2010.

OLIVEIRA, L.A. Tecnologia de painéis pré-fabricados arquitetônicos de concreto para emprego em fachadas de edifícios. 191p. Dissertação de mestrado – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo 2002.

OPRINS, JAN. TRIER, HARRY VAN et al. Bamboo: A material for Landscape and Garden Design. Birkhauser- publishers for Architecture Basel- Berlin-Boston, 2006

ORDONÉZ, J. A. F. Pre-fabricacion: teoría y práctica. Barcelona: Editores Técnicos Asociados. v.1. (1974).

PINTO, T. P.; GONZÁLES, J. L. R. Manejo e gestão de resíduos da construção civil. Brasília: CEF, 2005. v. 1. 196 p. (Manual de orientação: como implantar um sistema de manejo e gestão nos municípios, v. 1).

REVEL, M. La prefabricacion em la construccion, 1.ed. Bilbao: Urmo. 457p. (1973)

RITTIONK, Supreedee. Research, Education, and Design in Thai Bamboo Architecture, 10th World Bamboo Congress, Korea 2015.

ROSALINO, FREDERICO, Pré-Fabricação de Treliças de Bambu Para Coberturas. 1º Workshop de Tecnologia de Processos e Sistemas Construtivos TECSIC, Campinas, 2017.

ROSALINO, FREDERICO. Joints covers Bamboo and membrane; Design, Manufacturing and Assembly. World Bamboo Congress, 2016

ROSALINO, FREDERICO. Processo de Execução de Grandes Obras, O estudo de Caso do Centro de Referência em Educação Ambiental do SINPRO-DF, Seminário Nacional da Rede Bambu Brasil, Goiânia, 2015

SALER at all, Determining Material Suitability for Low-Rise housing in the Philipines: Physical and Mechanical Properties of the bamboo Species *Bambusa Blumeana*, BioResources 2018.

SASSU, MAURO. Bamboo Trusses with Low Cost and High Ductility Joints, Department of Energy, Systems, Territory and Constructions Engineering, University of Pisa, Pisa, Italy 2012

SPOLIDORO, P.J. Características dendrométricas e propriedades físicas dos colmos de *Bambusa vulgaris* e *Bambusa tuldoides*. Monografia (Conclusão de Curso de Graduação em Engenharia Florestal). 2008. 55p. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.

THEPA, SIRICHAJ. Structural Analysis of Bamboo Trusses Structure in Greenhouse, School of Energy Environment and Materials King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangkok, Thailand (2011)

TRAINING MANUAL TM 05, 07/06 Preservation of Bamboo –National Mission On Bamboo Applications Technology Information, Forecasting, and Assessment Council (TIFAC) Department of Science and Technology, Government of India

UTHAIPATTRAKOON, THANA. Bamboo Design and Construction in Thailand: Bamboo Art Gallery at Arsomsilp Institute of the Arts - (thana.uthai@gmail.com, www.facebook.com/bambooartgallery).

VASCONCELOS, A. C.. O Concreto no Brasil: pré-fabricação, monumentos, fundações. Volume III. Studio Nobel. São Paulo. (2002)

ZAGOTTIS, D. A. (1974). Introdução da segurança no projeto estrutural. São Paulo: Construção pesada.

7 ANEXOS

7.1 ANEXO I - Resultados gráficos da Análise estrutural

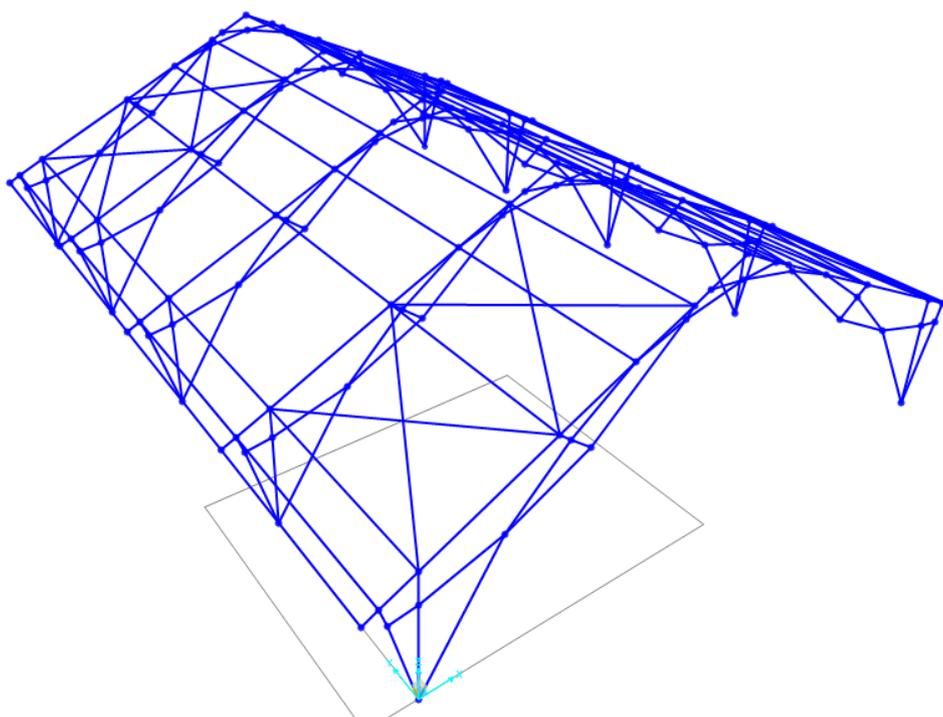


Figura 97: Esquema estrutural do galpão – Isométrico

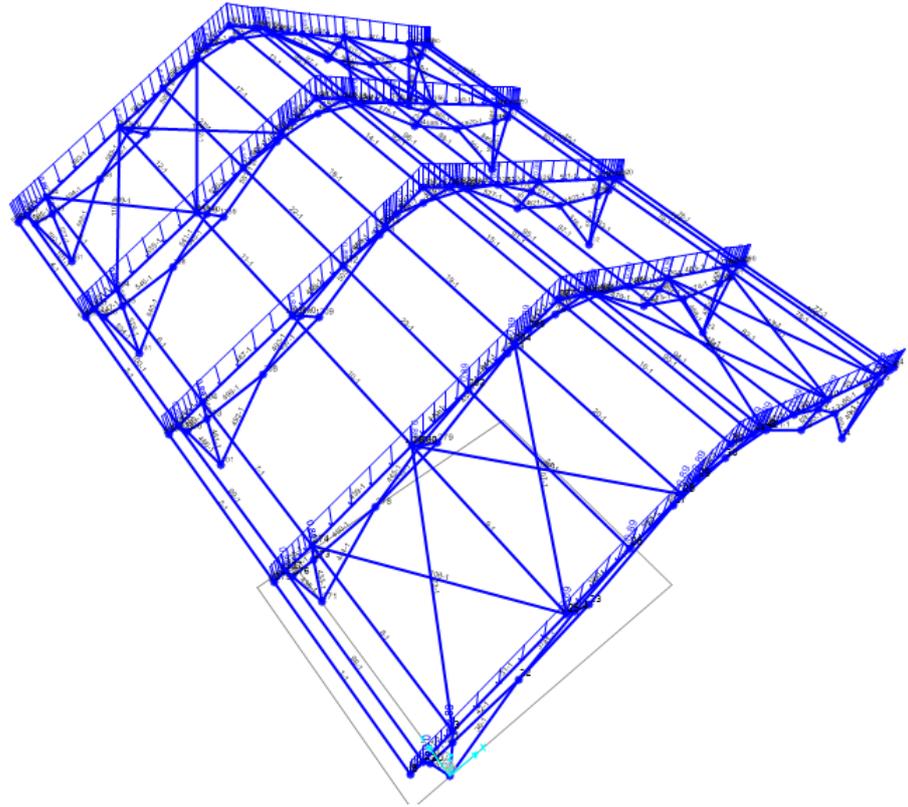


Figura 98: Esquema de lançamento de cargas – Carga permanente - Isométrico

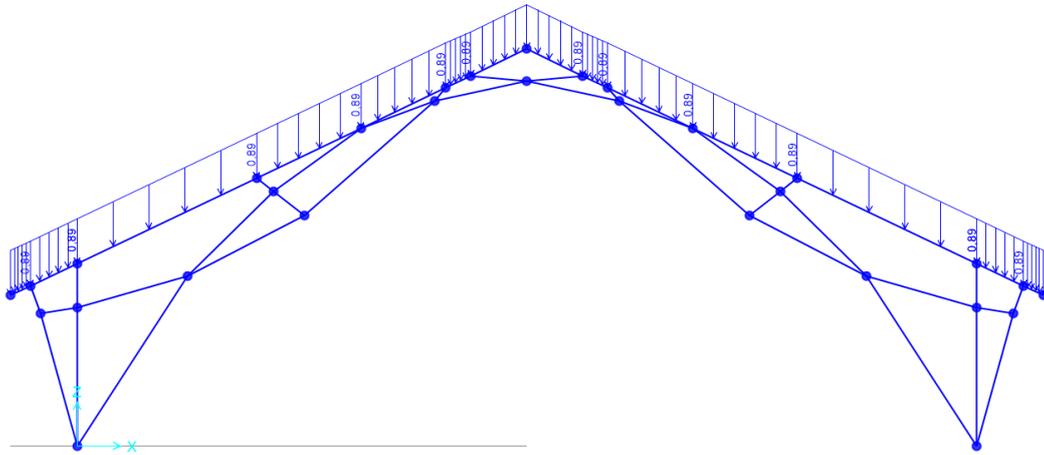


Figura 99: Esquema de lançamento de cargas – Carga permanente na treliça –Vista frontal

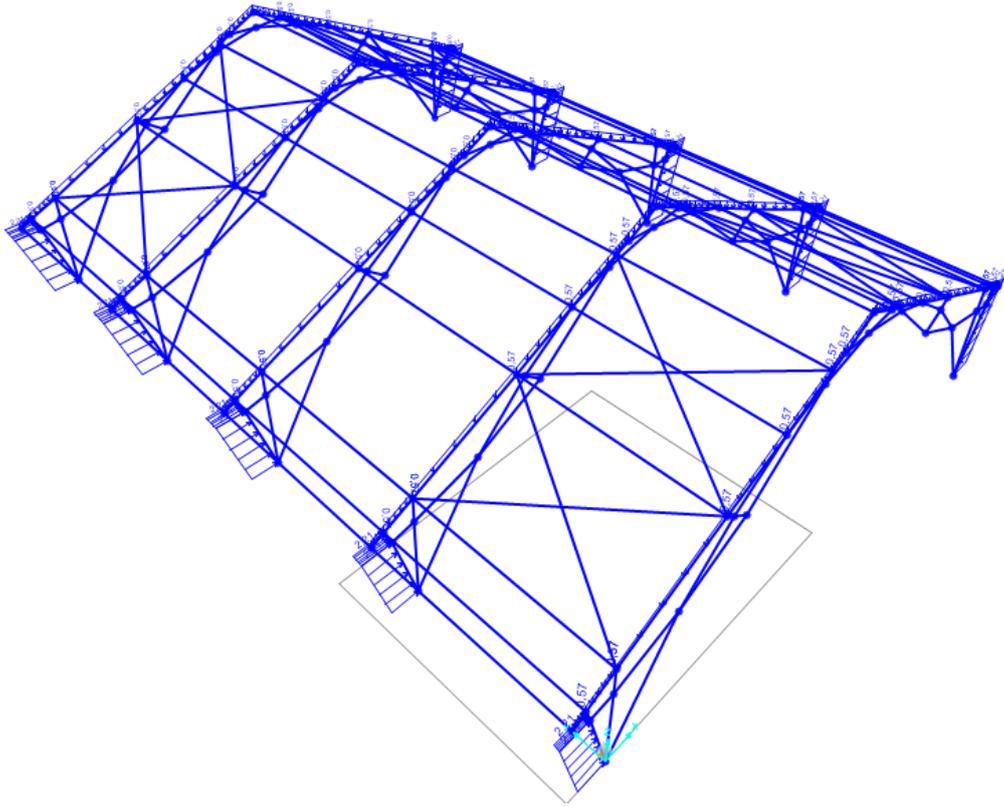


Figura 100: Esquema de lançamento de cargas – Carga de vento de Pressão - Isométrico

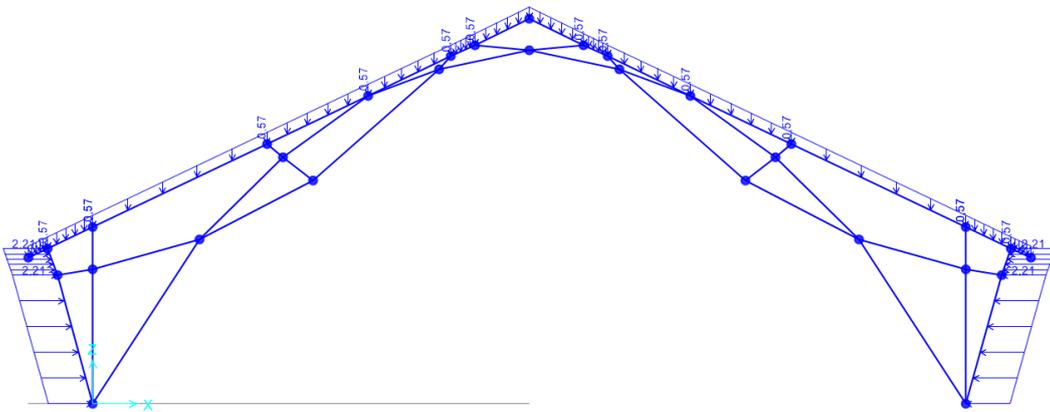


Figura 101: Esquema de lançamento de cargas – Carga de vento de Pressão – Vista frontal

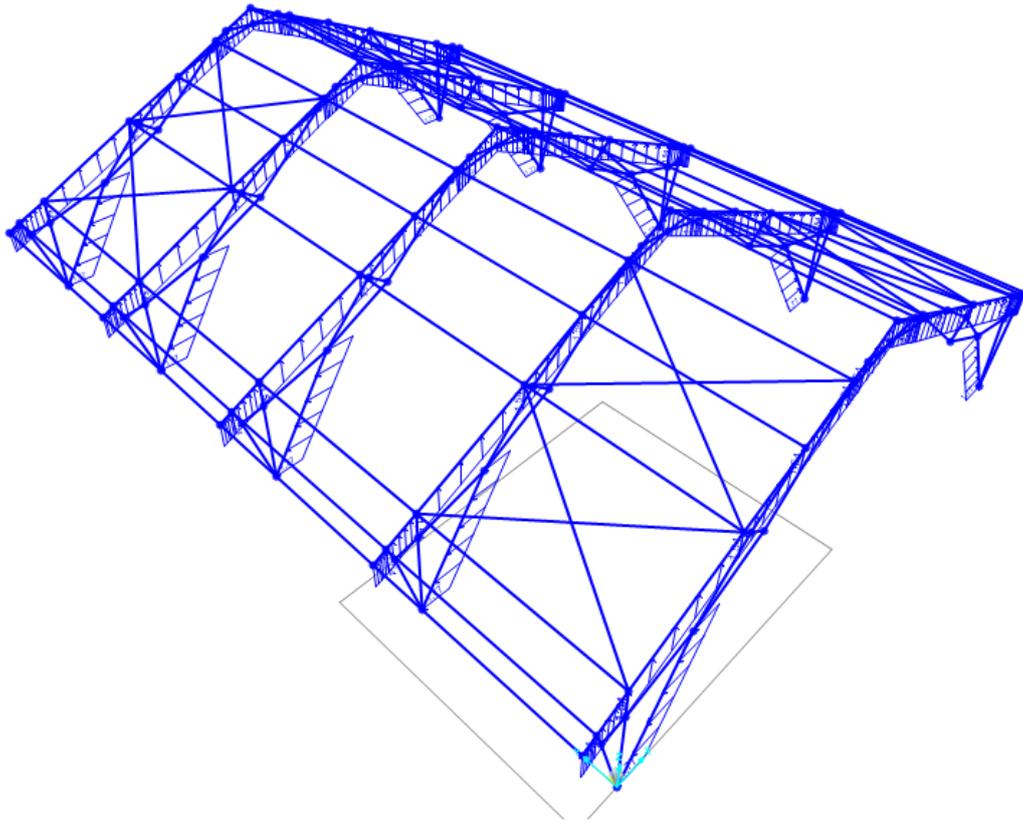


Figura 102: Esquema de lançamento de cargas – Carga de vento de Subpressão - Isométrico

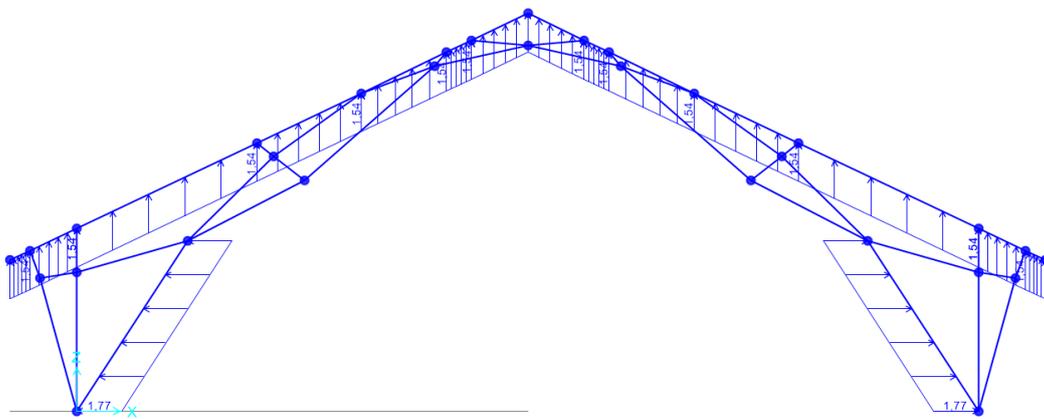


Figura 103: Esquema de lançamento de cargas – Carga de vento de Subpressão – Vista frontal

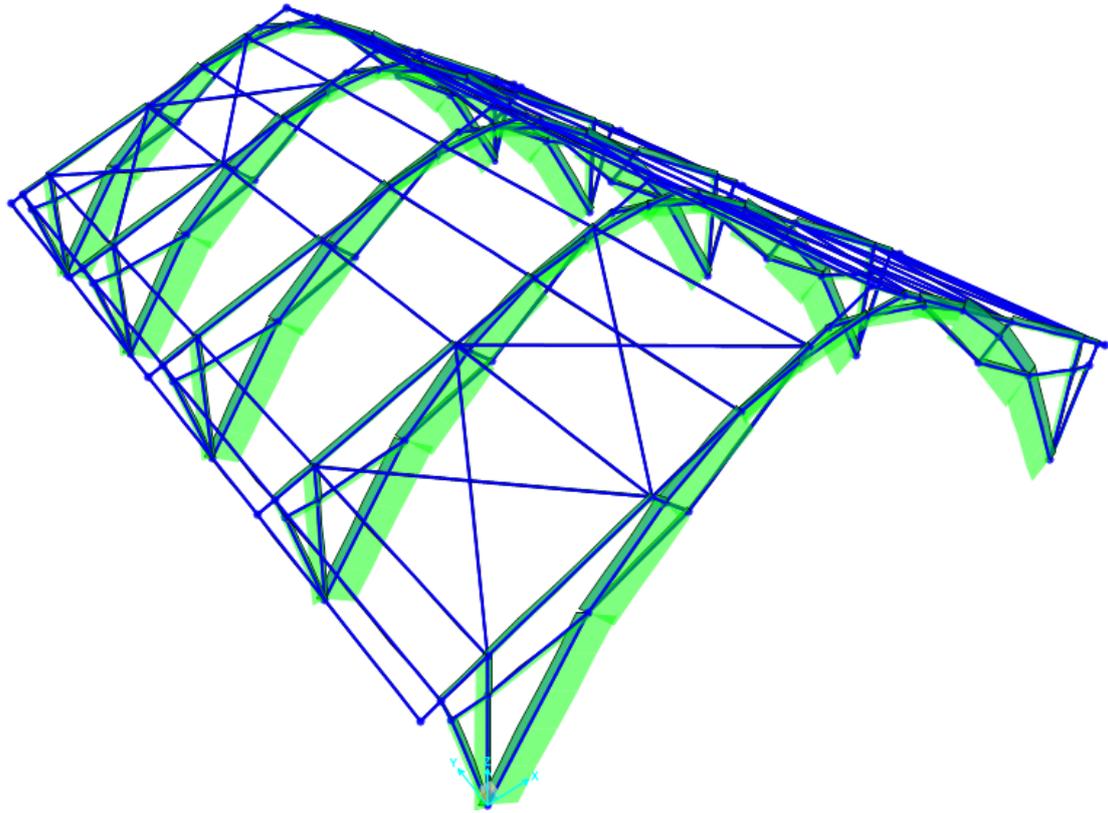


Figura 104: Diagrama de esforços axiais nas barras -Isométrico

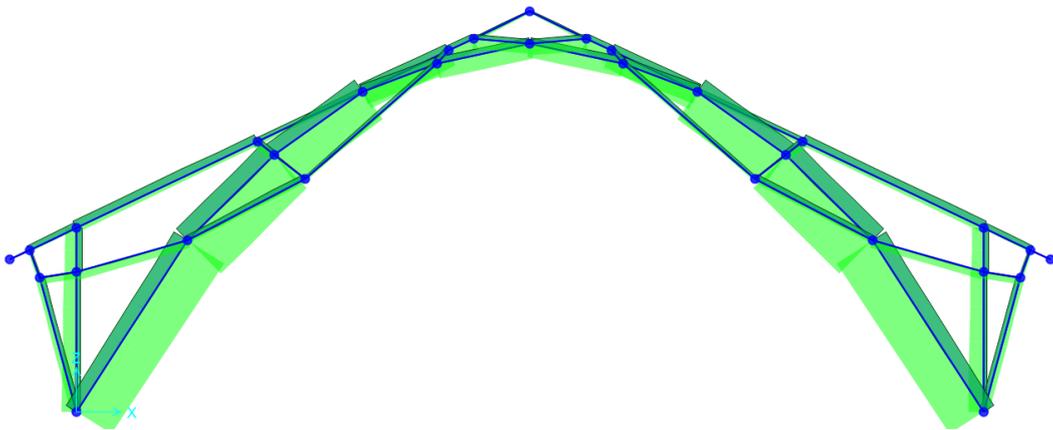


Figura 105: Diagrama de esforços axiais nas barras – vista frontal

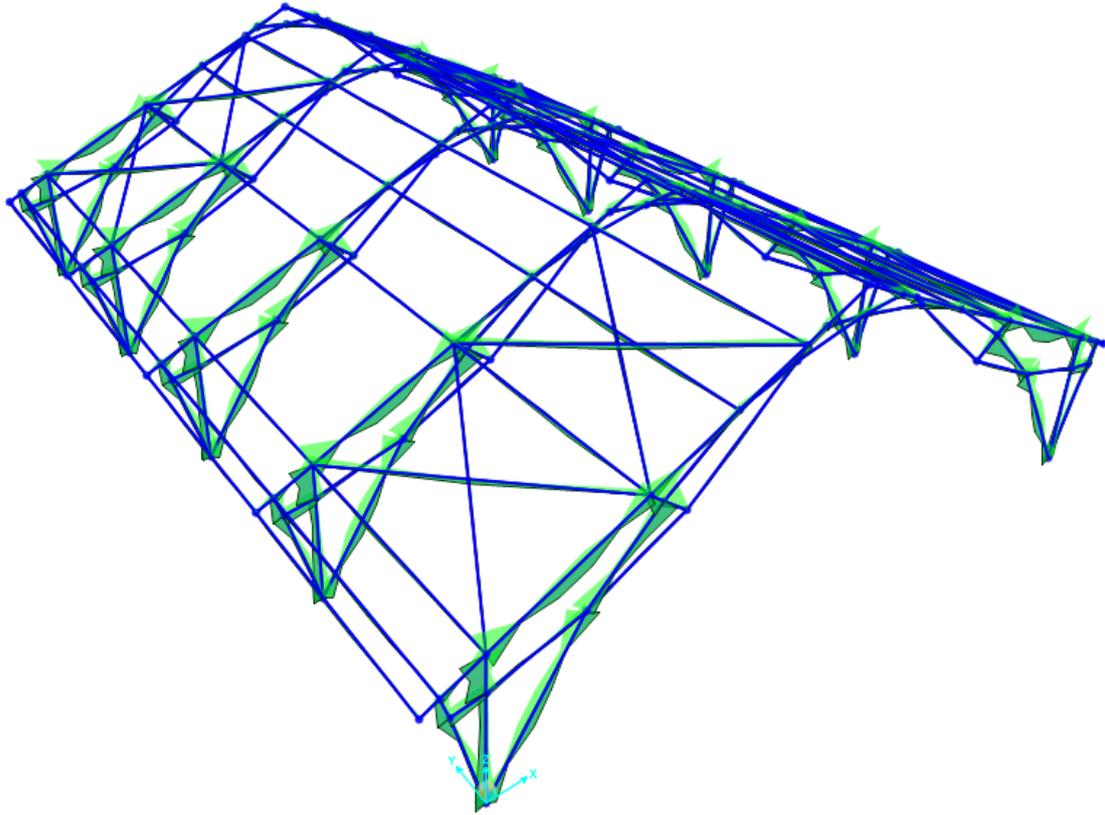


Figura 106: Diagrama de momento fletor - Isométrico

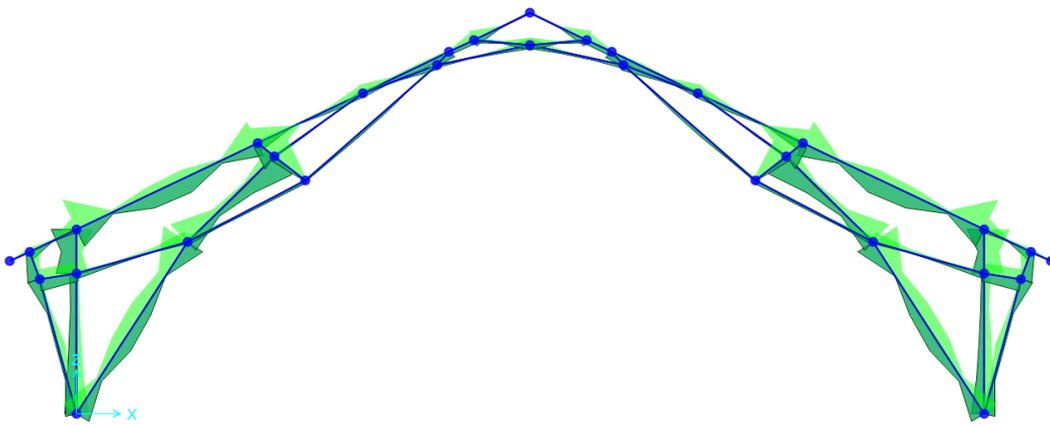


Figura 107: Diagrama de momento Fletor nas barras – Vista frontal

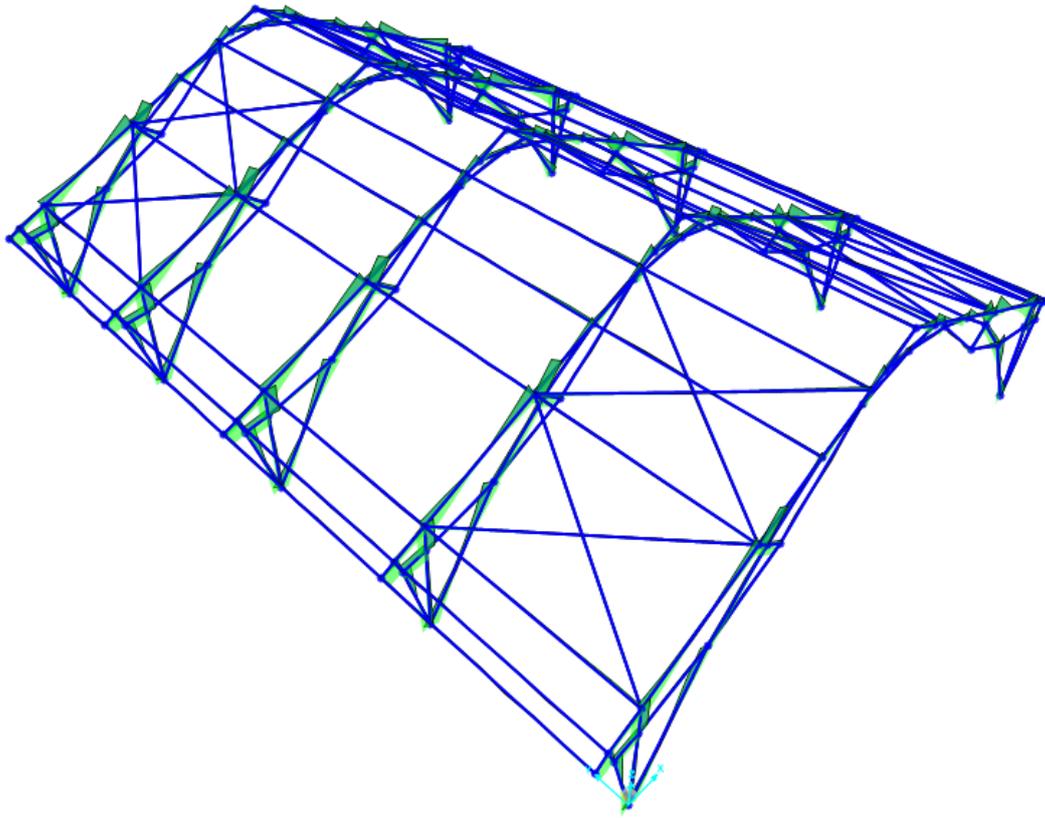


Figura 108: Diagrama de esforços de Cortante - Isométrico

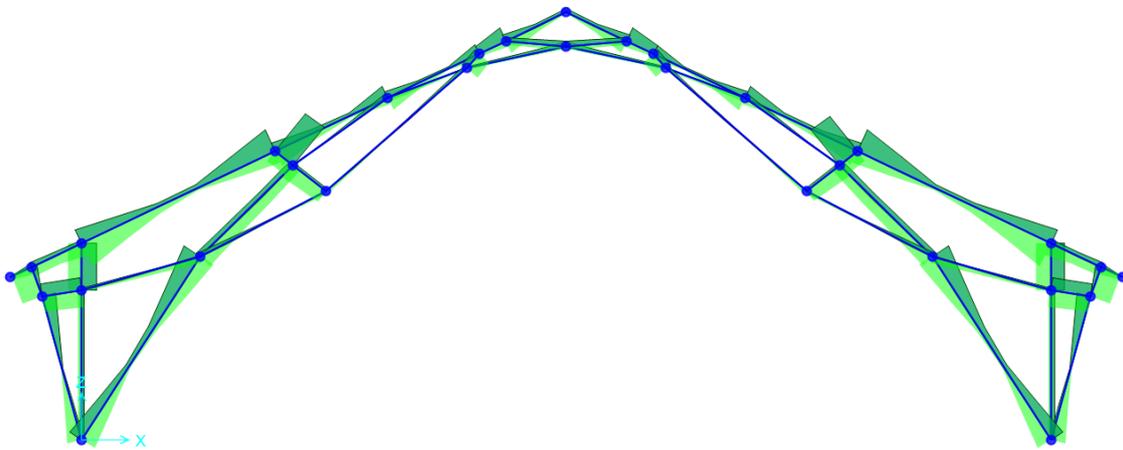


Figura 109: Diagrama de esforços de Cortante – Vista frontal

7.2 ANEXO II – Detalhamento executivo

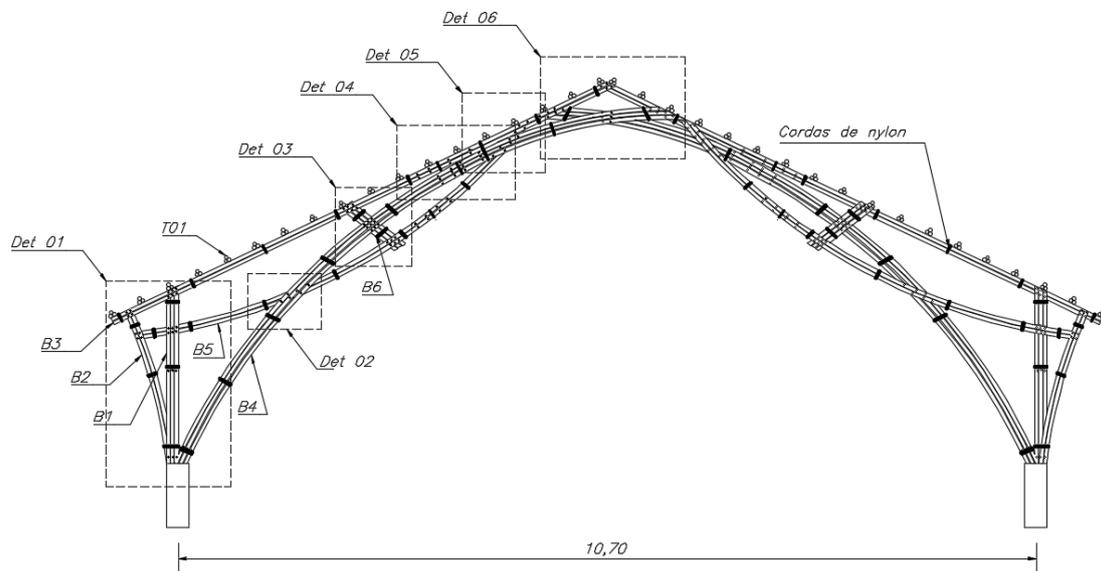
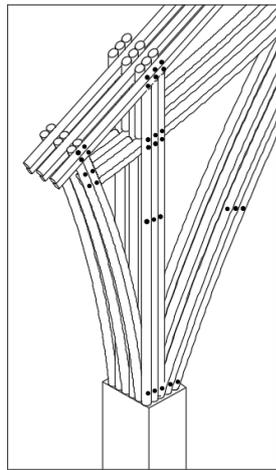
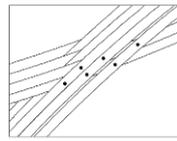


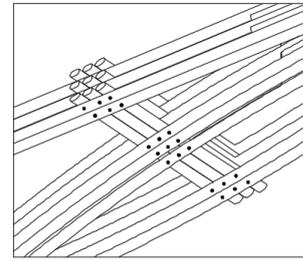
Figura 110: Esquema da estruturap



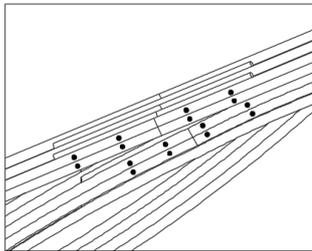
DETALHE 01



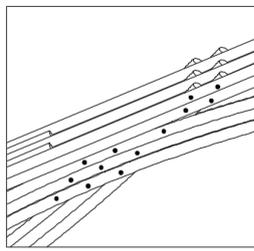
DETALHE 02



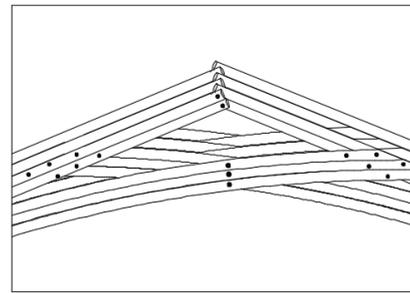
DETALHE 03



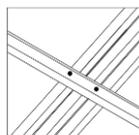
DETALHE 04



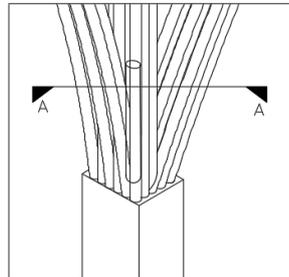
DETALHE 05



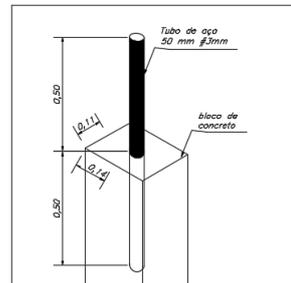
DETALHE 06



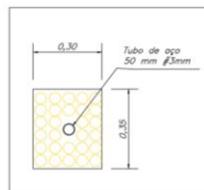
DETALHE 07
Fixação das Terças



DETALHE 08-A
Fixação do pórtico na fundação



DETALHE 08-B
Fixação do pórtico na fundação



DETALHE 08
Corte A-A

Figura 111: Detalhes de 01 a 08

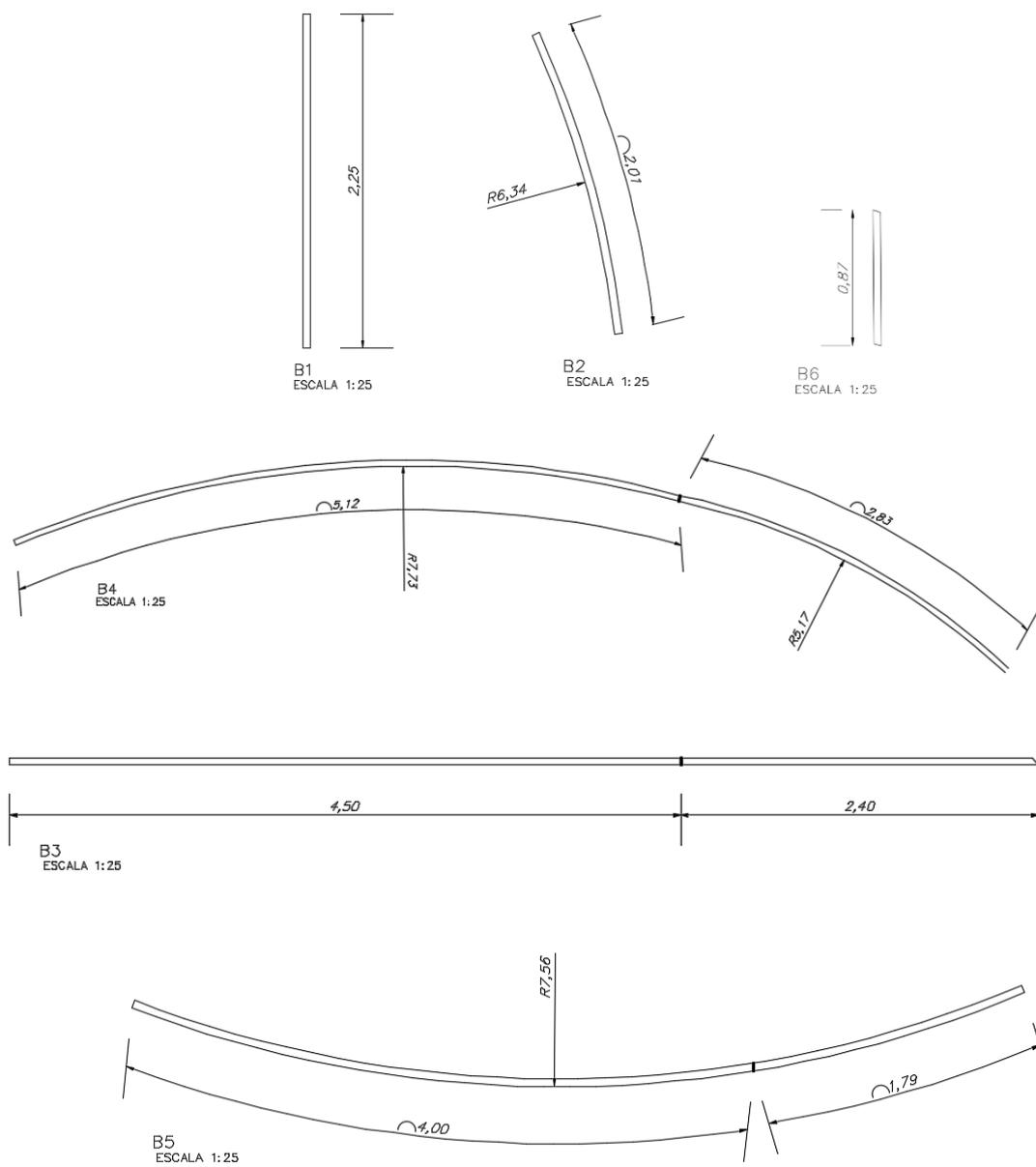


Figura 112: Dimensões das peças para composição das barras da Treliça