



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de Ilha Solteira

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE ENGENHARIA
CÂMPUS DE ILHA SOLTEIRA

GISLAINE BIANCHI

CONFECÇÃO DE UMA ESTRUTURA DE BAMBU:
análise comparativa de uma estrutura em escala real conforme estudos
realizados em modelo reduzido distorcido

Ilha Solteira
2020

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

GISLAINE BIANCHI

CONFECÇÃO DE UMA ESTRUTURA DE BAMBU:

análise comparativa de uma estrutura em escala real conforme estudos realizados em modelo reduzido distorcido

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – UNESP como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Prof. Dr. Jorge Luís Akasaki
Orientador

Prof. Dr. José Luiz Melges
Coorientador

**Ilha Solteira
2020**

FICHA CATALOGRÁFICA

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

B578c Bianchi, Gislaine.
Confecção de uma estrutura de bambu: análise comparativa de uma estrutura em escala real conforme estudos realizados em modelo reduzido distorcido. / Gislaine Bianchi. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2020
128 f. : il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Estruturas, 2020

Orientador: Jorge Luis Akasaki

Co-orientador: José Luiz Pinheiro Melges

Inclui bibliografia

1. Bambu. 2. Sustentabilidade. 3. Estrutura de bambu. 4. Materiais alternativos de construção. 5. Concreto com resíduo de borracha. 6. Sustentabilidade.

Raiane da Silva Santos
Raiane da Silva Santos

Supervisora Técnica de Seção
Seção Técnica de Referência, Atendimento ao usuário e Documentação
Divisão Técnica de Biblioteca e Documentação
CRB8 - 9999



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Ilha Solteira

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: CONFEÇÃO DE UMA ESTRUTURA DE BAMBU: análise comparativa de uma estrutura em escala real conforme estudos realizados em modelo reduzido distorcido

AUTORA: GISLAINE BIANCHI

ORIENTADOR: JORGE LUIS AKASAKI

COORIENTADOR: JOSE LUIZ PINHEIRO MELGES

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em ENGENHARIA CIVIL,
área: Estruturas pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. JORGE LUIS AKASAKI (Participação Virtual)
Departamento de Engenharia Civil / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - UNESP

Profa. Dra. LOURDES SORIANO MARTINEZ (Participação Virtual)
Instituto de Ciencia y Tecnologia del Hormigón / Universitat Politècnica de València

Prof. Dr. JOÃO CLAUDIO BASSAN DE MORAES (Participação Virtual)
Divisão de Engenharia Civil / Instituto Tecnológico de Aeronáutica - ITA

Ilha Solteira, 02 de dezembro de 2020

DEDICATÓRIA

Aos meus pais Durvalino e Elza, que dignamente me apresentaram à importância do apoio da família e ao caminho da honestidade e persistência. Sendo esta última chamada de opinião em minha casa, exigida, pensada e exemplificada para criar filhos fortes, preparados para vida.

Ao meu esposo Thiago, por pegar em minhas mãos e me levar de volta à universidade. Por conseguir recuperar em mim a vontade e esperança de acreditar novamente na pesquisa; pelo apoio incondicional em todos os momentos, principalmente nos de incerteza, muito comuns para quem tenta trilhar novos caminhos. Sem você nenhuma conquista valeria a pena.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por me presentear com a vida, e nela poder vivenciar todos os tipos de experiências. Sem sua presença, nada seria possível, pois a ele pertence todo o conhecimento proveniente do universo.

Agradeço aos meus pais que sempre me apoiaram e compreenderam as infinitas horas que fomos privados de nossas companhias para que eu pudesse desenvolver esta pesquisa.

A minha irmã Gisele pelo estímulo e motivação prestados nos momentos que me dispersei do foco, por vezes muito cansada.

Ao meu marido Thiago, que esteve por todo este tempo ao meu lado, se esforçando para me ajudar. O qual, nunca mediu esforços para que este projeto saísse do papel. Este homem, que por vezes, percebeu que dar uma mão não seria suficiente e precisou passar horas, dias e semanas estudando comigo para que eu pudesse passar na prova. Que me ensina o tempo todo no qual estamos juntos. Ora pelo vídeo de história do Brasil no Youtube, ora pelas observações feitas de obras em pequenos passeios, ora pela necessidade de pesquisa nos mais diversos meios.

Ao meu orientador prof. Jorge, que viu em mim uma oportunidade, e acreditou que eu poderia desenvolver este grande trabalho. Confiou a mim este tema maravilhoso que é a construção com bambu, o qual me apaixonou nos primeiros capítulos de livros lidos.

Ao meu co-orientador prof. Melges, sempre atencioso e sereno. Aquele que percebia minha inquietude e esclarecia minhas dúvidas de forma clara e eficiente, inibido de vaidades em prol a educação.

Ao prof. Beraldo pela significativa contribuição prestada durante a minha qualificação e pelos livros que sanaram a maior parte das minhas dúvidas.

A todos vocês professores, em especial aos citados acima, o meu reconhecimento por cada aula apresentada, cada assunto novo a ser desvendado, por cada oportunidade de errar e ser corrigida pelos melhores; meu respeito e admiração pela capacidade de análise do perfil de seus alunos, pelo dom do ensino e pelo exemplo que são.

Aos técnicos de laboratório Gilson e Flavio da Unesp; Gustavo, Marco, Fernanda e Lindomar da Unip, meu muito obrigada pela ajuda e incansáveis auxílios prestados as minhas solicitações.

Ao carpinteiro Francisco e seu ajudante Uberlã pela dedicação em que me auxiliaram, pela descontração nos momento de maior cansaço físico e, por se apaixonarem pelo bambu, assim como eu.

A todos os meus amigos, em especial à Luci, precursora de ética, dedicação e aprimoramento continuo, a qual me incentivou e corrigiu todos meus erros verbais e gramaticas; e ao amigo de trabalho e aluno Dream que participou efetivamente desta pesquisa, primeiro no auxilio aos desenhos técnicos e depois com sua iniciação científica seguindo o mesmo tema. A todos vocês obrigada pela oportunidade de convívio e auxilio direto ou indireto no desenvolvimento deste trabalho.

Aos alunos da UNESP, que me auxiliaram no corte e transporte do bambu, muitos deles que eu nem mesmo conhecia, demonstrando a unidade de generosidade que esta universidade se converge.

Agradeço ao Gugu pelos cafezinhos, sempre acompanhados de um sorriso amigo, que ele levava para mim cheio de carinho e simplicidade, no momento do desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço também a UNIP (Universidade Paulista) que nunca mediu esforços para que eu pudesse finalizar meu mestrado, me deixando utilizar seus laboratórios, livros, bases de dados e espaço físico para realiza-la.

Em especial ao Departamento de Engenharia civil da UNESP, o qual colocou sua infraestrutura total ao meu dispor, foi base concreta desta pesquisa. Ensinou-me, incentivou e deu subsídios para que eu pudesse realiza-la da melhor maneira possível.

RESUMO

A necessidade de repensar em consumo de materiais de construção que degradem menos o meio ambiente vem de encontro ao resgate da utilização do bambu como tal, o material das “mil e uma utilidades” tem grande potencial de funcionalidade para ser aplicado a construção, desde o usos de suas fibras, taliscas, colmos inteiros entre outros, até a mais diversas espécies cada qual, com suas características morfológicas e mecânicas. O objetivo desta pesquisa é a construção de duas estruturas de bambu, sendo uma em escala reduzida e outra em escala real e a análise do comportamento sinérgico do uso do bambu em conjunto com demais materiais utilizados. A metodologia da pesquisa partiu de uma análise exploratória das bibliografias relacionadas ao assunto; a seguir foram elaborados projetos arquitetônicos, tendo como conceito de forma as características das antigas construções em bambu e das obras de Simon Veléz; houve também a caracterização dos materiais que foram utilizados, a confecção de uma maquete em escala reduzida, na qual foram feitos os ensaios necessários para a comprovação da viabilidade executiva do sistema construtivo. Os resultados encontrados demonstram a capacidade sinérgica encontrada entre os diferentes tipos de materiais e técnicas utilizadas em um projeto com dinâmica estrutural leve e com design modular, confirmando a possibilidade de utilização do bambu e do concreto verde na construção.

Palavras-chave: Bambu. Sustentabilidade. Reciclagem. Estrutura.

ABSTRACT

The need to rethink the consumption of construction materials that degrade the environment less comes against the rescue of the use of bamboo as such, the “thousand and one uses” material has great potential for functionality to be applied to construction, from the uses of its fibers, taliscas, whole stems among others, up to the most diverse species each, with its morphological and mechanical characteristics. The aim of this research is to build two bamboo structures, one on a small scale and the other on a real scale, and to analyze the synergistic behavior of using bamboo in conjunction with other materials used. The research methodology started from an exploratory analysis of the bibliographies related to the subject; next, architectural projects were elaborated, having as a shape concept the characteristics of the old bamboo constructions and the works of Simon Veléz; there was also the characterization of the materials that were used, the making of a small scale model, in which the necessary tests were carried out to prove the executive viability of the construction system. The results found demonstrate the synergistic capacity found between the different types of materials and techniques used in a project with light structural dynamics and with a modular design, confirming the possibility of using bamboo and green concrete in construction.

Keywords: Bamboo. Sustainability. Recycling. Structure.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fachada do estacionamento do Zoológico municipal de Leipzig	17
Figura 2 - Forro do Aeroporto Internacional de Barajas (Espanha)	17
Figura 3 – Avaliação Global de Recursos Florestais	22
Figura 4 - Benefícios do cultivo do bambu em comparação	23
Figura 5 - Representantes da tribo Olyreae ocorrentes no Brasil	25
Figura 6 - <i>Bambusa D. Falcatum</i>	28
Figura 7 - <i>Bambusa tuldoides munro</i>	29
Figura 8 - Método de tratamento pelo fogo	33
Figura 9 - Armazenamento de colmos de bambu	34
Figura 10 - Armazenamento de colmos de bambu	42
Figura 11 - Catedral Alternativa Nuestra Señora de La Pobreza, Colômbia	42
Figura 12 - Detalhe da cobertura com amarrações de bambu	42
Figura 13- Cobertura vernacular em bambu e argamassa cimentícia	42
Figura 14 - Restaurante projetado em bambu por Vo Trong Nghia	43
Figura 15 - Detalhes da construção do restaurante	44
Figura 16 – Croqui Ponte Jenny Garzón construída na cidade de Santa Fé de Bogotá	45
Figura 17 – Nomadic Museum Zócalo na Cidade do México	45
Figura 18 - Memorial da Cultura Indígena	45
Figura 19- Oca seccionada para abrigar um jardim	45
Figura 20 - sapata em concreto aparente	46
Figura 21 - luva metálica em forma de cachimbo	46
Figura 22- luva de união e inclinação da calota	47
Figura 23- anel metálico	47
Figura 24- “flautas” de sustentação das vigas (console)	47
Figura 25 - desenhos feitos com claraboias de bambu	47
Figura 26- Detalhe da	50
Figura 27- Detalhe da	50
Figura 28- Apoio metálico em planta	51
Figura 29- Vista lateral do camchimbo	51
Figura 30 - Disposição de vigas e pilares	51
Figura 31 - Cobertura	51
Figura 32 - Vista da estrutura	52
Figura 33- Vista esquemática da cobertura	53
Figura 34 - Planta da cobertura lançada no programa SAP 2000	54
Figura 35 – Perspectiva tridimensional lançada no SAP 2000	54
Figura 36 - Força de compressão máxima (-1,94 kN)	55
Figura 37 - Força de tração máxima (0,77 kN)	55
Figura 38 - Colmos após o corte	56
Figura 39 - Colmos após período de secagem natural	56
Figura 40 - Estufa para secagem arqueada	57

Figura 41 - Fôrma para secagem arqueada da pétala	57
Figura 42- Medição individual dos colmos	57
Figura 43 - Medição dos feixes	57
Figura 44 - Feixe de bambus preparado para o ensaio	58
Figura 45 - Proteção das extremidades dos colmos com Durepox	58
Figura 46 – Feixe de bambus na prensa hidráulica com a ponta esmagada	59
Figura 47 - Rompimento do primeiro colmo de bambu na parte superior do feixe	59
Figura 48 - Aplicação da cola Araldite	60
Figura 49- Período de cura da cola	60
Figura 50- Ensaio de tração paralela às fibras, na máquina universal de ensaios EMIC DL30	61
Figura 51- Rompimento do primeiro colmo na zona central do feixe	62
Figura 52- Preparo do CP com o feixe de colmos centralizado	62
Figura 53 - CP após a ruptura	63
Figura 54- Corpo de prova rompido	63
Figura 55- Colmos rompidos	63
Figura 56 - Detalhamento dos feixes de bambus	64
Figura 57- Feixe de bambus da maquete	64
Figura 58 - Detalhe da fundação na maquete	65
Figura 59 - Detalhe da inserção do arame nos colmos	66
Figura 60- Detalhe da inserção	66
Figura 61- Detalhe da ligação dos pilares	67
Figura 62 - Detalhe da estrutura	67
Figura 63 - Detalhe das ligações das mãos francesas	67
Figura 64 - Detalhe da estrutura da maquete	67
Figura 65 - Cobertura	68
Figura 66 - Detalhe da representação do material têxtil	68
Figura 67 - imagem da moita de bambu	69
Figura 68 - período de secagem	69
Figura 69 - transporte dos colmos para o NEPAE	70
Figura 70 - organização dos colmos nas fôrmas	70
Figura 71 - amarração dos colmos nas formas	73
Figura 72 - aspersão da solução de octaborato	70
Figura 73 - colmos nas formas durante o período de secagem	71
Figura 74- colmos nas formas durante o período de secagem e manutenção das amarrações	71
Figura 75 - retirada das formas após 3 meses	71
Figura 76- tratamento através do fogo	71
Figura 77- Corpos de prova de bambu sem nó	72
Figura 78- Corpos de prova de bambu com nó	72
Figura 79: condição de apoio/ carregamento do colmo	72
Figura 80: verificação do deslocamento	72
Figura 81– Caracterização do cimento CP V – ARI MAX	77
Figura 82- resíduo de borracha de pneus	78

Figura 83 - Adição do cimento e sílica ativa na massa	80
Figura 84- Adição de resíduos de borracha de pneus	80
Figura 85 - Ensaio de segregação por peneiramento	80
Figura 86 - Medição do índice de consistência	80
Figura 87- inserção do resíduo de borracha de pneu na massa de concreto	83
Figura 88- processo de mistura manual do resíduo.	83
Figura 89- Ensaio de Compressão diametral no CP de concreto com adição de borracha de pneu.	84
Figura 90- Ensaio de Compressão axial no CP de concreto com adição de resíduo de borracha de pneu.	84
Figura 91 - Demarcação de gabarito	85
Figura 92- Detalhe do lastro e armação	85
Figura 93 - Instalação dos apoios metálicos com auxílio da mangueira	85
Figura 94 - Detalhe da instalação dos apoios utilizando o caibro	85
Figura 95 - sapatas concretadas	86
Figura 96- apoio metálico inserido à sapata	86
Figura 97- fixadores metálicos instalados a 90° e 45°	87
Figura 98- cachimbos com os colmos apoiados	87
Figura 99- detalhe da angulação dos cachimbos	88
Figura 100 - detalhe dos furos para aparafusamento dos colmos	88
Figura 101- corda de sisal mergulhada na água	89
Figura 102 - amarração dos pilares	89
Figura 103 - momento do encaixe do pilar	90
Figura 104 - detalhe do encaixe no cachimbo	90
Figura 105 - entrelace dos colmos de ambos pilares	90
Figura 106- apoio central para balisamento	90
Figura 107- aparafusamento do colmo	91
Figura 108- colmo fixado	91
Figura 109- fixação das mãos francesas	91
Figura 110- detalhe do entrelace da mão francesa.	91
Figura 111- amarração dos colmos para confecção das cumeeiras.	92
Figura 112- montagem das cumeeiras	92
Figura 113- detalhe do apoio intermediário	93
Figura 114- Detalhe das amarrações do apoio intermediário e uso de escora.	93
Figura 115 - terças e espigões	93
Figura 116- estrutura recebendo reforço nas amarrações	93
Figura 117- retirada das escoras	94
Figura 118- acabamentos realizados na estrutura	94
Figura 119- aplicação de PU nas emendas.	94
Figura 120- Estrutura finalizada	94
Figura 121- esquema do carregamento da estrutura.	95
Figura 122- medição dos deslocamento.	95
Figura 123- Corpo de prova sem nó sob carregamento	99
Figura 124- corpo de prova com nó rompido	99

Figura 125- Projeto inicial	106
Figura 126- Projeto final	106
Figura 127- projeto inicial com as pétalas mais curtas	107
Figura 128- adequação do projeto às condicionantes do bambu, com pétalas	107
Figura 129- detalhe da fundação no modelo reduzido	108
Figura 130- modificação executada na escala real	108
Figura 131- carregamento aplicado à estrutura	109
Figura 133- deslocamentos extraídos <i>in loco</i>	110
Figura 133- deslocamentos extraídos <i>in loco</i>	111
Figura 134- Grafico analitico dos deslocamentos extraídos <i>in loco</i>	112
Figura 134- Pétala 1	113
Figura 135- Pétala 4	113

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Custo do plantio, crescimento e ciclo	24
Tabela 2 - Espécies prioritárias de bambu, segundo INBAR	27
Tabela 3: Informações dimensionais, volumes e pesos dos colmos da espécie <i>Bambusa tuldooides munro</i>	30
Tabela 4 - Propriedades físicas da espécie <i>Bambusa tuldooides munro</i>	30
Tabela 5 – Medidas dos diâmetros das extremidades dos colmos (m)	58
Tabela 6 - Composição e informações sobre os ingredientes	58
Tabela 7 - Propriedades físico-químicas da Araldite	60
Tabela 8 – curva granulométrica da areia fina	74
Tabela 9 – curva granulométrica da areia fina	76
Tabela 10 – quantidade experimental 1 de microconcreto (kg)	80
Tabela 11 - quantidade experimental 1 de Microconcreto (kg)	81
Tabela 12 - Composição dos traços utilizados como referência	82
Tabela 13- Composição dos traços utilizados com adição de resíduo de borracha de pneu	82
Tabela 14- Resultados preliminares do ensaio de tração	97
Tabela 15- Resultado do primeiro ensaio - Corrigido	97
Tabela 16- Resultado do segundo e terceiro ensaio – Corrigido	98
Tabela 17– Ensaio de compressão dos corpos de prova com nó	99
Tabela 18– Ensaio de compressão dos corpos de prova sem nó	100
Tabela 19– Melhores resultados do ensaio de compressão	100
Tabela 20– Melhores resultados do ensaio de compressão	101
Tabela 21– Massa específica dos corpos de prova com nó	101
Tabela 22– Massa específica dos corpos de prova sem nó	101
Tabela 23- Resultados do ensaio de compressão axial	102
Tabela 24- Resultados do ensaio de tração por compressão diametral	103
Tabela 25- Resultados do ensaio de módulo de elasticidade	103
Tabela 26- Comparação dos resultados do ensaio de módulo de elasticidade	104
Tabela 27– Deslocamentos da estrutura	109
Tabela 28– Deslocamentos da estrutura com carga variável	112
Tabela 29– Deslocamentos do colmo	114
Tabela 30– Características geométricas	115
Tabela 31– Módulo de elasticidade calculado	115

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

CO₂- Dióxido de Carbono
SINC - Sindicato Nacional da Indústria da Construção
DAP- Diâmetro a altura do Peito
ONU- Organizações das Nações Unidas
ODS- Objetivos do Desenvolvimento Sustentável
PET- Poli tereftalato de etila
CAD - Concretos de alto desempenho
CAA - Concreto auto adensável
CPR – Concreto de pós-reativos
LTDA - Limitada
NEPAE- Núcleo de Ensino e Pesquisa da Alvenaria Estrutural da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira
UNESP- Universidade Estadual de São Paulo
UNIP - Universidade Paulista
CP- Corpo de prova
DAE- Departamento de Água e Esgoto
ARI - Cimento de alta resistência inicial
T0- Traço inicial 0
T1 – Traço modificado com adição 1
T2- traço modificado com adição 2
TC - traço controle
TCR – Traço controle com adição de resíduo
PU - Selante adesivo elástico de poliuretano
kg- Quilograma
MPa – Mega Pascal
C.v. – Coeficiente de variação.
cm- centímetros
kgf- Quilograma força
kN- Quilo Newton
mm- Milímetros
E - módulo de elasticidade
GPa- Giga Pascal

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
2	JUSTIFICATIVA	20
3	OBJETIVOS	21
3.1	OBJETIVOS GERAIS	21
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	21
4	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	22
4.1	BAMBU E SUAS GENERALIDADES	22
4.1.1	Coleta, cura e tratamento	31
4.2	CONCRETO COM ADIÇÃO DE RESÍDUO DE BORRACHA DE PNEUS	37
5	OBRAS CORRELATAS	42
6	PROGRAMA EXPERIMENTAL	48
6.1	PROJETO DE UMA ESTRUTURA DE BAMBU	49
6.2	MATERIAIS E MÉTODOS	55
6.2.1	Bambu para confecção do modelo em escala reduzida e distorcida	55
6.2.2	Modelo em escala reduzida e distorcida:	64
6.2.3	Bambu para confecção de modelo em escala real	68
6.2.4	Caracterização Mecânica do Bambu Tuldoides Munro	71
6.3	CONCRETO	73
6.3.1	Caracterização do Materiais	73
6.3.2	Microconcreto com resíduos de borracha de pneus	78
6.3.3	Concreto com resíduos de borracha de pneu	81
6.4	EXECUÇÃO DA ESTRUTURA E ESCALA REAL	84
6.4.1	Fundação da estrutura em tamanho real	84
6.4.2	Montagem da estrutura em escala real	88
6.5	ENSAIO DE CARGA NA ESTRUTURA EM ESCALA REAL	95
7	RESULTADOS	96
7.1	RESULTADO DO MATERIAL BAMBU	96
7.1.1	Resultado do ensaio de tração aplicado ao feixe de bambus - modelo em escala reduzida: Drepanostachyum falcatum (nees) keng f.	96
7.1.2	Resultado do ensaio de compressão axial aplicado ao feixe de bambu	98
7.1.3	Bambu utilizado na confecção do modelo em escala real: bambusa tuldoides munro	98
7.2	RESULTADO DO MATERIAL CONCRETO	102
7.2.1	Resultado dos traços de microconcreto com adição de resíduo de pneu	102
7.2.2	Resultado dos traços de concreto com adição de resíduo de pneu	103

7.3	RESULTADO DO MODELO REDUZIDO DISTORCIDO	105
7.4	RESULTADOS DO PROTÓTIPO EM ESCALA REAL	109
8	CONCLUSÃO	116
	REFERÊNCIAS.....	119
	ANEXOS.....	128

1 INTRODUÇÃO

O bambu é um material muito versátil e utilizado em larga escala em vários países do mundo. Seus subprodutos, que podem se dividir em alimentos, mobiliário, estruturas, utensílios entre outras infinidades, o mesmo pode ser caracterizado como sendo o material das “mil e uma utilidades” (PEREIRA; BERALDO, 2007).

Embora tenha sido muito útil na antiguidade, o bambu acabou se tornando um material pouco utilizado pela população atualmente para construções, por conta da grande demanda por concreto armado existente no Brasil. Apesar de apresentar baixo custo e fácil obtenção no meio rural, ele ainda encontra barreiras quanto à sua aplicação em larga escala na construção civil. A falta de informação por grande parte dos brasileiros consolidou o uso de materiais convencionais não sustentáveis - como o aço e o cimento - na maioria das obras urbanas.

Na Ásia e em países da América Latina como Colômbia, Peru, Equador e Costa Rica, a prática de uso do bambu é difundida, porém, no Brasil o bambu ainda não se tornou parte do cotidiano. Por motivos culturais, a população brasileira ainda discrimina obras não realizadas em alvenaria e concreto, por herdarem o pensamento de que obras feitas em madeira eram destinadas apenas às classes mais baixas.

Pode-se observar diversos usos desse material em estruturas modernas fora do Brasil. Teixeira Junior *et al*, (2009) mencionam que “[...] em Leipzig, na Alemanha, a fachada do novo estacionamento do zoológico municipal foi construída com varas de bambu presas em cintas de aço” (Figura 1).

Estes autores ponderam que, no caso do aeroporto de Barajas (Espanha) (Figura 2), a estrutura em bambu (laminado e colado) pôde ser utilizada devido ao tratamento químico nele realizado, o qual retira o amido, inibindo assim a ação das pragas. A única recomendação técnica é o uso de verniz naval para a proteção contra as intempéries.

Figura 1 - Fachada do estacionamento do Zoológico municipal de Leipzig



Figura 2 - Forro do Aeroporto Internacional de Barajas (Espanha)



Fonte: Teixeira Júnior, Kenupp e Campos (2009)

Fonte: Teixeira Júnior, Kenupp e Campos (2009)

O bambu é um material muito versátil, isso ocorre por causa das características físicas da gramínea, que, além de ser encontrada em abundância, apresenta boa resistência físico-mecânica, qualificando-o como matéria-prima para a construção civil, tanto pela facilidade do manejo como pela versatilidade na utilização.

O manejo nos cortes de madeiras é regulamentado pelo Decreto nº 6.660, de 21/09/2008, o qual dispõe sobre a utilização e proteção da vegetação nativa. Em 2011, o governo brasileiro sancionou a “Lei do Bambu” nº 12.484, que instituiu a Política Nacional de Incentivo ao Manejo Sustentado e ao Cultivo do Bambu, proporcionando condições a agricultores para a produção em larga escala, beneficiando seu uso em muitos setores, como: alimentação, mobiliários, construção civil entre outros.

Pela boa resistência mecânica e rapidez de produção, o bambu foi escolhido para este estudo, a fim de substituir o aço utilizado no concreto armado. Ghavami (1989) verificou que, para a produção de aço, gasta-se 50 vezes mais energia do que para a manufatura do bambu. Além disso, o bambu apresenta elevada resistência mecânica, principalmente na direção paralela às fibras, podendo atingir até 350 MPa de acordo com a espécie, fato que o torna uma alternativa eficiente na substituição do aço.

De acordo com Seixas, Ripper e Ghavami (2015), tal substituição é especialmente eficaz quando se considera a relação entre a resistência à tração e o peso específico, sendo que, no caso do bambu é dez vezes maior que o do aço.

Dessa maneira, ao utilizar o bambu como substituto do aço, gera-se diminuição na demanda de uso da liga metálica, proporcionando economia dos recursos naturais não-renováveis, tais como o minério de ferro e o consumo de energia de natureza fóssil (carvão), que são utilizados na extração e produção do aço, cuja consequência é a diminuição da emissão de dióxido de carbono, agente causador do efeito estufa (GHAVAMI; MARINHO, 2005).

Bambucreto é o nome da prática na qual se produz concreto armado, utilizando o bambu em substituição ao aço. A referida prática ainda não possui normatização, critérios claros de dimensionamento e tecnologias convenientes. Pesquisadores afirmam que a excelente resistência à compressão, tração e flexão tornam o bambu uma ótima matéria-prima para a confecção de pilares, vigas, colunas e lajes (BERALDO, 1987; GHAVAMI; MARINHO, 2005; TEIXEIRA JÚNIOR; KENUPP; CAMPOS, 2009).

Segundo Walker (2014), as desvantagens da utilização do bambu encontram-se na “contração e expansão causadas por mudanças de temperatura e absorção de água, sendo estas algumas de suas fraquezas. O vegetal também pode sofrer danos estruturais causados por fungos ou simples biodegradação”.

O concreto é um dos materiais mais utilizados no mundo, gerando bilhões de toneladas de CO₂. Em 2017, no Brasil, segundo o Sindicato Nacional da Indústria da Construção (SINC – 2016), houve uma produção de 54 milhões de toneladas de cimento; em 2018, até o mês de agosto, produziram-se mais 35,3 milhões de toneladas, acarretando um grande prejuízo ecológico. Somada -se a este panorama, tem-se a produção de pneus, utilizado em larga escala na indústria de transporte e descartado, na maioria das vezes, sem controle.

Ao se tratar de resíduos de construção, observa-se que estes provocam grandes problemas ambientais por consumirem 50% dos recursos naturais globais e produzirem de 30 a 50% de resíduos sólidos. Portanto, a procura por diferentes fontes de matéria-prima menos danosas ao meio ambiente e pelo reaproveitamento de resíduos vem ao encontro do preceito universal da sustentabilidade (UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME – UNEP, 2004).

Os resíduos de borracha de pneu foram estudados por Trentin (2014) para melhorar as limitações do concreto em relação à resistência de esforços à tração em tubos. Os resultados demonstraram que o material ajudou a reduzir a fissuração do concreto.

Ao se relacionar sistemicamente as técnicas, conclui-se que a execução de estruturas de bambu, em conjunto com concretos verdes (do tipo que utiliza resíduo), pode ser viável, desde que sejam empregadas de maneira correta.

Portanto, este trabalho tem como intuito avaliar o comportamento de um elemento estrutural construído com bambu e fundações com concreto composto com resíduo de borracha de pneu. Observe-se que há carência desse tipo de iniciativa no Brasil, por isso é necessário estabelecer um cunho sustentável às edificações, considerando-se a crescente degradação dos recursos naturais para o mercado da construção atual. Além disso, pretende-se demonstrar a viabilidade técnica da construção com materiais ecológicos que “possibilitem a diminuição considerável de gastos com energia na fabricação de componentes para construção” (CARDOSO JÚNIOR, 2000), avaliando sistemicamente os benefícios promovidos por esta observação.

2 JUSTIFICATIVA

O bambu apresenta um ciclo anual de produção menor que as madeiras de reflorestamento, atualmente utilizadas em maior escala na construção civil do Brasil; como também se adapta melhor a diferentes condições físicas de terrenos. Ao estimular à construção civil o uso de bambu tratado ou de materiais derivados deste, evita-se que grandes áreas sejam ocupadas durante longos períodos (5 a 10 anos), com o plantio madeira de reflorestamento, substituindo-as por um material de alta produção como proposta de utilização na prática (SHARMA *et al.*, 2016).

A utilização de bambu é uma alternativa ecológica para a construção civil. Esta planta cresce rapidamente, atinge sua maturidade estrutural entre 3 e 5 anos, além de ser dotada de propriedades mecânicas ortrópicas. As fibras dele variam de forma radial, longitudinal e transversal. Tais predicativos conferem as características físico-mecânicas necessárias para o uso em construções, desde que o bambu seja tratado corretamente (SEIXAS; RIPPER; GHAVAMI, 2015).

Seguindo a tendência mundial de desenvolvimento sustentável na construção civil, verifica-se neste material, grande versatilidade e resistência mecânica, as quais sugerem que o bambu seja a “madeira do futuro”; ele está sendo utilizado em grande escala e com sucesso em países como Colômbia, Costa Rica e China (BERALDO; AZZINI, 2004).

Por conseguinte, torna-se viável a utilização de um concreto considerado “verde” para complementar o método construtivo, a fim de manter a tendência ecológica da edificação. O concreto verde escolhido é produzido com a adição de resíduo de borracha de pneu, proveniente de recauchutagem; resíduo que é, na maioria das vezes, descartado em grandes áreas e sem qualquer tratamento.

Portanto, a junção destes materiais na construção de uma estrutura ecológica e de fácil execução, engloba, de forma holística, os requisitos sustentáveis da construção civil, e minimiza o uso de matérias-primas e/ou processos de produção que necessitem de grande consumo energético (VIEIRA, 2015).

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVOS GERAIS

Desenvolvimento de uma bio-estrutura, em escala reduzida e em escala real, utilizando como matéria-prima principal o bambu. Análise sistêmica da sinergia do comportamento dos materiais ecológicos quando aplicados à construção em escala real e em modelo reduzido distorcido.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Projetar uma “biocobertura”, utilizando o bambu em colmos inteiros e com espécies presentes na região de Ilha Solteira, aproveitando o máximo de sua curvatura natural.
- Construir um protótipo em escala reduzida distorcida para avaliar as dificuldades de execução da construção.
- Construir uma “biocobertura”, utilizando o bambu e o concreto com adição de resíduo de borracha de pneu como matérias-primas, em escala real;
- Verificar as divergências e dificuldades da execução de uma estrutura em escala real, contrapondo com o modelo reduzido distorcido, através da observação em campo.
- Verificar as características técnicas do comportamento dos materiais por meio de medição: teste de resistência à tração e compressão do bambu, do concreto e do conjunto.
- Estabelecer metodologia para o uso de materiais alternativos em seu estado natural, sem utilização de maquinários de grande porte em construção civil, de tal maneira que possa embasar construções em bambu de fácil manuseio e execução.

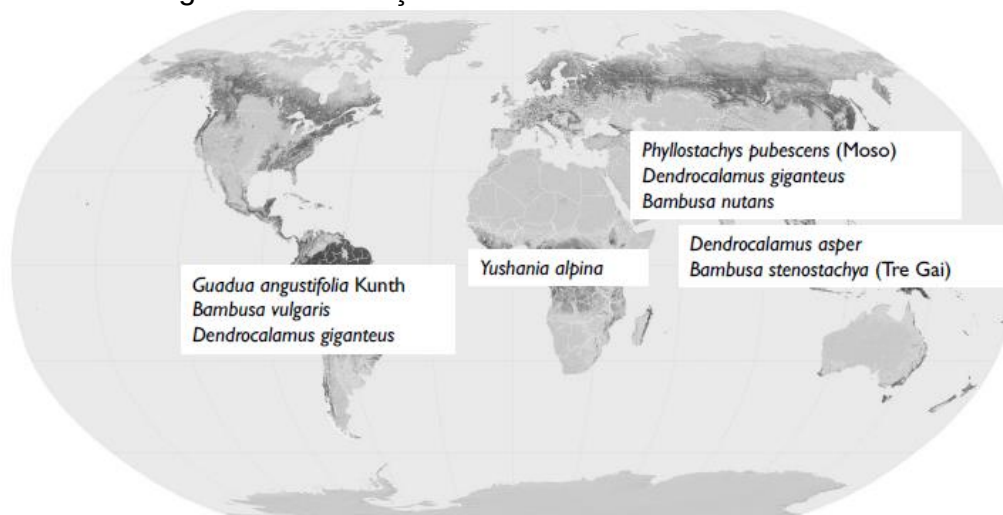
4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 BAMBU E SUAS GENERALIDADES

O bambu está classificado, botanicamente, como *Bambusae*, uma tribo ou família das *Graminae*; é uma planta lenhosa, monocotiledônea, pertencente às angiospermas (PEREIRA; BERALDO, 2007). As partes do tronco das árvores de bambu são denominadas colmos, os quais ficam em parte subterrânea e em parte aérea. Normalmente, o colmo é oco, constituído por rizomas e raízes (subterrâneas), e folhas (aéreas).

O bambu é um material com alto potencial de uso na construção civil. A América Latina abriga 33% (Figura 3) das espécies de bambu existentes no Mundo. São nove milhões de hectares. A grande maioria abrigada na Amazônia Brasileira (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - FAO, 2007). Diante da biodiversidade de espécies e quantidade já existentes, mesmo que necessite de mão de obra especializada, o bambu ainda pode ser considerado uma alternativa viável na construção civil (UNEP, 2004; SHARMA *et al.*, 2016).

Figura 3 – Avaliação Global de Recursos Florestais



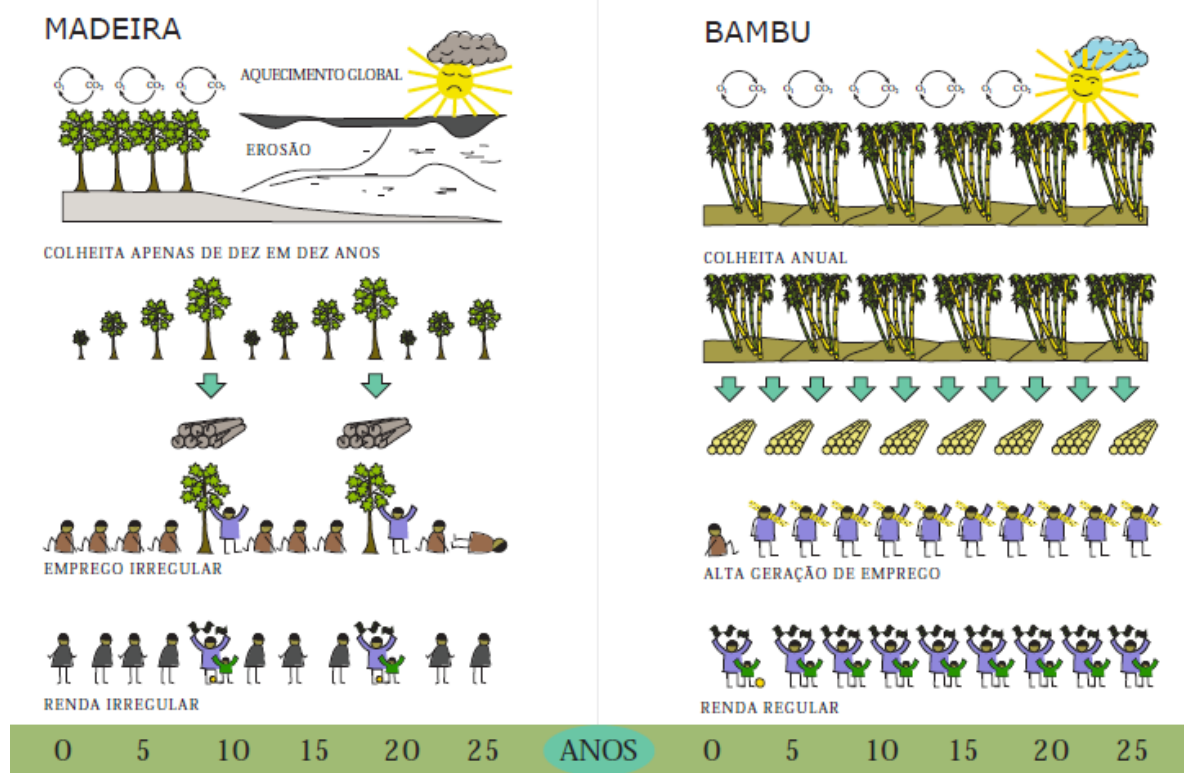
Fonte: FAO (2010) citado por Sharma *et al.* (2016).

Ao ser utilizado como matéria-prima, o bambu gera alta potencialidade de economia de outros recursos naturais. Além de ser abundante no País, tem um ciclo de produção curto; alta produtividade, rapidez de crescimento; facilidade de cultivo e

melhora de áreas degradadas pela erosão, além de gerar empregos e rendas regulares (JARAMILLO, 1992; PADOVAN, 2010).

Na Figura 4, observam-se as diferenças entre os ciclos de produção da madeira e do bambu. No Brasil, Gomide, Vivone e Gala (1988) e Hidalgo- López (1974) apresentaram um levantamento de produtividade dos bambus, *Bambusa vulgaris* e *Guadua angustifolia*, que figura entre 10t/ha e 31t/ha respectivamente.

Figura 4 - Benefícios do cultivo do bambu em comparação a madeiras de reflorestamento



Fonte: Garland (2004).

Na tabela 1, pode-se verificar a relação entre custo benefício do plantio de bambu e do plantio de eucalipto.

Tabela 1 - Custo do plantio, crescimento e ciclo de produção do eucalipto e bambu

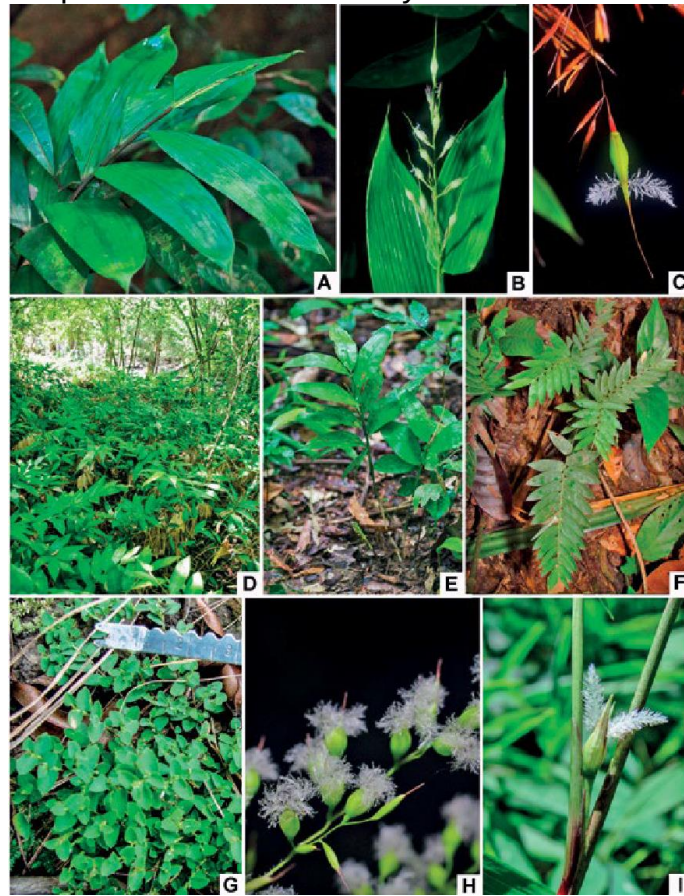
Material	Custo do plantio por hectare	Rendimento	Período de produção
Eucalipto	US\$ 300-400	12 a 16 t/ha/ano umidade de 6%	20 anos (aprox. 3 cortes)
Bambu	US\$ 200-250	20 a 30 t/ha/ano	60 a 120 anos

Fonte: Kamegasawa (2004) citado por Padovan (2010).

Filgueiras *et al.* (2015) quantificaram mais de 258 espécies brasileiras de bambus nativos, as quais foram subdivididas em duas tribos: *Olyreae* e *Bambuseae*, distribuídas em 35 gêneros. Os bambus da tribo *Olyreae* caracterizam-se como bambus herbáceos, geralmente utilizados para funções ornamentais. Todavia, a tribo *Bambuseae* apresenta-se diferente, são bambus mais lignificados ou lenhosos. “O número de bambus endêmicos no Brasil é alto: são 12 gêneros (34%) e 175 espécies (68%)” (DRUMOND; WIEDMAN, 2017, p. 15).

***Olyreae*:** “O maior gênero da tribo é *Pariana* (Figura 5), com 29 espécies, sendo 11 delas endêmicas”. O gênero é predominantemente amazônico, com breve extensão para o Nordeste. As plantas desse gênero são delgadas ou robustas, com estolões ou rizomas. Esta espécie encontra-se amplamente distribuída em todos os estados do Brasil e também em países vizinhos (JUDZIEWICZ *et al.*, 1999). No Brasil, é comumente encontrada em matas primárias e secundárias, sempre associada à umidade ambiental. São espécies de pequeno porte, geralmente voltadas ao paisagismo, não sendo utilizadas para a construção.

Figura 5 - Representantes da tribo Olyreae ocorrentes no Brasil



Nota: (A) *Olyra obliquifolia* Steud.; (B) *Olyra latifolia* L.; (C) *Olyra glaberrima* Raddi; (D-E) *Pariana* sp.; *F. Piresia goeldii* Swallen; (G) *Raddiella minima* Judz. & Zuloaga; (H) *Parodiolyra micrantha* (Kunth) Davidse & Zuloaga; (I) *Lithachne horizontalis* Chase.

Fonte: Drumond e Wiedman (2017).

Bambuseae: Nesta tribo, os dois gêneros que se destacam são o *Chusquea* e o *Merostachys*, ambos com 44 espécies, e destas, 41 são endêmicas e consideradas como os maiores gêneros de *Bambusea* no Brasil.

Merostachys “apresenta colmos predominantemente fistulosos [...] e nó com uma única gema que logo se desenvolve em múltiplas ramificações, resultando num meristema em forma de leque que praticamente envolve todo o colmo”. São mais frequentes nas regiões Sul e Sudeste.

Chusquea é peculiar por apresentar colmo sólido e ramificação com gemas múltiplas e dimórficas em cada nó. As espécies são encontradas em todas as regiões do país, com destaque para os campos de altitude. (DRUMOND; WIEDMAN, 2017, p. 19)

As espécies nativas brasileiras, em grande maioria, são ornamentais e originárias de países orientais, com exceção do *Guadua*, originária da América do Norte (PEREIRA; BERALDO, 2007).

O *Guadua* é muito utilizado na construção civil em países como a Colômbia e o Equador, é composto por bambus lenhosos de médio a grande porte, atingindo

mais de 30m de altura e 15cm de diâmetro, é reconhecido por conter espinhos nos colmos. Atualmente, há 19 espécies nativas catalogadas, cinco delas são endêmicas e distribuídas em todo o Brasil. Esse gênero é o bambu mais alto do Brasil (GHAVAMI; MARINHO, 2005; PEREIRA; BERALDO, 2007).

É possível encontrar, no Brasil, espécies do gênero *Bambusea*, tais como *blumena*, *dissimulator*, *multiplex*, *tulda*, *tuldoides*, *ventricosa*, *vulgaris*, *beecheana*; *Dendrocalamus* com as espécies: *giganteus*, *asper*, *latiflorus*, *strictus*; *Gigantochloa*, *Guadua*, *Phyllostachys*, com as espécies: *aurea*, *purpurata*, *bambusoides*, *nigra*, *pubescens*, *Pseudosasa*, *Sasa* e *Sinoarundinaria* (FILGUEIRAS; SANTOS GONÇALVES, 2004; PEREIRA; BERALDO, 2007).

O *International Network for Bamboo and Rattan* - INBAR (1994) recomenda a introdução e a experimentação de 19 espécies de bambu consideradas prioritárias. No Brasil, muitas dessas espécies já foram introduzidas e se encontram adaptadas ao clima e ao solo.

Pereira e Beraldo (2007) demonstram, na Tabela 2, as características dessas espécies, destacando seus potenciais de acordo com INBAR.

Tabela 2 - Espécies prioritárias de bambu, segundo INBAR

Espécie	Valor			Manejo	Clima e ecologia	
	Comercialização	Indústria rural	Regeneração ambiental		Clima	Solos
Bambusa bambos	++	++	++	D	h,d,s	r,m,p
B. Blumena*	++	++	++	D	h,d,s	r,m,p
B. polymorpha	+	+	-	D	h,d	r,m
B. textilis * (Drepanostachyum falcatum)	+	++	+	D	st	r,m
B. tulda*	+	++	+	D	h,d	r,m
B. vulgaris*	-	-	++	D	h,d,s	r,m,p
Cephalostachyum pergracile	+	++	+	W	h,d	m
Dendrocalamos asper	++	+	++	D	h,d	r
D. giganteus*	+	+	+	D	h	r
D. latiflorus	++	+	++	D	h	r
D. strictus	++	+	++	D	d,s	m,p
Gigantochloa apus*	+	++	+	D	h	r
G. levis	+	++	++	D	h	r
G. pseudoarundinaria				D	h,d	r
Guadua angustifolia*	++	++	++	W	h	r,m
Melocanna baccifera*	+	++	+	W	h	r
Ochilandra	+	+	+	W	h	r
Phyllosrachys pubescens*	++	++	++	D	t	r,m
Thyrostachys siamesis*	++	++	++	D	d, (h)	w,(r)

Notas: *espécies existentes no Brasil (IAC, UNESP e em coleções particulares)

Legendas:

VALOR: ++ alto; + médio; – baixo

MANEJO: D – Domesticado; W- selvagem

CLIMA E ECOLOGIA: h: trópicos úmidos; d: trópicos secos; st; subtropical; s: semiárido; t: temperado

SOLOS: r: ricos; m: médios; p: pobres

Fonte: Adaptado de Pereira e Beraldo (2007).

Dentro dessas recomendações, encontra-se a espécie *Drepanostachyum falcatum* (Nees) Keng f., muito utilizada para ornamentação paisagística. “tal espécie de bambu (figura 6) ou bambu de jardim é uma espécie de bambu entouceirante; de médio porte, com colmos retos e lisos” (PEREIRA; BERALDO, 2007, p. 48), que pode crescer até 15m de altura e alcançar diâmetro de 3 a 5cm, dependendo do manejo realizado. A espessura da parede dos colmos é fina. Originário do sul da China, pode ser encontrado em quase todo o território nacional devido à fácil comercialização dele para paisagismo, artesanato e fabricação de utensílios no Brasil (TEH, 2016).

O bambu de jardim foi escolhido para a primeira etapa desta pesquisa porque apresenta os colmos finos, lenhosos e moldáveis quando verdes. Estas características são necessárias para o desenvolvimento do modelo em escala reduzida.

Figura 6 - *Bambusa D. Falcatum*



Fonte: elaboração do próprio autor.

Observa-se na descrição do Tabela 2, que este tipo de bambu possui as seguintes características: apresenta médio potencial para comercialização, pode ser amplamente aproveitado na indústria rural, tem médio potencial para regenerar ambientes, seu manejo é domesticado, adapta-se melhor em clima subtropical e em solos ricos e médios (INBAR, 1994; PEREIRA; BERALDO, 2007).

Para a segunda etapa da pesquisa, o bambu utilizado foi o *Bambusa tuldooides munro*, encontrado facilmente em vários locais do Brasil porque apresenta boa adaptação. Este tipo de bambu é utilizado, geralmente, para construção de cercas, de móveis e para artesanato. Também conhecido como Taquara, adapta-se aos climas tropicais úmidos e tropicais secos; e a solos ricos e médios.

Esta espécie apresenta boa resistência a baixas temperaturas, pode suportar até -9°C; porém, a seca causa um inchaço entre os nós se estiver no processo de

crescimento e desenvolvimento da touceira, o que diminui a altura dos colmos (NASCIMENTO, 2019).

Os colmos deste bambu podem chegar a 15m de altura, e o diâmetro médio atinge 6cm. Conforme a touceira envelhece, os colmos mais jovens apresentam coloração verde escuro uniforme; entre 2 e 3 anos, iniciam-se marcas de fungos e líquens, que ficam mais evidentes nos colmos mais velhos; por fim, aos 5 anos, os colmos apresentam uma tonalidade marrom (OSTAPIV; KNEBEL; OSTAPIV, 2015) (Figura 7).

Figura 7 - *Bambusa tuldoides munro*



Fonte: elaboração do próprio autor.

Spolidoro (2008) realizou uma avaliação dendrométrica e tecnológica de seis colmos de bambu da espécie *Bambusa tuldoides munro* e *Bambusa vulgaris*. Os resultados para os colmos do *Bambusa tuldoides munro* estão apresentados na Tabela 3 e 4.

Tabela 3: Informações dimensionais, volumes e pesos dos colmos da espécie *Bambusa tuldooides munro*

Características	
Diâmetro a altura do Peito (DAP)	5,36 cm
DAP Min.	3,34 cm
DAP Med.	4,92 cm
DAP Max.	6,37 cm
Massa específica média	0,6 g/cm ³
Massa específica básica	0,51 e 0,68 g/cm ³
Índice de contração volumétrica	20%
Comprimento útil	9,8 m
Comprimento total	13,2 m
Volume real	0,0074 m ³
Volume externo	0,018m ³
Peso do fuste seco	4,28 kg
Peso do fuste úmido	8,016 kg
Peso total do colmo	12,7kg
Peso Util do colmo	10,4 kg

Dap= Diâmetro na altura do peito; comprimento útil = comprimento do colmo até 3cm de diâmetro; comprimento total=comprimento total do colmo (fuste + ponta); Volume real= volume do colmo calculado pela diferença entre o diâmetro interno e externo dos internódios; Volume externo = volume do colmo baseado no diâmetro externo dos internódios; peso do fuste seco= peso seco do fuste a 0 % de umidade; peso do fuste úmido= peso medido logo após obtenção do colmo sem a ponta e ramos laterais no campo; peso total do colmo= peso do fuste, mais ponta, mas ramificações; Peso útil do colmo= peso do fuste, mais ramificações até o internódio com 3 cm de diâmetro.

Fonte: Adaptação de Spolidoro (2008).

Tabela 4 - Propriedades físicas da espécie *Bambusa tuldooides munro*

Características		Coefficiente de Variação
Teor de umidade	87,93%	21,68%
Massa específica básica	0,59 g/cm ³	11,10 g/cm ³
Massa específica	1,07 g/cm ³	2,70 g/cm ³
Contração volumétrica parcial	14,02%	31,17%
Contração volumétrica total	19,36%	19,48%

Adaptada de Spolidoro (2008).

Todavia, a utilização dos colmos cilíndricos, em sua forma natural recorre a dúvidas que podem influenciar suas características físicas- mecânicas. As mais comuns que aparecem ainda em campo, é a escolha dos melhores colmos e como determinar a idade da touceira.

Hidalgo-Lopés (2013) relata que cada espécie tem suas características físicas, mecânicas e morfológicas próprias, às quais se desenvolvem de acordo com as condições naturais do local onde se encontram (solo, clima...), estas condições influenciam o teor de lignificação, a quantidade de fibras e a umidade dos colmos tornando-as diferentes para cada localidades onde o bambu foi plantado.

Liese (1998) destaca ainda, que cada parte do colmo tem diferentes resistências mecânicas. Sendo que a base e a parte mediana são menos resistentes que as partes superiores. Portanto, ao utilizar os colmos naturais e praticamente em sua totalidade, de uma touceira que não foi monitorada, tem-se uma variabilidade grande de resistência e características físicas do material. Caso este, que vem de encontro com o desenvolvimento desta pesquisa, a qual tem pode demonstrar que mesmo sem grandes monitoramentos é possível construir com bambu.

Todavia, para utilização deste material na construção civil em larga escala deve-se proceder com plantio monitorado tal qual utilizado nas madeiras de reflorestamento.

4.1.1 Coleta, cura e tratamento

A maneira correta para se coletar o bambu é fazendo um corte em sua base o mais próximo possível do nó, o qual deve ser mantido sem qualquer parede externa que possa acumular água. Essas providências evitam contaminação por fungos e bactérias mantendo, dessa forma, a saúde da touceira (GHAVAMI, 1989).

Martinez e Gonzales (1992) destacam ainda que a coleta deve ser realizada no período de lua minguante, o qual oferece menos possibilidade de ataques por pragas. Ainda que tal vínculo não seja cientificamente provado, é citado por muitos autores. Segundo Padovan (2010), o bambu deve ser coletado nos meses mais secos do ano.

Em peças que não foram coletadas no período correto, observaram-se problemas como fissuras e rachaduras, além de deformações que podem ocorrer nos entrenós. As rachaduras inutilizam a utilização da peça (PADOVAN, 2010). Pode-se citar também a suscetibilidade ao ataque de insetos e fungos em peças que não foram coletadas e curadas da maneira correta.

O processo de cura serve para diminuir o ataque de fungos e insetos nos colmos, eliminando grande parte da seiva natural. Atualmente há seis processos de cura do bambu, destacados a seguir.

Cura na mata: para Cambonero *et al.* (1991) o melhor preservante são produtos à base de boro, tais como Octoborato Disódico Tetrahidratado, o qual tem boa difusão nas peças e baixa toxidez a seres humanos.

Padovan (2010), destaca que após o corte, o bambu deve ser mantido em sua posição original (vertical) durante 4 semanas com suas ramas e folhas até que parte da seiva seja eliminada naturalmente do colmo.

Uma variação deste tipo de cura é a cura por substituição de seiva por sais hidrossolúveis através da transpiração. Consiste em manter os colmos de até 2,5 m de comprimento com a base submersa em uma solução de sulfato de cobre (1%) + dicromato de sódio (1%) + ácido bórico (1%) [1kg de sal/ litro de solução] durante 7 dias, invertendo-os após este período e mantendo-os por mais 7 dias.). Deve-se aguardar a eliminação natural da seiva, mantendo-se o bambu na vertical tal qual se encontrava antes do corte (ONU, 1972). As bases devem ficar submersas 0,80 cm e, após o tratamento, os colmos devem ser mantidos durante 30 dias à sombra e protegidos de chuva (PADOVAN, 2010).

Cura por imersão em água: após o corte, o bambu é colocado em contato com água e, por meio de fermentação biológica, elimina-se o amido existente (PADOVAN, 2010).

Método de impregnação por imersão: os bambus devem ficar submersos em solução preservante por um período de cinco semanas; caso a peça seja projetada para ficar em contato direto com o solo, este período deve ser prolongado. Em bambus partidos, esse tempo pode ser reduzido de 33 a 50% para o alcance de 100% de impregnação das peças. Rompendo-se a película externa através da alta temperatura, também pode-se acelerar a penetração (CARDOSO JÚNIOR, 2000).

Uma variação desse tipo de cura é a imersão em solução de sais hidrossolúveis. Deve-se imergir completamente os colmos na solução preservativa formulada com um ou dois sais hidrossolúveis. Uma fórmula recomendada é de (kg de sal/litro de solução) é: sulfato de cobre (1%) + dicromato de sódio (1%) + ácido bórico (1%). Após o tratamento, os colmos devem ser mantidos de duas a quatro semanas em local protegido para que ocorra a difusão do produto (CARDOSO JÚNIOR, 2000; PADOVAN, 2010).

Banho quente: os bambus são imersos em tanques abertos com soluções preservantes a 90° C e, após tempo desejado, deve-se deixá-los resfriarem

naturalmente. Para tanto, deve-se aquecer o bambu e imediatamente mergulhá-lo na substância diluída (ONU, 1972).

Esse método foi registrado por Cardoso Júnior (2000) observando-se uma absorção de 70,4 Kg/m³ de Creosoto. Podem-se utilizar preservantes que não suportam altas temperaturas e tratamento hidrostático: a seiva é substituída por pressão hidrostática, que gerada pelo posicionamento do recipiente que deve ficar em um nível mais elevado do que o bambu. A duração do tratamento pode variar de cinco a seis dias conforme as dimensões do colmo (CARDOSO JÚNIOR, 2000).

Tratamento sob pressão (Boucherie): este tratamento baseou-se na pressão hidrostática. Deve-se observar que quanto mais velho for o colmo, ou seja, quanto menor a quantidade de seiva, mais difícil será para o líquido atravessar os colmos. Uma solução básica para impregnação do bambu é a solução à base de Boro (5%, 10% ou 15%). A seiva é substituída em cinco a 35 min. com uma impregnação de 0,83 a 1,24 MPa em bambus de 3 m de comprimento (HIDALGO- LÓPEZ, 1981).

Cura pela ação do fogo: submete-se o colmo recém cortado ao fogo a fim de eliminar a seiva por exsudação e alterar quimicamente o amido. Dessa forma, ele deixa de ser atraente aos insetos (MORÁN, 2003). Esse processo pode modificar a coloração dos colmos do bambu (Figura 8).



Fonte: Morán (2003)

Cura pela fumaça: a degradação do amido ocorre ao expor os colmos à ação da fumaça, tornando-os menos atraentes aos insetos, contudo, pode haver a ocorrência de rachaduras e tornar a superfície enrijecida.

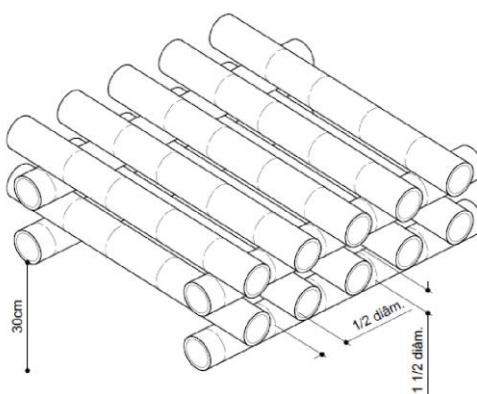
Após o processo de cura, deve-se realizar o processo de secagem, pois o bambu é um material natural que sofre variações dimensionais em função da

umidade do ambiente no qual se encontra. Os colmos de bambu, sem a devida secagem, podem retrair, comprometendo a estabilidade da estrutura (CARDOSO JÚNIOR, 2000).

Observa-se uma variabilidade nas dimensões dos colmos das várias espécies de bambu em função da sua variação de umidade. Por ser um material natural ortotrópico, há dificuldades relacionadas às composições dele com outros materiais de construção, principalmente o concreto (DANTAS et al., 2005). Isso posto, a secagem dos colmos é primordial para que não se observem deformações nas estruturas. A seguir, apresentam-se os tipos de secagem existentes de acordo com Nações Unidas (1972), Hidalgo Lopez, (1981), Ohkw (1989); Cardoso Júnior (2000) e Padovan (2010).

Secagem ao ar livre: o período desse tipo de secagem é de dois meses ou mais, podendo variar conforme a umidade relativa do local. Os bambus devem ser armazenados distantes do solo, com espaçamento de, pelo menos, metade do valor do diâmetro médio das peças e com cobertura (Figura 9). Deve-se evitar o contato com fungos e insetos (ONU, 1972; PADOVAN, 2010).

Figura 9 - Armazenamento de colmos de bambu



Fonte: Hidalgo-López (1981)

Secagem ao fogo: coloca-se os colmos de bambus sobre as brasas. Tais colmos já passaram pelo processo de secagem natural, a fim de se evitar a contração excessiva que pode provocar fissuras, fendilhamentos e deformações. Segundo Ohkw (1989), esse processo elimina lentamente a água e outros produtos

indesejáveis do bambu, além de deixar a superfície com cores mais brilhantes, sem perder a flexibilidade das fibras.

Secagem em estufas: as estufas utilizadas para esse processo são as mesmas empregadas para secagem de madeira. No entanto, podem ocasionar rachaduras nos colmos devido à velocidade de secagem. O processo demora de duas a três semanas e é mais indicado para secagens em larga escala (HIDALGO-LÓPEZ, 1981).

O processo de coleta, cura e secagem do bambu deve ser executado de maneira a reduzir, ao máximo, a umidade contida nele, pois quando utilizado imaturo, ao ser envolvido pelo concreto, o bambu começa a amadurecer e a sofrer alterações ao eliminar a água, fato que provoca a falta de aderência. Para a utilização em peças estruturais sujeitas à flexão, devem ser utilizados bambus maduros e secos durante três ou quatro semanas (CARDOSO JÚNIOR, 2000).

Todavia, para viabilizar o uso em conjunto com o concreto, além dos processos já citados, é necessário manter o bambu mergulhado em água durante dois ou três dias, reduzindo-se, assim, a possibilidade de ele absorver água do concreto (BERALDO, 1987).

Observa-se uma variabilidade em relação à unidade dimensional das diversas espécies de bambu em função da sua umidade. Por ser um material natural, encontram-se dificuldades relacionadas às composições dele com outros materiais de construção, principalmente o concreto.

Problemas como fissuras, rachaduras e deformações podem ocorrer nos entrenós das peças. Rachaduras podem, inclusive, inutilizar peças; e tal ocorrência observa-se naquelas que não foram coletadas no período correto. Segundo Martinez e Gonzales (1992), as peças devem ser coletadas no período de lua minguante e na época mais seca do ano.

Deve-se atentar às mudanças dimensionais dos colmos ocasionadas pela secagem, uma vez que a variação da umidade influi significativamente no tratamento com substâncias preservativas (CARDOSO JÚNIOR, 2000).

A baixa aderência do bambu é uma das desvantagens do uso desse material. A solução mais empregada para evitar tal problema é a impermeabilização que, associada ao processo adequado de corte e secagem, diminui a absorção de água pelo bambu, melhorando, assim, as características físicas dele.

Gregoire (1994) destaca algumas vantagens da secagem correta do bambu, como: a) redução de problemas de contrações e dilatações; b) diminuição do peso; abaixo de 15% a eliminação de organismos que causam podridão; c) o aumento da resistência mecânica, facilitando os trabalhos de acabamento.

Kurian e Kalam (1977) apresentaram algumas conclusões acerca da impermeabilização. Segundo estes estudiosos, a aplicação de três camadas de solução de 40% de resina solúvel em álcool, seguido de uma demão de zarcão (óxido de chumbo), resultou numa absorção de 1% de água em 24h. Em continuidade, relataram que, quando fora aplicado o dobro da espessura camada, resultou em 0,3% de absorção de água.

Fang e Mehda (1978) impermeabilizaram o bambu com enxofre e areia, e observaram que houve fissuração após três dias submerso na solução.

Ghavami e Hombeeck (1981) obtiveram bons resultados quando utilizaram cera e resina Epoxi para a impermeabilização do bambu; porém, estes materiais apresentam-se em alto custo.

A mistura de látex de seringueira e cal virgem foi utilizada com sucesso, na Ásia, pelos autores Chembi e Nimityongskul (1989), com características de material enrijecedor. A mistura foi utilizada para a impermeabilização de tanques de bambu no *Asian Institute of Technology*.

Beraldo (1987) impermeabilizou os bambus maduros com emulsão asfáltica, o que representou um ganho de resistência mecânica. Considerou, ainda, que a utilização de bambus imaturos pode causar fissuras no concreto antes mesmo de haver o processo de aderência.

Processo de Tratamento de aderência: Bourne (1978) tratou o bambu com enxofre aquecido a 112°C, envolvendo-o, logo após, com arame farpado e areia grossa, para ser aplicado dentro do concreto

Fang e Mehda (1978) corroboram que a variação da resistência de bambus tratados é três vezes maior do que as dos bambus sem tratamento.

Gilio e Melges (2011) trataram o bambu com Neutrol e areia. Os autores constataram que o Neutrol melhorou a impermeabilização do bambu e a areia possibilitou o acréscimo de tensão da aderência entre o concreto e o bambu.

4.2 CONCRETO COM ADIÇÃO DE RESÍDUO DE BORRACHA DE PNEUS

O material concreto corresponde a um compósito que possui um ligante e materiais de preenchimento. O ligante, também chamado de aglomerante, tem a função de reagir com a água de amassamento e propiciar o endurecimento do compósito final. Os materiais de preenchimento, também chamados de agregados, têm a função de dar compacidade à massa, preenchendo seus vazios.

Para a produção do concreto, mistura-se aglomerantes e agregados. A essa mistura dá-se o nome de dosagem. Esta apresenta a finalidade estabelecer as proporções corretas de aglomerantes e agregados a se adicionar na mistura, cujo objetivo é que, no estado fresco, o concreto tenha a consistência requerida e, no estado endurecido, atinja a resistência à compressão desejada (MEHTA; MONTEIRO, 1994).

Segundo Dafico (2008), o compósito que se forma, após o endurecimento do concreto, possui várias características. Dentre elas, destacam-se: o fato de o concreto possuir uma das melhores relações custo/resistência mecânica entre os materiais estruturais; e de também possuir, se convenientemente dosado, baixa permeabilidade e grande estabilidade frente aos diversos meios agressivos.

Estudos voltados à microestrutura do concreto mostraram a extrema complexidade e heterogeneidade dele; porém, o conhecimento disso possibilitou a melhoria do concreto convencional, buscando-se alternativas para o uso em diversos âmbitos.

A construção civil ficou no centro de muitas discussões por dois motivos, haja vista os objetivos atuais de se realizar o desenvolvimento sustentável (ODS): a) por fazer parte do contexto de uma das áreas mais poluidoras do meio ambiente, e b) proporcionar vasta gama de possibilidades de reaproveitamento de resíduos na composição.

Os avanços na tecnologia de dosagem do concreto fizeram com que não mais se utilizassem apenas o cimento como aglomerante e a brita e a areia como agregados graúdos e miúdos, respectivamente. Atualmente, existem diversos tipos de aglomerantes e agregados que podem ser incorporados à mistura, tais como:

- Aglomerantes: sílica ativa, metacaulim, cinza da casca do arroz, cinza volante, entre outras adições;

- Agregados: areia artificial, pó de pedra, argila expandida, entre outros;
- Adições minerais;
- Adições “verdes”: resíduos de PET, resíduos de borracha de pneu; resíduos da construção civil, fibras naturais e etc.

Como exemplo, pode-se citar a cinza volante, que tem potencial para ser utilizada em concretos de alto desempenho (CAD). Esses concretos apresentam diversas características que os diferenciam dos concretos comuns: atingem resistências mecânicas mais elevadas, chegando a superar os 100 MPa, além de apresentarem maior durabilidade; melhor desempenho frente a meios potencialmente agressivos.

Como primeira aplicação, ocorre quase que de imediato e seu emprego destina-se a obras ou elementos que necessitem de elevada resistência mecânica do concreto, e/ou seções mais reduzidas dos elementos estruturais, incluindo edifícios muito altos, pontes ou viadutos com extensão acentuada, monotrilhos, obras hidráulicas (TECHNE, 2016).

Outra tipologia de concreto é o concreto verde. Tal tipologia utiliza resíduos de descartes de indústrias, de agricultura, construção civil, tratamento de água, entre outros, em sua composição.

Filgueiras e Santos-Gonçalves (2007) substituíram o cimento Portland pelo resíduo cerâmico vermelho em 0 e 20%, com diferentes relações água/cimento. Houve uma redução do módulo de elasticidade e a presença do resíduo não reduziu significativamente a resistência à compressão, à tração por compressão diametral e à tração na flexão dos concretos aos 28 dias, independentemente da relação água/cimento.

Trentin (2014) realizou uma pesquisa sobre a confecção de tubos de concreto com adição de resíduos de borracha de pneu, provenientes de recauchutagem. O autor destaca que esse tipo de resíduo melhora a condução de esforços de tração através do concreto, reduzindo a fissuração.

Os pneus são utilizados em larga escala em todo o Mundo, pois faz parte dos materiais utilizados para transporte de milhões de pessoas. Estima-se que, no Brasil, “em 2005, foram produzidos cerca de 53 milhões de pneus, com volume de vendas internas de cerca de 38 milhões de unidades, incluídas as importações diretas, e exportações da ordem de 18 milhões de unidades” (GOLDENSTEIN, 2007, p. 109).

O processo de recauchutagem, que também produz resíduos de pneus pelo processo de raspagem, disponibiliza os resíduos com características granulométricas que se adequam à aplicação nos concretos e microconcretos. Quando não reutilizados, sua disposição final apresenta importantes problemas ambientais. Além de ser descartados de maneira inadequada, sua degradação é lenta, os resíduos são combustíveis, podem abrigar animais peçonhentos e ocupam um grande espaço nos aterros e locais de descartes (KAMIMURA, 2002).

Quando se intensifica o uso de pneus reformados, há grande redução no consumo do petróleo utilizado na sua fabricação e, ainda, no consumo de água, estimado em 79L para a produção de um novo pneu e 29L para a reforma deste (PENA, 2011).

Tais resíduos, sendo aproveitados em concretos, ficam inertes à degradação da natureza porque se agregam a materiais de uso prolongado. Mais além, permitem a diminuição da utilização de materiais tradicionais em sua produção.

Eldin e Senouci, citados por Siddique (2004), relataram que corpos de prova em escala reduzida produzidos com concreto e agregados granulados de borracha apresentaram menor resistência à compressão e à tração do que o concreto apenas com cimento Portland. Todavia, a utilização desse resíduo aumenta a capacidade de deformação do concreto, sem que este fissure, além de se adequar às exigências ecológicas (SIDDIQUE, 2004; TRENTIN, 2014).

Com o surgimento desses materiais alternativos, foram reestabelecidas as dosagens e, conseqüentemente, surgiram novos tipos de concreto. Dentre eles, podem ser citados: concreto de elevado desempenho, concreto auto adensável, CPR (concreto com pós reativos), concreto drenante, entre outros (MENEZES; NEVES; FERREIRA, 2002).

Dentro dessa nova gama de concretos existente, foi desenvolvido o concreto auto adensável (CAA), definido pela NBR 15823-1 (ABNT, 2017) como: “o concreto capaz de fluir e auto adensar através de seu peso próprio, preenchendo fôrmas e passando por embutidos (armaduras, dutos e insertos), mantendo sua homogeneidade nas etapas de mistura, lançamento e acabamento. ”

Para Carneiro e Irrigaray (2018, p. 1):

O CAA caracteriza-se por ser um compósito com alta fluidez, capaz de ocupar todos os espaços de uma fôrma onde é aplicado, seja laje, pilar,

vigas, etc., compactando-se pela ação única de seu peso próprio e sem necessitar de qualquer tipo de vibração interna ou externa. Deve ainda ser capaz de sustentar os grãos do agregado graúdo, mantendo-os homoganeamente distribuídos no interior da mistura, quando o concreto flui através de obstáculos, como as barras de armaduras e também quando o concreto se encontra em repouso.

O CAA também é indicado para reparos de estruturas, uma vez que sua capacidade de movimentação e penetração no interior das fôrmas, sua facilidade de preenchimento dos espaços vazios entre as armaduras e sua fluidez são ideais para o tratamento de fissuras, nas quais é necessário injetar concreto em peças já concretadas anteriormente (TUTIKIAN; DAL MOLIN, 2008).

Outra importante aplicação do CAA ocorre nas peças de concreto que possuem elevada taxa de armadura, como também em peças de concreto de pequenas dimensões e de dificuldade de acesso. Por ser fluido, não é necessária a utilização de vibrador para realizar o adensamento do concreto, o que acarreta em diminuição de mão de obra e de tempo de concretagem de peças (MELO, 2005).

A partir da década de 1990, foi desenvolvido outro tipo de concreto com alta resistência como premissa básica: CPR – concreto de pós-reativos.

Serafim e Licetti (2012) definiram o CPR como um concreto que possui em sua composição o cimento Portland e sílica ativa como aglomerantes, areia e pó de quartzo como agregados, aditivos superplastificantes e água em quantidade mínima necessária para hidratar os componentes. O CPR é um concreto formado por partículas com diâmetro máximo de 2mm, ou seja, pode ser considerado um microconcreto.

Esse tipo de material oferece grande resistência à compressão e também à tração, à tração na flexão, quando adicionadas fibras em sua composição. Porém necessita de grande precisão na dosagem e na análise de composição granulométrica dos pós. As características predominantes desses pós são: finura, responsável por preenchimento dos espaços vazios da pasta e a pozalanicidade, responsável pelas reações químicas com o hidróxido de cálcio presente no concreto.

Um dos materiais pulverulentos mais utilizados na confecção do microconcreto é a sílica ativa, ou *sílica fume* (fumaça de sílica). Trata-se de um subproduto industrial, produzido em indústrias que utilizam fornos elétricos a arco voltaico para a produção de silício metálico e ligas de ferro silício, basicamente composta de óxido de silício (SiO_2). A sílica traz benefícios ao concreto, tais como:

preenchimento da curva granulométrica, melhoria na coesão e compacidade, aumento de resistência e diminuição de vazios da pasta (SELLEVOLD; NILSEN,1987).

Parte desta pesquisa constituiu em confeccionar uma dosagem, utilizando o CPR com características autoadensáveis. O CPR utilizado continha, em seu traço, sílica ativa e resíduos de borracha de pneus. Dessa maneira, poderá ser utilizado tanto em escala real, com a composição feita por agregados em escala normalmente utilizada na construção civil, como também pode ser composto por materiais de pequeno diâmetro, a fim de gerar um microconcreto. Além dessas características, o composto pode ser classificado como concreto verde por conter, em sua composição, dois tipos de resíduos: a sílica ativa e os resíduos de borracha de pneus.

A empresa *Tecnobens Construções e Incorporações LTDA* desenvolveu e cedeu o traço que utiliza em suas obras. Dr. Rodrigo Piernas Andorfato é o autor deste traço, o qual foi utilizado nesta pesquisa como concreto referência utilizado na concretagem das sapatas da fundação da estrutura em escala real.

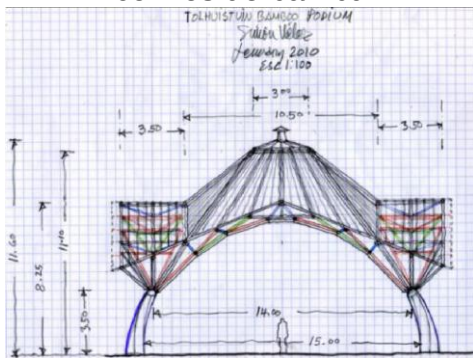
A utilização de um concreto com materiais finos e autoadensável remete-se ao fato de que foi confeccionada uma fundação composta por cachimbo metálico. Isto apresentou dificuldade ao encaixe dos colmos por não se ajustar bem ao tubo metálico. Portanto, foi necessária a confecção do microconcreto para facilitar o lançamento e adensamento dentro de um espaço tão pequeno (detalhado no capítulo 6.3.2). Já o concreto convencional foi utilizado na concretagem dos blocos de fundação da estrutura em escala real.

5 OBRAS CORRELATAS

Os projetos arquitetônicos foram elaborados observando-se as características das antigas construções em bambu como conceito de forma. As obras de Simón Veléz (Figuras 10 e 11) e as das construções vernaculares da cidade de Valência, na Espanha, de autoria desconhecida (figuras 12 e 13), foram tomadas como inspiração para as formas do projeto.

Seguindo esses preceitos, elaborou-se o projeto de uma biocobertura com feixes de bambu e de microconcreto com resíduo de borracha de pneus, no qual buscou-se adequá-lo às limitantes de cada material, à forma arquitetônica da edificação e ao uso do local.

Figura 10 - Armazenamento de colmos de bambu



Fonte: Vélez (2015).

Figura 11 - Catedral Alternativa Nuestra Señora de La Pobreza, Colômbia



Fonte: Vélez (2015)

Figura 12 - Detalhe da cobertura com amarrações de bambu



Fonte: Akasaki (2016)

Figura 13- Cobertura vernacular em bambu e argamassa cimentícia



Fonte: Akasaki (2016)

As formas devem ser pensadas de maneira viável, levando-se em consideração as demandas socioculturais da região. Para Tsutsumoto (2016), as coberturas curvas em bambu geram “pouco desperdício, baixo nível de ruído, pequeno consumo de energia e pequeno impacto ambiental”. Estas deverão servir como apoio à resolução das limitantes, sem abrir mão do conforto do usuário.

Conhecer a cadeia produtiva do bambu é essencial à aplicação na elaboração dos projetos arquitetônicos. Portanto, “[...] analisando os processos de plantação, colheita, cura, tratamento e pós-tratamento [...]” (GHAVAMI; MARINHO, 2005, p. 108), reúnem-se informações que subsidiam o arquiteto a executar o projeto de maneira mais eficiente quanto às formas, resistência e durabilidade do material. Além disso, observa-se também a necessidade de aproveitar a curvatura natural dos colmos do bambu.

Para melhor aproveitamento da curvatura natural do bambu, os projetos arquitetônicos exigem concepção de formas arquitetônicas não convencionais, aproveitando-se o máximo possível de cada peça.

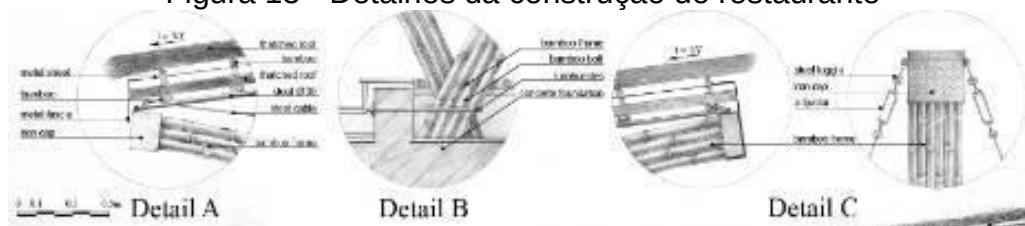
O escritório de arquitetura Vo Trong Nghia Architects projetou um restaurante no Vietnã: Bamboo Wing (Figura 14), que foi concebido estruturalmente somente por bambu, sem utilização pilar. Os detalhes arquitetônicos e o respeito ao material fez com que os arquitetos conseguissem vencer um vão de 12m, sem utilizar nenhum material convencional (ARCHDAILY, 2012).



Fonte: Archdaily (2012).

Os arquitetos projetaram os pilares que saem das bases de sustentação da mão francesa junto da fundação, como demonstrado no detalhe B (Figura 15). Portanto, estes são os elementos estruturais que compõem a fundação.

Figura 15 - Detalhes da construção do restaurante



Fonte: Archdaily (2012).

Atualmente, o arquiteto colombiano, Simón Vélez, vem se destacando com suas construções com estruturas em bambu. Suas obras utilizam o bambu como material essencial na construção. A espécie de bambu usada em suas construções é a *Guadua agustifolia*, que cresce em grande quantidade na região andina da Colômbia (POSADA, 2014).

Seu estilo não convencional e longe das estruturas modernas segue a influência das construções vernaculares do avô dele e inspira-se na parte da estrutura de bambu do biplano 14-bis, projetado por Albert Santos Dumont em 1906 (POSADA, 2014).

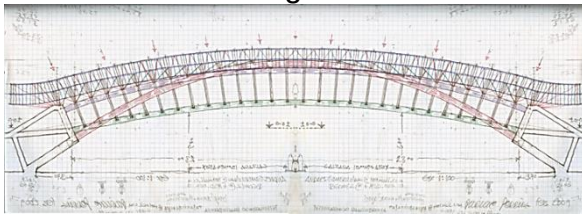
Para Vélez, o bambu é um material arquitetonicamente mais “inteligente” do que a madeira, pois não concentra sua estrutura no próprio eixo, já que é um elemento oco. Segundo o arquiteto, o bambu não apresenta vantagem apenas sobre a madeira, mas também sobre o aço na relação peso/resistência (FERES, 2016).

Em parceria com o também arquiteto Marcelo Villegas, desenvolveram novos métodos, técnicas e sistemas de apoio estrutural, aperfeiçoando o uso do bambu e transformando o material vegetal num produto competitivo para o mercado da construção civil (Figura 16).

Vélez pesquisou a arquitetura vernacular da Indonésia, as com enormes telhados, para aplicá-la em seus projetos. Como no país dele chove muito, inicia o projeto pelas coberturas, depois pensa nos demais componentes.

Este arquiteto pouco utiliza o concreto, a fim de manter os projetos o mais ecológico possível (Figura 17). Esse fato vem ao encontro da proposta deste trabalho, que objetiva fundamentar uma técnica construtiva utilizando o bambu e o concreto verde, reutilizando resíduos de construção ou industrial em sua composição.

Figura 16 – Croqui Ponte Jenny Garzón construída na cidade de Santa Fé de Bogotá



Fonte: Vélez (2015)

Figura 17 – Nomadic Museum Zócalo na Cidade do México



Fonte: Vélez (2015)

No Brasil, um exemplo de construção com Bambu é o Memorial da Cultura Indígena (Figura 18), localizado em Campo Grande (MS), projetado pelo arquiteto David Rees Dias, que declara o seguinte:

[...] passei a pesquisar as habitações indígenas brasileiras e fiquei surpreso com as consideráveis dimensões que alcançavam algumas dessas moradias. Sem se utilizar de pregos ou parafusos os índios são capazes de levantar grandes e espaçosas estruturas cobertas de palha, (...) Estas estruturas são em geral arredondadas e sugerem uma analogia com os morros e as serras da paisagem, o que muito me chamou a atenção.
DIAS, D. R. (1996) citado por CARDOSO JR, 2000.

O memorial é formado por duas ocas que totalizam 365m². Uma delas tem seu círculo seccionado onde foi alojado um jardim (Figura 19). A cúpula maior apresenta um raio de 8m até os apoios, 11m até a ponta dos beirais e altura de 8,40m.

Figura 18 - Memorial da Cultura Indígena



Fonte: Campo Grande Net (2020).

Figura 19- Oca seccionada para abrigar um jardim



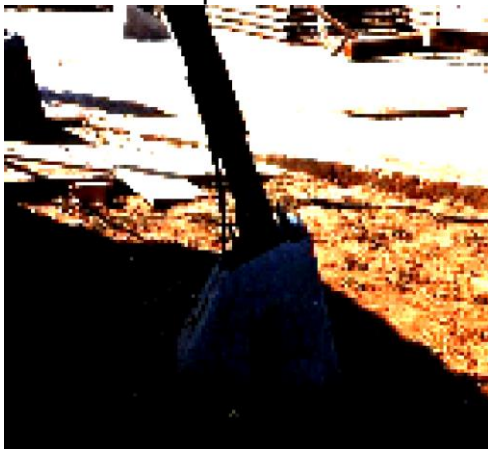
Fonte: Campo Grande Net (2020).

A oca menor segue o mesmo padrão formal; porém, tem a parte lateral aberta, com raio de 5,25m e altura de 5,25; no centro, as coberturas ligam um

pavilhão ao outro por uma passarela. Toda a estrutura é feita de bambu coberto de palhas, e serve para abrigar obras de arte e oficinas de artesanatos de origem indígena.

A fundação foi feita com sapatas, em um ângulo de 35° (Figura 20), nas quais foram apoiados os colmos de bambu por uma ligação metálica em forma de cachimbo (Figura 21) (CARDOSO JR, 2000). Os bambus foram presos atrás de parafusos de metro à ligação.

Figura 20 - sapata em concreto aparente



Fonte: Cardoso Júnior (2000).

Figura 21 - luva metálica em forma de cachimbo



Fonte: Cardoso Júnior (2000).

Cardoso Júnior (2000) ainda explica que a curvatura do bambu, porque não houve tempo hábil para curvá-lo naturalmente, foi executada com uma ligação metálica em forma de luva (Figura 22) para alcançar a curvatura em formato de oca. E as extremidades do bambu foram ligada por meio de um anel (Figura 23), no qual os colmos eram encaixados e parafusados, e a sustentação das vigas foi feita com um apoio, estilo “Flauta” de bambu (Figura 24), parafusado em pilares concretados.

As paredes foram feitas de alvenaria convencional com tijolos de blocos cerâmicos de 8 (oito) furos, e as aberturas de janelas foram inspiradas nas aberturas encontradas nas ocas dos índios (Figura 25).

Figura 22- luva de união e inclinação da calota



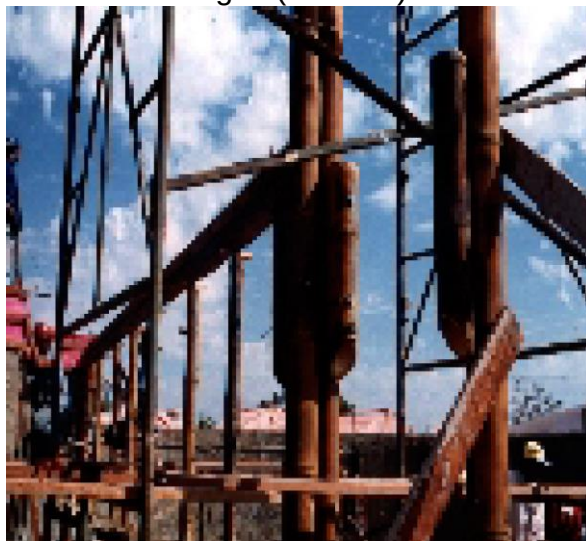
Fonte: Cardoso Júnior (2000).

Figura 23- anel metálico



Fonte: Cardoso Júnior (2000).

Figura 24- “flautas” de sustentação das vigas (console)



Fonte: Cardoso Júnior (2000).

Figura 25 - desenhos feitos com claraboias de bambu



Fonte: Cardoso Júnior (2000).

Após a análise desses projetos referidos, elaborou-se o projeto desta pesquisa, considerando-se as características técnicas encontradas na bibliografia.

6 PROGRAMA EXPERIMENTAL

O desenvolvimento do projeto recebeu o apoio da estrutura do Núcleo de Ensino e Pesquisa da Alvenaria Estrutural (NEPAE) da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – UNESP, e com a estrutura física dos laboratórios da Universidade Paulista (UNIP) para a caracterização dos materiais e a elaboração do protótipo em escala reduzida (1:10), assim como os ensaios realizados.

O primeiro passo foi a elaboração do projeto arquitetônico da estrutura e seus detalhamentos.

Após, houve a escolha do bambu no qual o critério utilizado foi a adequação à escala, ou seja, as dimensões dos mesmos que são reduzidas. O bambu escolhido para a construção da maquete foi o *Bambusa d. falcatum*, conhecido como bambu de jardim, o qual tem em média 0,05 cm de espessura de colmo. Após, o mesmo foi caracterizado via ensaios mecânicos de resistência à tração do colmo e do feixe.

A maquete física foi construída e durante a execução houve a análise das dificuldades para tal, o que gerou modificações no projeto para a confecção da estrutura real.

Depois, foi realizada a colheita do bambu *Tuldoides munro* para confecção da estrutura em escala real, o qual passou pelo processo de: tratamento, cura e a secagem dos colmos.

Ensaio mecânicos de resistência à compressão, módulo de elasticidade, massa específica, do colmo foram realizados no *Bambusa tuldoides munro*

Também foram realizados estudos de dosagens e das propriedades do concreto com resíduo de borracha de pneu, seguidos de ensaio de resistência à compressão axial, diametral e módulo de elasticidade.

Para análise da sinergia dos materiais e da estrutura por completo foi realizado ensaio com cargas aplicadas a ela utilizando o teodolito e estação total da marca TopCon GTS 212 com precisão linear de 1 mm, apoiada em tripé de alumínio com altura ajustável, bastão com bolha nivelante e prisma refletor com fios estadiométricos para medição de deslocamento. Para Tratamento dos dados foi utilizado os Software: Topograph 98 SE e Autocad Civil 3D 2018.

6.1 PROJETO DE UMA ESTRUTURA DE BAMBU

O projeto elaborado para este estudo utiliza formas da natureza, como o arco e as folhas, cuja inspiração decorreu dos projetos de Vélez e na arquitetura vernacular encontrada na Espanha.

A estrutura foi pensada tridimensionalmente para ser capaz de congrega as características básicas de um modelo que possa traduzir uma estrutura leve e ao mesmo tempo combine materiais tradicionais e inovadores. Além disso, considera as curvaturas naturais da gramínea, a fim de utilizar suas características intrínsecas.

O espaço foi pensado funcionalmente como um local para descanso e apreciação, porém aberto, com o intuito de abrigar atividades diversas no mesmo ambiente. A intenção de projetar algo acessível a qualquer atividade visa demonstrar o potencial do bambu e do concreto “verde” como técnicas construtivas usuais, as quais podem ser inseridas na atividade prática da construção.

A estrutura apresenta-se num formato não muito usual, porém funcional; a cobertura se baseia nas folhas e se apoia sobre a estrutura de pilar arqueado; a fundação será produzida com concreto verde confeccionado com resíduo de borracha de pneus; e a cobertura será feita com vegetação do tipo trepadeira.

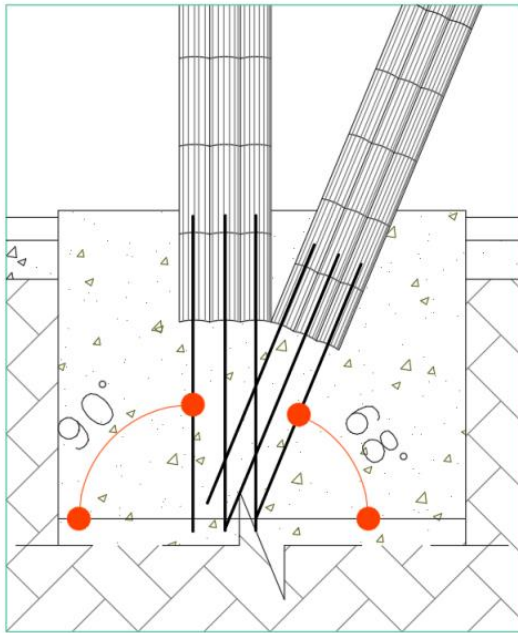
A estrutura foi inicialmente pensada para ser confeccionada em escala reduzida distorcida e, após, em escala real. Para a escala reduzida distorcida utilizou-se o bambu da espécie *Bambusa d. falcatum*, e para a confecção da estrutura em escala real utilizou-se o *Bambusa tuldoides munro*.

A fundação foi concebida a partir de blocos de fundação rasa e com uma dimensão de 60cm x 60cm de largura e altura de 40cm, a qual, em escala reduzida, foi projetada inserindo-se os colmos de bambu diretamente no concreto, de acordo com o projeto do escritório de arquitetura Vo Trong Nghia Architects, demonstrado no capítulo 5. Porém, o uso demonstrou-se ineficiente para a escala real, o que exigiu modificações a fim de proteger os colmos de umidade (Figura 26).

Para a escala real, o tipo de fundação foi modificado para diminuir o contato dos colmos com o solo; para isso, os blocos de concreto receberam *inserts* metálicos de apoio, os quais serviram para acoplamento de um suporte em forma de cachimbo. Estes deram apoio aos feixes de bambu que compuseram os pilares e mão francesa, tais quais os apoios utilizados pelo arquiteto David Rees Dias, também detalhado no capítulo 5. Estes blocos foram confeccionados utilizando-se

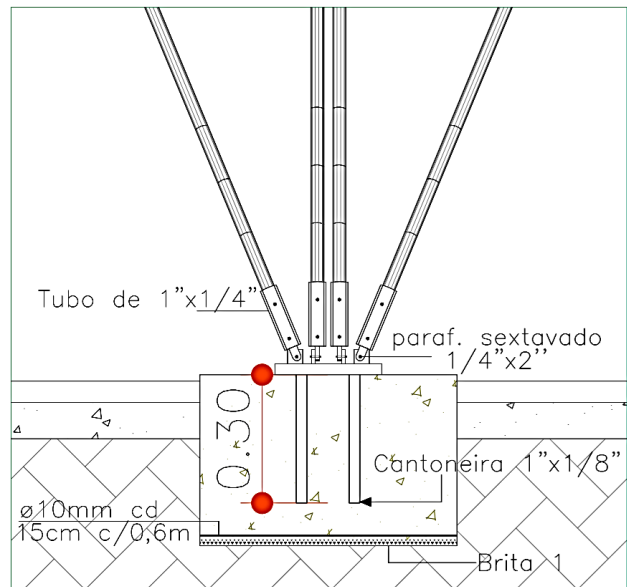
concreto com resíduo de borracha de pneus, e os feixes foram dispostos com angulações diferentes (Figura 26), a fim de obter o posicionamento adequado dos pilares (Figura 27).

Figura 26- Detalhe da fundação na maquete



Fonte: elaboração do próprio autor.

Figura 27- Detalhe da fundação na estrutura real

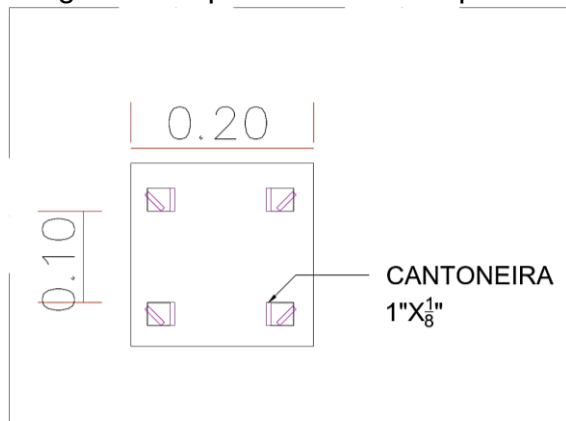


Fonte: elaboração do próprio autor.

Os feixes que compuseram os pilares centrais saíram a aproximadamente 90°, já os que compuseram a mão francesa saíram a, aproximadamente 70° em relação ao solo. Também se observa, no detalhe, que os feixes foram unidos por uma ligação do tipo cachimbo, a qual está fixada no *insert* metálico concretado à sapata de concreto.

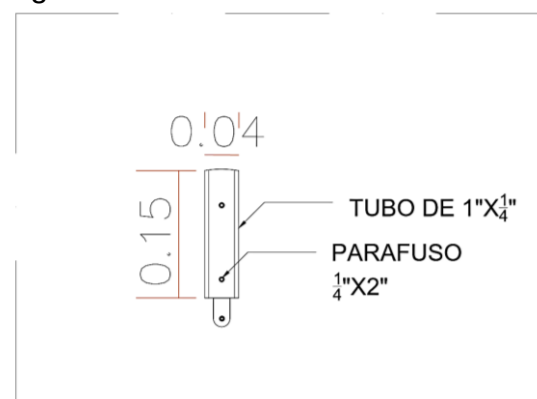
Estes cachimbos foram feitos com furos nos encaixes, para receber os parafusos de fixação que atravessaram os colmos. Esta fixação foi feita com barras roscadas, porcas e arruelas. O cachimbo recebeu um encaixe no apoio, também aparafusado, que serviu para fixá-lo com parafusos nas bases. Esta solução foi escolhida por permitir a fácil movimentação dos colmos até a montagem final (Figuras 28 e 29)

Figura 28- Apoio metálico em planta



Fonte: elaboração do próprio autor.

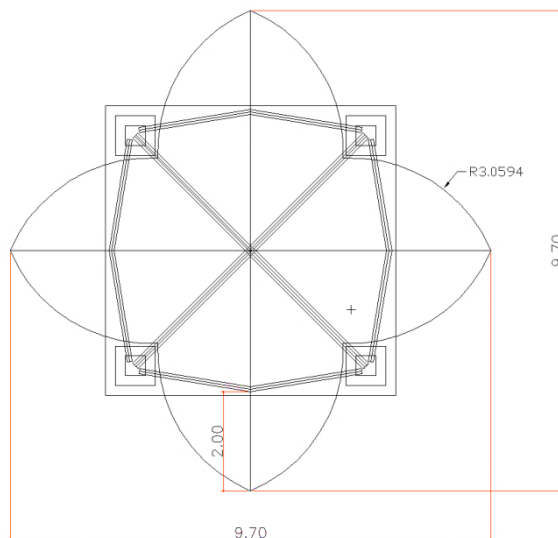
Figura 29- Vista lateral do camchimbo



Fonte: elaboração do próprio autor.

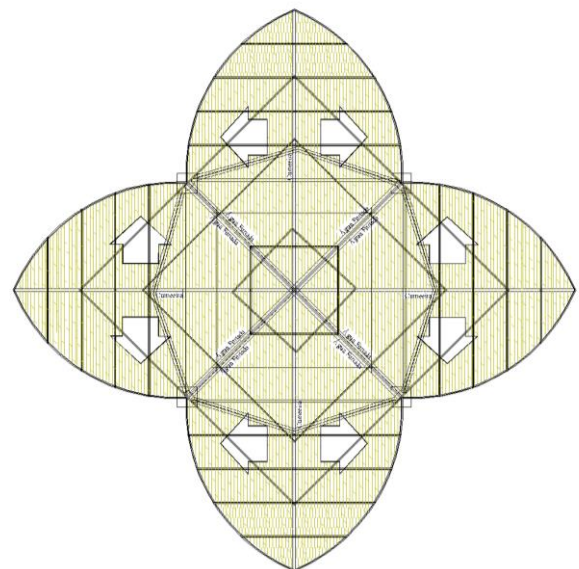
Os pilares foram projetados em formato de arcos e respeitaram a curvatura natural do bambu (Figuras 30 e 31). Esta forma buscou inspiração na arquitetura vernacular, a qual define a forma de arco como um dos arranjos estruturais mais simples e seguros já utilizados.

Figura 30 - Disposição de vigas e pilares



Fonte: elaboração do próprio autor.

Figura 31 - Cobertura



Fonte: elaboração do próprio autor.

A característica morfológica foi adequada ao uso de bambus considerados finos, com diâmetro aproximado de 0,31cm, do tipo *Bambusa d. falcatum* (bambu de jardim), muito utilizados na produção de artesanatos, em paisagismo e no controle da erosão (MANHÃES, 2008), para a confecção do modelo em escala reduzida.

Para construção do modelo em escala real, utilizou-se o bambu do tipo Taquara, *Bambusa tuldooides munro*, medindo 6cm de diâmetro médio, comumente em construções leves, tutoramento de cultura e artesanatos (NASCIMENTO, 2019).

Os pilares e mãos francesas foram confeccionados com feixes de bambu em quantidades diferentes. Para a execução da maquete utilizou-se 10 colmos para pilares e 8 para a mão francesa, já para a execução da estrutura em tamanho real foram utilizados 4 e 2 respectivamente.

Os pilares foram organizados de forma inclinada, um se apoiou no outro, produzindo capacidade de suporte adicional devido ao atrito lateral; provendo, assim, maior capacidade de carga na estrutura. O que, em termos de cálculos, foi desconsiderado, pois Seixas, Ripper e Ghavami (2015) consideram as forças de cada colmo àqueles que atuam nos feixes, embora se saiba que o atrito lateral exista.

Sobre a estrutura de pilares foi apoiada a estrutura da cobertura (Figura 32 e 33). Esta será construída com bambus da mesma espécie, e os colmos foram arqueados através de fôrmas para dar o efeito de pétala. Já para a confecção dos “caibros” utilizar-se-á o bambu amarrado curvado.

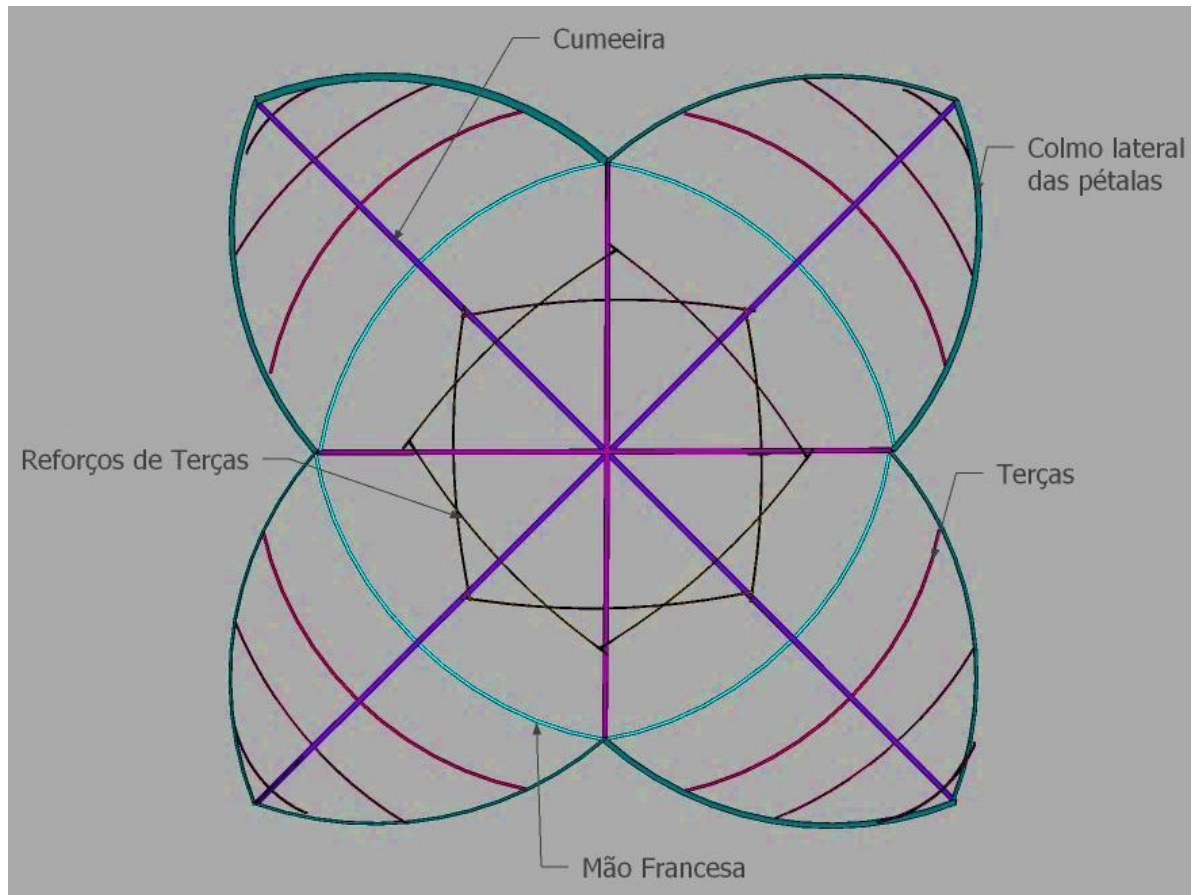
Para proteger os bambus das intempéries, optou-se pela inclinação elevada da cobertura e pela utilização de vegetação para o fechamento.

Figura 32 - Vista da estrutura



Fonte: elaboração do próprio autor.

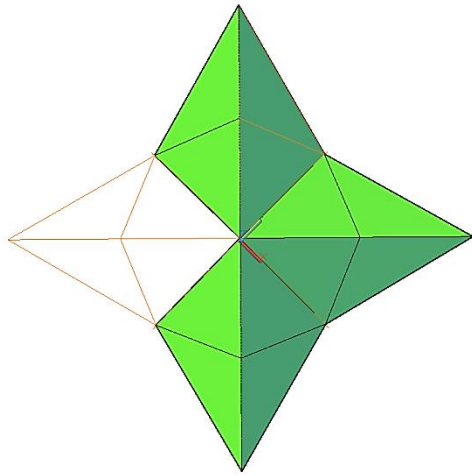
Figura 33- Vista esquemática da cobertura



Fonte: elaboração do próprio autor.

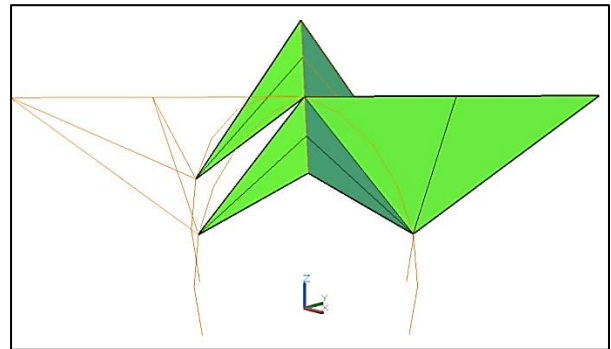
Além do projeto arquitetônico, a simulação da estrutura foi realizada em parceria com o departamento NEPAE, no SAP 2000. Para isso a estrutura foi simplificada, ou seja, foi considerado apenas um arco de cada lado e as estruturas “mãos francesas” a fim de suportar a cobertura (Figuras 34 e 35) (BIANCHI *et al.*, 2019).

Figura 34 - Planta da cobertura lançada no programa SAP 2000



Fonte: Bianchi *et al.* (2019).

Figura 35 – Perspectiva tridimensional lançada no SAP 2000



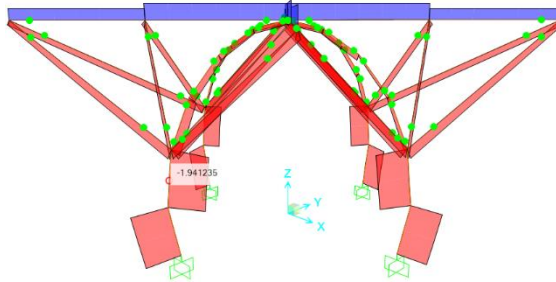
Fonte: Bianchi *et al.* (2019)

Para o lançamento no SAP 2000 foram utilizadas as características físicas do bambu encontradas nas referências bibliográficas de GÍLIO *et al* (2012) e MOTA *et al* (2017), uma vez que o bambu destinado à confecção da estrutura real ainda não foi caracterizado.

Nas respostas estruturais, pode-se perceber que a estrutura não chegou ao estado limite último (ELU) quando simulado com carga do peso próprio (25Kg) , uma vez que as tensões de tração e compressão são inferiores àquelas resistências do bambu encontradas na bibliografia. Este fato deve-se à baixa massa específica do bambu e ao projeto, no qual o único carregamento existente é o da cobertura, em partes confeccionada pelo próprio bambu, e a proteção é feita por vegetação leve.

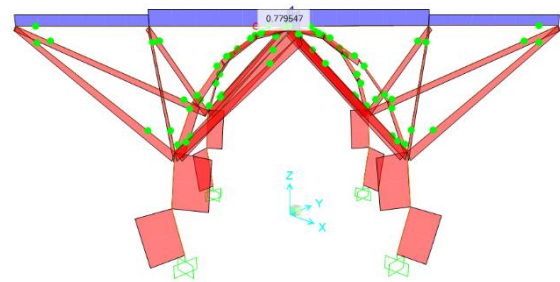
Quanto ao padrão de esforços mostrados nas Figuras 36 e 37 observa-se que, exceto a cumeeira da estrutura que está tracionada, o restante da estrutura está comprimida. Este fato se sustenta pelo formato da estrutura que é formada por arcos e “mãos francesas”. Estas, por sua natureza, são estruturas que trabalham em compressão.

Figura 36 - Força de compressão máxima (-1,94 kN)



Fonte: Bianchi et al. (2019)

Figura 37 - Força de tração máxima (0,77 kN)



Fonte: Bianchi et al. (2019)

Os esforços de tração que atuam na cumeeira são provocados pelo deslocamento das bordas da estrutura ser maior do que aquele encontrado no centro da estrutura, funcionando de maneira similar a dois balanços engastados numa barra rígida central.

Logo, pode-se concluir que a estrutura é estável, leve e resistente, o que permite corroborar com revisão bibliográfica acerca do bambu, material este que apresenta elevada resistência mecânica proporcionalmente a sua massa específica.

Para a confecção da estrutura em escala real, utilizou-se o mesmo projeto; porém, a espécie de bambu utilizada foi a *Bambusa tuldooides munro*, colhida na fazenda da UNESP.

6.2 MATERIAIS E MÉTODOS

6.2.1 Bambu para confecção do modelo em escala reduzida e distorcida

Foram utilizados os seguintes materiais e equipamentos: *Bambusa d. falcatum*; serra de corte manual; fita adesiva; estufa para secagem; molde em silicone; trena, linha de algodão, turquesa; abraçadeira de nylon; adesivo a base de epox (Araldite e Durepox); máquina universal de ensaios EMIC DL 30.000n; régua graduada; paquímetro; microconcreto com resíduo de borracha de pneu (capítulo 6.3.2); corpo de prova cilíndrico (5 x10 cm); areia grossa úmida; enxofre; máquina universal de ensaios para avaliar os valores de resistência à compressão; balança.

A espécie de bambu escolhida foi a *Bambusa d. falcatum*, conhecida popularmente como *Bambu de Jardim*. A escolha da espécie do bambu baseou-se na limitante da escala do protótipo em 1:10, o qual deveria ser montado com características próximas da realidade.

O bambu foi colhido no mês de janeiro de 2019, cortado na base com um alicate de jardim. Após o corte, permaneceu na touceira por cerca de 5 dias e, somente então foi desfolhado e mantido em tabuleiro na sombra, para a secagem, durante 3 meses (Figuras 38 e 39).

Figura 38 - Colmos após o corte



Fonte: elaboração do próprio autor.

Figura 39 - Colmos após período de secagem natural



Fonte: elaboração do próprio autor.

As hastes precisariam garantir uma curvatura mais intensa, pois seriam utilizadas na cobertura em formato de pétalas, para isso foram colocadas ainda verdes em uma fôrma com um vidro na parte superior, simulando uma estufa, onde permaneceram 20 dias, com o objetivo de se curvarem naturalmente (Figuras 40 e 41).

Figura 40 - Estufa para secagem arqueada



Fonte: elaboração do próprio autor.

Figura 41 - Fôrma para secagem arqueada da pétala



Fonte: elaboração do próprio autor

Após esse processo, efetuou-se o dimensionamento das hastes, a fim de que não houvesse sobras muito generosas durante a execução do modelo em escala reduzida. As hastes foram envolvidas com linha comum para que pudessem continuar secando já em formato de feixe (Figuras 42 e 43).

Figura 42- Medição individual dos colmos



Fonte: elaboração do próprio autor.

Figura 43 - Medição dos feixes



Fonte: elaboração do próprio autor.

Depois de um período de mais 4 meses, foram feitos testes que caracterizariam as condições físicas reais dos feixes de bambu. Para isso, escolheu-

se um feixe aleatoriamente, e desfizeram-se as amarras para que os colmos pudessem ser medidos individualmente.

As medições foram efetuadas quanto a comprimento e diâmetro das extremidades. Descartaram-se os colmos com valores extremos, tanto para as mais finas quanto para as mais grossas, e a média foi calculada (Tabela 5).

Tabela 5 – Medidas dos diâmetros das extremidades dos colmos (m)

Hastes	Comprimento	Diâmetro (parte mais grossa)	Diâmetro (parte mais fina)
1	0,47	0,35	0,20
2	0,46	0,35	0,20
3	0,51	0,30	0,10
4	0,50	0,30	0,20
5	0,51	0,25	0,15
6	0,52	0,35	0,20
7	0,47	0,35	0,10
8	0,50	0,35	0,10 (descartado)
9	0,47	0,20 (descartado)	0,20
10	0,50	0,30	0,20
Média	0,49	0,31	0,165

Fonte: elaboração do próprio autor.

Na sequência, foram feitos ensaios de tração em dois feixes para aferir o valor de resistência à tração paralela às fibras. Eles foram organizados com extremidades e diâmetros intercalados e amarrados com abraçadeira de Nylon (enforca gato) de 5 em 5cm aproximadamente. As pontas dos feixes foram envolvidas com dois tipos de resina epóxi, uma à base de éster – Araldite -, outra a base de poliamida e cargas minerais – Durepox -, para protegê-los.

O Durepox é um material que suporta temperaturas entre -50°C a 150°C, endurece em duas horas e é um produto bi componente, à base de resina epóxi, poliamida e cargas minerais (Tabela 6). Está disponível, no mercado, em cartelas de 50g, 100g e 250g. (HENKEL, 2013).

Tabela 6 - Composição e informações sobre os ingredientes da resina epóxi Durepox

Natureza química: Epox/ Amidas		
Nome químico ou genérico	Faixa de concentração (%)	CAS N.º
Resina Epoxi (1*)	20 a 30%	-
Resina Poliamida (2*)	20 a 30%	-
2,4,6 - Trimetilaminometifenol	1 a 5%	90722
(1*) Formulação da resina epóxi: Barra Branca (2*) Formulação do endurecedor: Barra Cinza		

Fonte: Henkel (2013)

Para a confecção da proteção foram misturados os dois componentes em partes iguais e aplicados na extremidade do feixe com medidas de, aproximadamente, 7cm de comprimento por 2cm de diâmetro (Figuras 44 e 45). O tempo de espera para secagem foi de 12h.

Esta proteção proporcionou melhoria no contato da garra da máquina universal de ensaios EMIC DL30.000N com feixe a ser ensaiado. Utilizou-se uma carga de carregamento de 1,6kg/s para fazer o ensaio. Pode-se observar nas Figuras 46 e 47 que a resina foi esmagada pela prensa hidráulica e que o primeiro colmo do feixe se rompeu na parte superior.

Figura 44 - Feixe de bambus preparado para o ensaio



Fonte: elaboração do próprio autor.

Figura 45 - Proteção das extremidades dos colmos com Durepox



Fonte: elaboração do próprio autor.

Figura 46 – Feixe de bambus na prensa hidráulica com a ponta esmagada



Fonte: elaboração do próprio autor.

Figura 47 - Rompimento do primeiro colmo de bambu na parte superior do feixe



Fonte: elaboração do próprio autor.

Por sua vez, a Araldite é indicada para reparos de superfícies como vidros, concretos e fibras naturais, metais dentre outros. Suporta temperaturas de até 70 °C (Tabela 7).

Tabela 7 - Propriedades físico-químicas da Araldite

Especificações	Resina	Endurecedor
Aparência visual	Líquido transparente amarelado claro	Líquido transparente palha
Viscosidade aparente a 25°C	20.000 a 40.000cps	10.000 a 20.000cps
Relação da mistura em peso A: B (peso ou volume)	1:1	
Tempo para utilização da mistura:	1min	
Tempo de secagem inicial:	5min	
Tempo de cura total:	2h	
Temperatura de aplicação:	+5 a 35°C	
Temperatura de trabalho:	-30 a 7°C	

Resistência ao cisalhamento (Kgf/cm ²):	≥120
--	------

Fonte: Araldite (2020).

Realizou-se o mesmo procedimento feito com a Durepox, misturando-se a resina ao endurecedor em partes iguais e aplicou-se no feixe de bambus. Neste momento, observou-se que este tipo de proteção proporcionava maior facilidade para aplicação nos colmos que se encontravam no meio do feixe, devido à característica mais fluida do que a Durepox.

Aguardou-se o período de secagem de 2h, conforme solicitado pelo fabricante, e, após, foram realizados os testes na máquina universal de ensaios EMIC DL30.000N, seguindo o mesmo padrão do item anterior (Figuras 48 e 49).

Observou-se que este tipo de cola não trincou e que o primeiro colmo rompido situava-se na parte central do feixe (Figuras 50 e 51).

Figura 48 - Aplicação da cola Araldite



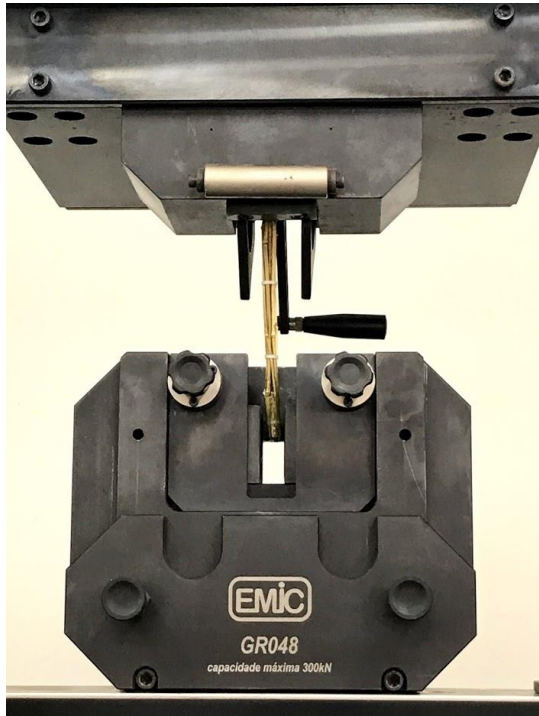
Fonte: elaboração do próprio autor.

Figura 49- Período de cura da cola



Fonte: elaboração do próprio autor.

Figura 50- Ensaio de tração paralela às fibras, na máquina universal de ensaios EMIC DL30



Fonte: elaboração do próprio autor.

Figura 51- Rompimento do primeiro colmo na zona central do feixe



Fonte: elaboração do próprio autor.

Além dos ensaios de tração paralelo às fibras, realizou-se um ensaio empírico, a fim de se observar o comportamento do feixe inserido no microconcreto. Como o pórtico será parcialmente envolvido pelo concreto, observou-se o comportamento para resistência à compressão global do conjunto.

Para tal, foi cortado um feixe de bambus com altura de 10cm e inserido em um corpo de prova cilíndrico (5 x10 cm), o qual teve o fundo tampado e feita uma base de areia grossa úmida. Esta base teve a função de manter o feixe de bambu no centro do CP (Figura 52).

Após, o corpo de prova foi concretado juntando o microconcreto com o resíduo de borracha de pneus, permanecendo em câmara úmida por 28 dias e foi desformado e capeado com enxofre. Por fim, foi rompido em máquina universal de ensaios para avaliar os valores de resistência à compressão (Figuras 53, 54 e 55).

Figura 52- Preparo do CP com o feixe de colmos centralizado



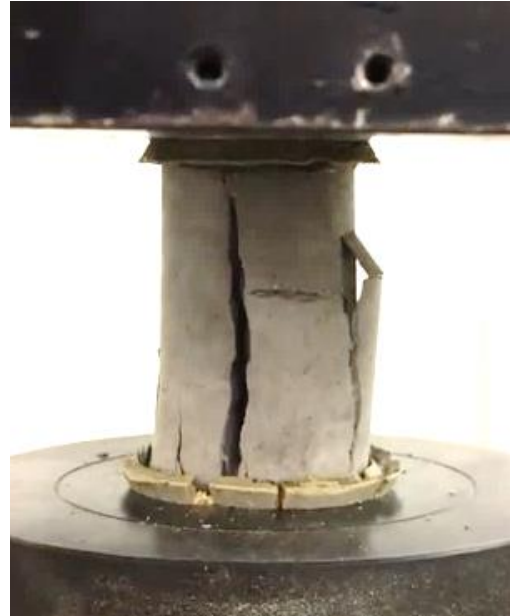
Fonte: elaboração do próprio autor.

Figura 54- Corpo de prova rompido



Fonte: elaboração do próprio autor.

Figura 53 - CP após a ruptura



Fonte: elaboração do próprio autor.

Figura 55- Colmos rompidos nas extremidades



Fonte: elaboração do próprio autor.

6.2.2 Modelo em escala reduzida e distorcida:

Foram utilizados os seguintes materiais e equipamentos: *Bambusa d. falcatum*; octaborato de sódio (5%); látex de seringueira; linha de algodão Corrente®; lixa para madeira nº120; arame recozido; retífica; alicate; adesivo à base de epóxi tipo Araldite ® ; poliestireno expandido 5 cm de espessura; tinta para tecido; pincel; material têxtil (meia calça); verniz para madeira spray; balança

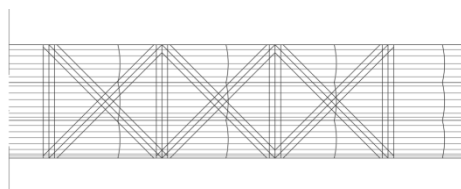
Para a confecção do modelo em escala reduzida, os colmos, depois de secos e moldados, receberam um tratamento (detalhado no capítulo 4 item 4.1.1) com octaborato de sódio, em diluição de 5%, o qual foi pulverizado nos feixes de bambu. Além deste tratamento, foi necessário que as partes do pilar que estariam em contato com a fundação fossem impermeabilizadas.

Para a impermeabilização e o tratamento de aderência dos colmos de bambu, optou-se pelo tipo de tratamento utilizado por Tsutsumoto (2016), que utiliza o látex de seringueira e areia como matéria prima.

O látex foi coletado em Bilac (SP). As seringueiras foram sangradas nos períodos da manhã e da tarde, e o material coletado. Após, houve a adição de 5% de hidróxido de amônia, para que não houvesse a coagulação. O produto foi pincelado nos feixes em três demãos.

Definição da estrutura dos pilares: os pilares foram montados com 10 colmos cada, com a média de 31cm de base (parte mais grossa do colmo) e 0,16 de ponta (parte mais fina do colmo). Foram amarrados com linha de algodão, de acordo com os detalhes apresentados nas Figuras 56 e 57.

Figura 56 - Detalhamento dos feixes de bambus



Fonte: elaboração do próprio autor

Figura 57- Feixe de bambus da maquete



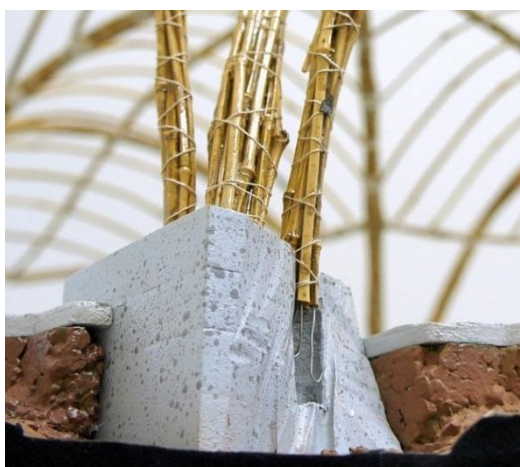
Fonte: elaboração do próprio autor

Os apoios para a cobertura foram realizados por meio de uma mão francesa, também confeccionada com feixes de bambu. Uma das dificuldades encontradas

nesta etapa foi o apoio: como os pilares eram confeccionados com feixe de bambu, não foi possível a utilização de ligações tradicionais.

A solução encontrada foi baseada na utilizada pelos arquitetos do escritório Vo Trong Nghia (descrita no capítulo 5), que utiliza a angulação das colunas desde a fundação (Figura 58).

Figura 58 - Detalhe da fundação na maquete



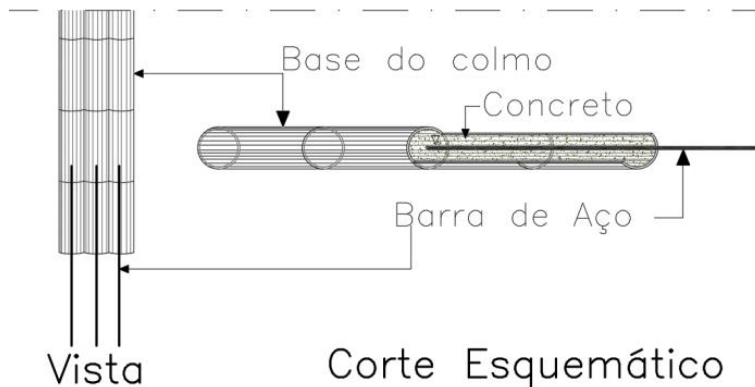
Fonte: elaboração do próprio autor

Para fornecer melhor ancoragem com o concreto, as bases dos colmos de bambu foram lixadas e tratadas com látex líquido passado nos colmos, individualmente, em três demãos. Aguardou-se um período de 24h para a secagem completa do tratamento.

Optou-se por blocos de fundação mais altos do que o nível do terreno, a fim de proteger a base dos pilares de intempéries.

Prosseguindo, em cada base foi instalado um complemento de metal feito de arame. Os colmos foram avaliados individualmente e, em alguns casos, houve a necessidade de abrir os nós, na parte interna, com o uso de uma retífica. O arame foi levemente prensado com alicate, a fim de simular o efeito das nervuras de uma barra de aço convencional. Por fim, os arames foram colados dentro dos colmos com adesivo à base de epox tipo Araldite® (Figuras 59 e 60).

Figura 59 - Detalhe da inserção do arame nos colmos



Fonte: elaboração do próprio autor

Figura 60- Detalhe da inserção



Fonte: elaboração do próprio autor

Optou-se por este tipo de adesivo, pois se comportou melhor diante dos testes de tração paralela às fibras realizados com os colmos, conforme descrito no capítulo 6.2.1

Prosseguindo, juntaram-se os pilares e as bases da mão francesa, organizados de acordo com o detalhe B descrito anteriormente. Os feixes de bambus foram amarrados, para que permanecessem no local, e colados em uma base de isopor pintada, simulando um concreto.

Estas amarrações alcançaram uma altura de, aproximadamente, $\frac{2}{3}$ da altura do pilar. O restante ficou livre para que as ligações dos elementos fossem feitas separadamente. Posteriormente, houve a separação das amarrações e cada uma teve um tipo de ligação adequado a suportar as cargas destinadas. Os pilares foram ligados de maneira a interligar as pontas dos colmos em, aproximadamente, $\frac{1}{4}$ da altura total do mesmo (pilar) (Figuras 61 e 62).

Figura 61- Detalhe da ligação dos pilares



Fonte: elaboração do próprio autor

Figura 62 - Detalhe da estrutura



Fonte: elaboração do próprio autor

A mão francesa foi travada, entrelaçando-se com as pontas dos colmos e as dos pilares de forma angulada. Após serem estabilizadas com as amarrações, elas (mãos francesas) tiveram as aparas descartadas (Figuras 63 e 64).

Observa-se que, no modelo reduzido distorcido, as extremidades do bambu estão em contato direto com o concreto, o que facilita à curvatura dos pilares; porém, torna-o exposto à umidade do solo, fato que o danificaria com o passar do tempo. Visto isso, para a estrutura em escala real, optou-se pela solução utilizada na obra do Memorial da Cultura Indígena (Capítulo 5), a qual será detalhada no capítulo 6.1.

Figura 63 - Detalhe das ligações das mãos francesas



Fonte: elaboração do próprio autor

Figura 64 - Detalhe da estrutura da maquete



Fonte: elaboração do próprio autor

Cobertura: para a confecção, foi necessário realizar o processo de secagem em fôrma, como demonstrado no capítulo item 6.2.1. Após a secagem, iniciou-se a confecção das pétalas, dispondo colmo a colmo nas fôrmas, até que se alcançou o fechamento (Figura 65 e 66).

Figura 65 - Cobertura



Fonte: elaboração do próprio autor

Figura 66 - Detalhe da representação do material têxtil



Fonte: elaboração do próprio autor

Para a proteção contra as intempéries, optou-se por um material têxtil, leve e de fácil instalação, a fim de simplificar a execução da obra. E para o tratamento final, optou-se pela utilização de verniz naval.

O protótipo foi utilizado para observar as características de construção da estrutura e realizar testes preliminares que pudessem facilitar a construção em escala real.

6.2.3 Bambu para confecção de modelo em escala real

Foram utilizados os seguintes materiais e equipamentos: *Bambusa tuldooides munro*; moto serra; veículo utilitário para transporte; martelo; alicate; arame recozido; maçarico; máquina aspersora agrícola; octaborato (5%); fôrmas feitas com estacas de madeira; maçarico; botijão de gás GLP; balança.

O bambu para a confecção da estrutura real é da espécie *Bambusa tuldooides munro* (Figura 67), que foi coletado na Fazenda da UNESP de Ilha Solteira (SP), em agosto de 2019. Os colmos totalizavam, em média, 5m de comprimento, desde a base ao topo, e diâmetro médio de 5 cm, medidos a 1,20m de altura do colmo.

Os colmos tiveram as pontas retiradas e receberam tratamento com Octaborato diluído em água, em uma proporção de 5%, o qual foi aspergido com máquina aspersora agrícola. Ficaram duas semanas secando em posição vertical (Figura 68), próximos ao local da coleta.

Figura 67 - imagem da moita de bambu



Fonte: elaboração do próprio autor

Figura 68 - período de secagem
ao ar livre



Fonte: elaboração do próprio autor

Após este período, eles foram transportados para o NEPAE (Figura 69) e colocados em fôrmas feitas com estacas de madeira, na forma curva pré-estabelecida no projeto (Figura 70). Estas fôrmas foram confeccionadas via organização de um gabarito com linhas, e, após, estacas de madeira foram fincadas no solo. As estacas mediam 0,80m de altura e foram fixadas em 0,40m de distância umas das outras aproximadamente.

Figura 69 - transporte dos colmos para o
NEPAE



Figura 70 - organização dos colmos nas
fôrmas



Fonte: elaboração do próprio autor

Fonte: elaboração do próprio autor

Com os gabaritos prontos, os colmos de bambu foram encaixados nas fôrmas (Figuras 71) e permaneceram secando nesta posição por três meses. Durante este período, eles foram aspergidos com a mesma solução de Octaborato e água, semanalmente (Figura 72), até que secassem completamente (Figuras 73 e 74).

Figura 71 - amarração dos colmos nas fôrmas

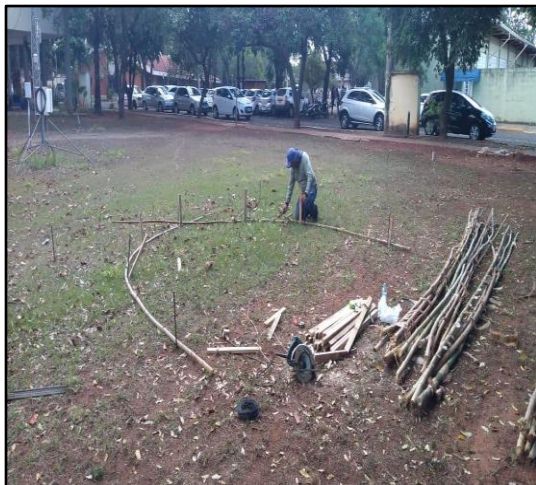


Figura 72 - aspersão da solução de octaborato



Fonte: elaboração do próprio autor
Figura 73 - colmos nas fôrmas durante o período de secagem



Fonte: elaboração do próprio autor

Fonte: elaboração do próprio autor
Figura 74- colmos nas fôrmas durante o período de secagem e manutenção das amarrações



Fonte: elaboração do próprio autor

Após a secagem durante três meses (Figura 75), os bambus adotaram a curvatura requerida em projeto, e foram retirados das fôrmas para se iniciar a

construção. Logo após a desforma, foram tratados novamente com fogo, por meio de um maçarico (Figura 76), para que a cera que envolve os colmos fosse derretida, promovendo melhor aspecto estético.

O tratamento com fogo foi realizado com a devida cautela, a fim de que não houvesse queimaduras dos colmos.

Figura 75 - retirada das formas após 3 meses



Fonte: elaboração do próprio autor

Figura 76- tratamento através do fogo



Fonte: elaboração do próprio autor

Durante o tempo de secagem dos colmos, foi realizada a construção das bases de fundação da estrutura de bambu.

6.2.4 Caracterização Mecânica do Bambu *Tuldoides Munro*

Foram utilizados os seguintes materiais e equipamentos: *Bambusa tuldooides munro*; serra tico tico; trena; paquímetro; régua; balança; gancho metálico; balde; apoio metálico.

Após a secagem completa do bambu, extraiu-se corpos de provas para que o material fosse caracterizado. Para tal, escolheu-se colmos dos mesmos bambus utilizados para confeccionar a estrutura em tamanho real. Os colmos foram dividido em 3 partes, sendo que o primeiro e ultimo terço foram descartados, e os cps (corpos de provas) foram retirados do montante central.

Feito isso, foram extraídos corpos de prova de bambu de tamanho, aproximado, de 4 cm de diâmetro x 8 cm de altura. A figura 77 e 78 mostra os

corpos de prova (CPs) extraídos, estes foram separados em “corpos de prova com nó” (6 unidades) e “corpos de prova sem nó” (8 unidades).

Figura 77- Corpos de prova de bambu sem nó



Fonte: elaboração do próprio autor.

Figura 78- Corpos de prova de bambu com nó



Fonte: elaboração do próprio autor.

Após foi realizado o ensaio de modulo de elasticidade do bambu. Para isso, retirou-se um corpo de prova de 1,11m do mesmo bambu o qual a estrutura foi confeccionada. No ensaio, o bambu foi bi- apoiado e no centro do vão foi colocado uma carga que variou de 10 a 40 kg. A figura 79 mostra a condição de apoio e carregamento do ensaio, a figura 80, mostra a medição do deslocamento.

Figura 79: condição de apoio/ carregamento do colmo



Fonte: Próprio autor.

Figura 80: verificação do deslocamento



Fonte: Próprio autor.

6.3 CONCRETO

6.3.1 Caracterização do Materiais

A caracterização dos materiais foi realizada por levantamento de dados, nos quais constam a descrição dos materiais e de suas propriedades físicas, além das análises dos processos mais relevantes para a utilização deles, começando-se pela caracterização do microconcreto com adição de resíduos de borracha de pneu que será utilizado na estrutura.

Água: A água utilizada na amostra é proveniente do abastecimento público da cidade de ilha Solteira, é potável, cujo tratamento é feito pelo Departamento de Água e Esgoto (DAE) desta cidade. Ela fornece ao cimento autoadensável a plasticidade necessária para sua característica newtoniana em conjunto com o plastificante.

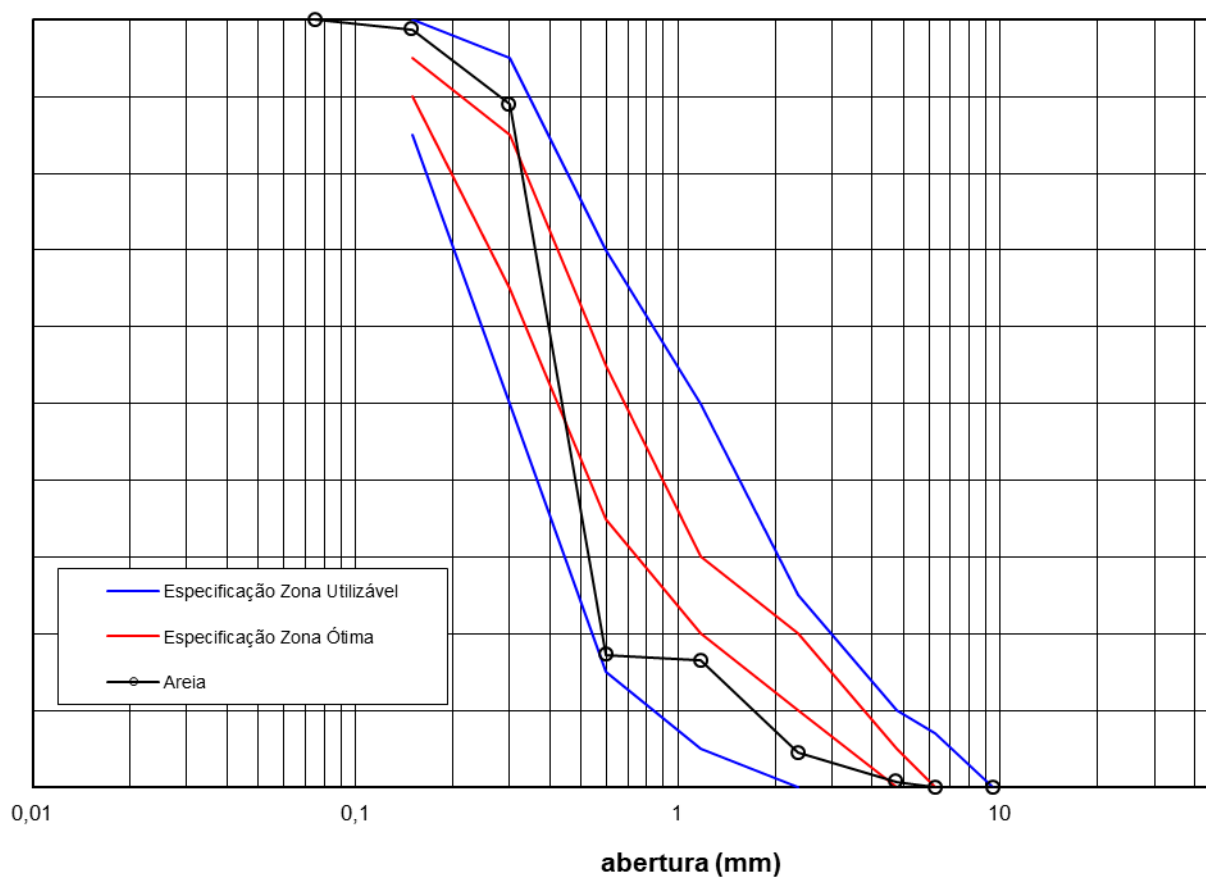
Superplastificante: o aditivo superplastificante utilizado foi o ViscoCret 90HE da fabricante SIKA, que atua por meio da adsorção superficial e do efeito estérico. Age promovendo a separação e a dispersão das partículas de aglomerante, proporcionando a desfloculação do sistema, um maior contato da água com as partículas do cimento e auxilia na trabalhabilidade da argamassa, gerando uma pasta mais fluida.

Agregado miúdo: o agregado miúdo utilizado na pesquisa foi a areia fina natural, com módulo de finura 2,05; e a massa específica aparente é de 2,57 g/cm³, diâmetro máximo de 0,6mm, absorção de água 0,34% e o material pulverulento de 0,8%. E areia grossa natural, com grau de finura 2,82; e a massa específica aparente é de 2,6g/cm³, diâmetro máximo de 4,75 mm, absorção de água 0,5% e o material pulverulento de 0,4%; proveniente do Porto de Areia Santa Elisa, da cidade de Araçatuba (TABELAS 8 E 9)

Tabela 8 – curva granulométrica da areia fina

Obra :				Carta n.º:		
Procedência: Porto de Areia Tubarão Araçatuba				O. S. n.º:		
Identificação: Areia fina				Data ensaio: 16/07/2014		
PENEIRAS		Abertura	Peso Retido (g)	% Retida	% Retida Acumulada	
Normal	Auxiliar					
3"	-	75 mm		0,0	0,0	
-	2 1/2"	63 mm		0,0		0,0
-	2"	50 mm		0,0		0,0
1 1/2"	-	37,5 mm		0,0	0,0	
-	1 1/4"	31,5 mm		0,0		0,0
-	1"	25 mm		0,0		0,0
3/4"	-	19 mm		0,0	0,0	
-	1/2"	12,5 mm	0	0,0		0,0
3/8"	-	9,5 mm	0	0,00	0,00	
-	1/4"	6,3 mm	0,0	0,00		0,00
N.º 4	-	4,75 mm	6,3	0,74	0,74	
N.º 8	-	2,36 mm	31,8	3,76	4,50	
N.º 16	-	1,18 mm	102,0	12,04	16,54	
N.º 30	-	600 µm	6,3	0,74	17,28	
N.º 50	-	300 µm	606,8	71,67	88,95	
N.º 100	-	150 µm	82,9	9,79	98,74	
fundo	-	75 µm	10,7	1,26		100,00
Total			846,7	100,00	226,76	

Peneiras	% Retida Acumulada											
(mm) →	0,075	0,150	0,300	0,600	1,18	2,36	4,75	6,3	9,5	12,5	19	25
Areia	100,0	98,7	89,0	17,3	16,5	4,5	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

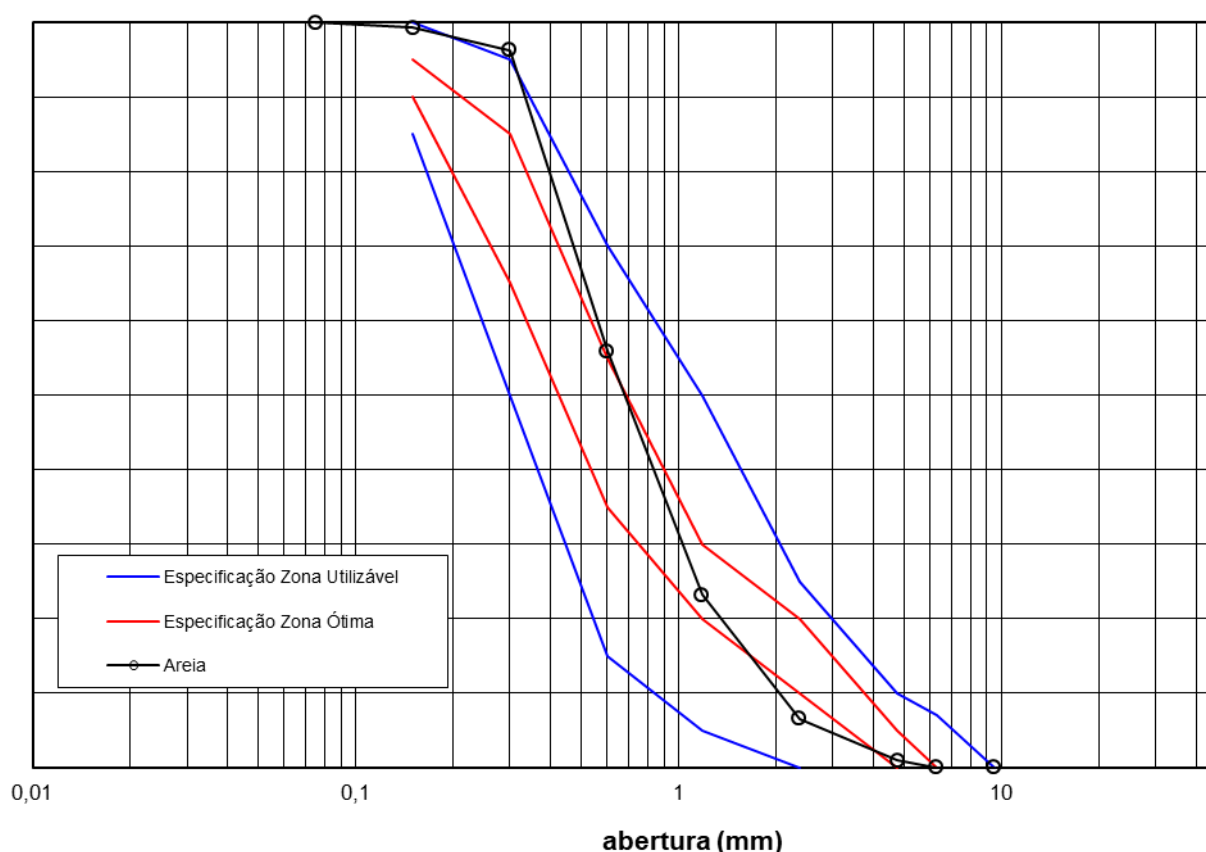


□ máx. (mm)	módulo de finura	massa específica			massa unitária		absor- ção (%)	Pulverolento (%)
		s.s.s. (g/cm³)	seca (g/cm³)	aparente (g/cm³)	solta (g/cm³)			
4,75	2,27	2,580	2,550	2,570	1,710		0,36	0,80

Fonte: Próprio autor.

Tabela 9 – curva granulométrica da areia Grossa

Obra :					Carta n.º:							
Procedência: Porto de Areia Santa Elisa Araçatuba					O. S. n.º:							
Identificação: Areia Grossa					Data ensaio: 16/07/2018							
PENEIRAS		Abertura	Peso Retido (g)	% Retida	% Retida Acumulada							
Normal	Auxiliar											
3"	-	75 mm		0,0	0,0							
-	2 1/2"	63 mm		0,0		0,0						
-	2"	50 mm		0,0		0,0						
1 1/2"	-	37,5 mm		0,0	0,0							
-	1 1/4"	31,5 mm		0,0		0,0						
-	1"	25 mm		0,0		0,0						
3/4"	-	19 mm		0,0	0,0							
-	1/2"	12,5 mm	0	0,0		0,0						
3/8"	-	9,5 mm	0	0,00	0,00							
-	1/4"	6,3 mm	0,0	0,00		0,00						
N.º 4	-	4,75 mm	10,3	0,94	0,94							
N.º 8	-	2,36 mm	61,5	5,63	6,57							
N.º 16	-	1,18 mm	181,8	16,64	23,21							
N.º 30	-	600 µm	357,5	32,72	55,93							
N.º 50	-	300 µm	441,2	40,38	96,31							
N.º 100	-	150 µm	32,9	3,01	99,33							
fundo	-	75 µm	7,4	0,67		100,00						
Total			1092,6	100,00	282,30							
Peneiras		% Retida Acumulada										
(mm) →	0,075	0,150	0,300	0,600	1,18	2,36	4,75	6,3	9,5	12,5	19	25
Areia	100,0	99,3	96,3	55,9	23,2	6,6	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0



ϕ máx. (mm)	módulo de finura	massa específica			massa unitária		absor- ção (%)	Pulverolento (%)
		s.s.s. (g/cm³)	seca (g/cm³)	aparente (g/cm³)	solta (g/cm³)			
2,40	2,82	2,622	2,610	2,600	1,710		0,50	0,40

Fonte: Próprio autor.

Sílica ativa: produto pozolanico, obtido nos filtros do processo de fabricação do silício metálico. Ao ser adicionado ao concreto, diminui a permeabilidade aumentando a resistência a ataque de agentes agressivos, também influencia positivamente na resistência mecânica dos compósitos (MEHTA; MONTEIRO, 1994).

Cimento Portland: o cimento Portland utilizado nos testes foi o cimento ARI (cimento de alta resistência inicial (NBR 5733/91). Segundo Resende (2013), “O cimento Portland de alta resistência inicial tem alta reatividade em baixas idades em função do grau de moagem a que é submetido e ao clínquer que é submetido a uma queima diferenciada”. Esse tipo de cimento confere resistência no período de 24 horas a três dias (Figura 81).

Figura 81– Caracterização do cimento CP V – ARI MAX

Certificado de ensaios em cimento

CP V-ARI MAX

Cimento Portland de Alta Resistência Inicial

Agosto 2014

ABNT NBR 5733/91**Resultados Parciais**

Companhia Nacional de Cimento
BR 040, km 474 - Zona Rural
Sete Lagoas, MG - CEP 35.701-970
www.cimentonacional.com.br
tecnico@brennandcimentos.com.br

Ensaios Químicos

ENSAIOS	METODOLOGIA	UN.	RESULTADO	EXIGÊNCIAS
Resíduo Insolúvel - RI	ABNT NM 15/12	%	0,83	≤ 1,0
Perda ao Fogo - PF	ABNT NM 18/12	%	3,80	≤ 4,5
Óxido de Magnésio - MgO	ABNT NM 21/12	%	1,25	≤ 6,5
Trióxido de Enxofre - SO ₃	ABNT NM 16/12	%	2,65	≤ 4,5
Anidrido Carbônico - CO ₂	ABNT NM 20/12	%	2,53	≤ 3,0

Ensaios Físicos

ENSAIOS	METODOLOGIA	UN.	RESULTADO	EXIGÊNCIAS
Área Específica (Blaine)	ABNT NM 76/98	cm ² /g	4.653	≥ 3.000
Massa Específica	ABNT NM 23/01	g/cm ³	3,06	não aplicável
Índice de finura - # 75 µm (nº 200)	ABNT NBR 11579/13	%	0,03	≤ 6,0
Resíduo na peneira #325	ABNT NBR 9202/85	%	0,41	não aplicável
Água de consistência normal	ABNT NM 43/03	%	31,5	não aplicável
Início de pega	ABNT NM 65/03	minutos	120	≥ 60
Fim de pega	ABNT NM 65/03	minutos	175	≤ 600
Expansibilidade à quente	ABNT NBR 11582/12	mm	0,00	≤ 5,0

Ensaios Mecânicos

ENSAIOS - ABNT NBR 7215/96	UN.	DESVIO PAD	RESULTADO	EXIGÊNCIAS
Resistência à Compressão - 1 Dia	MPa	1,31	29,8	14,0
Resistência à Compressão - 3 Dias	MPa	1,68	44,2	24,0
Resistência à Compressão - 7 Dias	MPa	1,60	50,4	34,0
Resistência à Compressão - 28 Dias	MPa	0,42	60,9	não aplicável

Fonte: Nacional Cimentos (2018).

Resíduos de borracha de pneus: os resíduos de borracha de pneu utilizados foram fornecidos pela empresa Mirassol Recauchutadora de Pneus, situada na cidade de Mirassol-SP, com filial na cidade de Araçatuba-SP. Para a utilização, o resíduo foi peneirado para eliminar as possíveis impurezas. A granulometria utilizada corresponde ao diâmetro inferior a 1,19mm. Essa granulometria foi a escolhida por manter as partículas do concreto em tamanho adequado à escala da estrutura da maquete. Após ser peneirado, o resíduo foi novamente misturado para voltar a ter um aspecto uniforme, como mostrado na Figura 82.

Figura 82- resíduo de borracha de pneus



Fonte: elaboração do próprio autor.

6.3.2 Microconcreto com resíduos de borracha de pneus

O traço do concreto com resíduos de borracha de pneus foi adaptado da metodologia de Trentin (2014). Estas adaptações foram realizadas a fim de transformá-lo em um micro concreto autoadensável, com resistência de cálculo de 25 MPa, devido à necessidade de se concretar uma peça de pequenas dimensões (modelo em escala reduzida).

Para adaptá-lo (microconcreto) foram confeccionados três diferentes traços, a fim de alcançar um traço homogêneo e com boas características físico-mecânicas.

Na primeira fase, confeccionou-se um traço rico e com baixa relação água-cimento (a/c de 0,7). Durante o processo de confecção observou-se que o traço não atingiu as características de fluidez necessária, portanto houve a necessidade de corrigi-lo.

As primeiras tentativas de correção utilizadas basearam-se no aumento da quantidade de superplastificante. Contudo, observou-se que, ao se acrescentar maior quantidade do aditivo, este não reagia por completo com o cimento, o que indicou a necessidade de modificar a quantidade de água utilizada na mistura. Portanto, o fator a/c foi modificado para 0,85 e testado a fim de corroborar a resistência de cálculo.

Feitas as adaptações necessárias para atingir a fluidez, o traço final foi definido conforme demonstrado na Tabela 10.

Tabela 10 – quantidade experimental 1 de microconcreto (kg)

Traço	Cimento CPV-ARI	Areia média	Areia fina	Água	Borracha	Sílica	Superplastificante
T0	2,04	2,87	1,43	1,53	0,00	0,20	0,003
T1	0,71	1,0	0,5	0,14	0,04	0,20	0,014
T2	0,71	1,0	0,5	0,14	0,08	0,20	0,014

Fonte: elaboração do próprio autor.

Definido o traço, iniciou-se a confecção da mistura nesta sequência: misturaram-se os dois tipos de areia e adicionou-se nelas 1/3 da água, batendo-se por 1 minuto em velocidade baixa. A argamassadeira foi desligada e fez-se a limpeza do recipiente com uma colher de pedreiro.

Em seguida, adicionaram-se o cimento misturado com a sílica ativa (Figura 83) e mais 1/3 da água. Novamente, a argamassadeira foi parada, limpou-se o recipiente, retirando os materiais que estavam grudados na borda e adicionou-se o restante da água com o superplastificante diluído. Bateu-se a mistura por mais 3 minutos. A argamassadeira foi parada e a limpeza efetuada. Para o traço de referência (T0), a mistura seguiu para os ensaios de reologia em estado fresco e moldagem posterior.

Para os traços com adição de resíduos de borracha de pneus (T1 e T2), adicionou-se resíduos de borracha de pneus (Figura 84), mexendo primeiramente com a colher, para depois bater em velocidade média por 1 minuto. Após, seguiu para os ensaios de reologia em estado fresco e moldagem posterior.

Figura 83 - Adição do cimento e sílica ativa na massa



Fonte: elaboração do próprio autor.

Figura 84- Adição de resíduos de borracha de pneus



Fonte: elaboração do próprio autor.

Após a mistura, três testes foram realizados: o de espalhamento, através do *slump flow* (Figura 85), medindo os diâmetros de espalhamento (indicativo do índice de consistência), com trena graduada por meio de seção transversal e longitudinal; o de vazão mássica, através do teste de funil; e o teste de segregação, através do ensaio de peneiramento (na peneira de 4,76 mm), segundo métodos adotados em Alcântara (2004) (Figura 86). Feito isso, oito corpos de prova (CP) foram moldados para cada traço, totalizando 24 corpos de provas, os quais se autoadensaram.

Figura 85 - Ensaio de segregação por peneiramento



Fonte: elaboração do próprio autor.

Figura 86 - Medição do índice de consistência



Fonte: elaboração do próprio autor.

Os corpos de prova foram curados ao ar livre vedados com filme de pvc durante um dia. Depois, foram desformados e curados em câmara úmida durante 28

dias. Em seguida, foram submetidos aos ensaios de resistência à compressão axial, compressão diametral e absorção de água, conforme as normas NBR 12025 (ABNT, 2012a), NBR 7222 (ABNT, 2011) e NBR 13555 (ABNT, 2012b) respectivamente.

Aos 26 dias, os corpos de prova foram retirados da câmara úmida, separados para os ensaios de absorção (Tabela 11), de compressão diametral e axial, sendo que, para este último, os CPs foram capeados com enxofre. Para a realização do ensaio de absorção, os CPs foram pesados e colocados numa estufa em temperatura de 105°C por 24 horas, para, posteriormente, ser submetidos aos ensaios já descritos.

Tabela 11 - quantidade experimental 1 de Microconcreto (kg)

Massa inicial				Massa final			Absorção		
Traço	T0	T1	T2	T0	T1	T2	T0	T1	T2
1	361,61	350,28	344,23	399,35	395,98	386,43	9%	12%	11%
2	355,87	348,26	344,49	391,05	390,13	384,73	9%	11%	10%
3	-	349,41	355,26	-	396,78	405,28	-	12%	12%

Fonte: elaboração do próprio autor.

6.3.3 Concreto com resíduos de borracha de pneu

A dosagem dos concretos foi feita com base no traço utilizado pela construtora *Tecnobens*, sob responsabilidade do Dr. Rodrigo Piernas Andolfato. Como o objetivo desta pesquisa não é estudar o concreto, este foi denominado como traço controle TC. Após, o resíduo de borracha de pneu foi adicionado ao TC de concreto, o qual foi denominado TCR. Este concreto foi utilizado na concretagem da fundação da estrutura de bambu em escala real.

O Valor médio do fck do traço controle foi em torno de 25 MPa. A tabela 12 mostra o traço utilizado pela empresa *Tecnobens Construções e Incorporações LTDA*. Os dados do traço e resultados dos ensaios encontram-se no anexo 1 desta pesquisa.

Tabela 12 - Composição dos traços utilizados como referência

Materiais	Consumo (kg/m³)
Cimento (kg)	400,0
Areia (kg)	815,0
Brita 1 (kg)	835,0
Água (kg)	250
Relações	Índices
Relação água/cimento (a/c)	0,625
Relação (em massa) 1:m	1 : 2,03:2,08

Fonte: elaboração do próprio autor.

Para o desenvolvimento do TCR optou-se por utilizar, em seu traço, 10kg de borracha por m³ de concreto. Este teor foi estudado por Trentin (2014), que desenvolveu tubos de concreto com resíduo de borracha de pneu, nos quais este traço apresentou melhores resultados quanto à compressão diametral.

O resíduo de borracha de pneu utilizado nesta mistura foi retido nas peneiras de abertura 6,3 mm; 2,8 mm e 1,19 mm, provenientes do mesmo local citado no item 6.2.2, conforme especificado por Fazzan (2011) e Trentin (2014). A água e agregado miúdo utilizados foram os mesmos descritos no item 6.2.2.

A tabela 13 demonstra a composição do traço do concreto com adição de resíduo de borracha de pneu.

Tabela 13- Composição dos traços utilizados com adição de resíduo de borracha de pneu

Materiais	Consumo (kg/m³)
Cimento (kg)	400,0
Areia (kg)	815,0
Brita 1 (kg)	835,0
Água (kg)	250
Resíduo de Borracha de Pneu	10,0
Relações	Índices
Relação água/cimento (a/c)	0,625
Relação (em massa) 1:m	1 : 2,03:2,08

Fonte: elaboração do próprio autor.

Para realizar a mistura dos materiais do concreto foi utilizado o procedimento desenvolvido por Fazzan (2011). Este procedimento proporcionou melhor amassamento, implicando uma dosagem mais eficiente, com consumo de cimento não muito elevado. O procedimento utilizado foi o seguinte:

- 1- **Etapa inicial:** Inserção de areia, brita e aproximadamente 50% da água no misturador. Em seguida, liga-se o misturador por 1 minuto;
- 2- **Etapa final:** inserção do cimento e do restante da água no misturador. Em seguida, o misturador é ligado até que a mistura fique homogênea. Após o concreto homogeneizado, o resíduo é inserido na massa e o processo de mistura se dá primeiro manualmente para que evite aglomerações do material e segue no misturador por mais um minuto; ou seja, até que esteja homogeneizado para a concretagem das bases de fundação (Figuras 87 e 88).

Figura 87- inserção do resíduo de borracha de pneu na massa de concreto



Fonte: elaboração do próprio autor.

Figura 88- processo de mistura manual do resíduo.



Fonte: elaboração do próprio autor.

Antes da concretagem das bases, foram extraídos corpos de prova para análise e controle de qualidade. Os CPS foram rompidos à compressão axial (Figura 89) e à compressão diametral (Figura 90) e avaliados à módulo de elasticidade longitudinal.

Figura 89- Ensaio de Compressão diametral no CP de concreto com adição de borracha de pneu.



Fonte: elaboração do próprio autor.

Figura 90- Ensaio de Compressão axial no CP de concreto com adição de resíduo de borracha de pneu.



Fonte: elaboração do próprio autor.

6.4 EXECUÇÃO DA ESTRUTURA E ESCALA REAL

6.4.1 Fundação da estrutura em tamanho real

Foram utilizados os seguintes materiais e equipamentos: *Bambusa tuldooides munro*; madeira tipo sarrafo (5x2 cm); linhas de carpinteiro; cavadeira articulada; cavadeira reta; mangueira de nível; armadura de aço de 10mm; insert metálico (detalhado no capítulo 6.1) ; concreto tipo graut com adição de resíduo de borracha de pneu ; máquina de solda portátil; eletrodo de solda; fixadores metálicos; parafusos; cachimbos metálicos confeccionados com tubo 1"x1/4" ; furadeira industrial; balança

Para a confecção da fundação, delimitou-se o terreno com gabarito de madeira, e foram traçadas as linhas para demarcar os locais onde seriam locadas as sapatas (Figura 91). Depois da demarcação, houve a abertura das sapatas no solo e

a colocação de um lastro de brita 1. Sobre o lastro foi colocada uma armadura de 10mm com 15cm de espaçamento, formando uma malha quadrada com taxa de aço igual nas duas direções (Figura 92).

Figura 91 - Demarcação de gabarito



Fonte: elaboração do próprio autor

Figura 92- Detalhe do lastro e armação



Fonte: elaboração do próprio autor

Após esta etapa, foram instalados os suportes metálicos (inserts), utilizando, como apoio, caibros de madeira e um nível de mangueira, para que eles ficassem corretamente locados ao serem concretados (Figuras 93 e 94).

Figura 93 - Instalação dos apoios metálicos com auxílio da mangueira de nível



Figura 94 - Detalhe da instalação dos apoios utilizando o caibro



Fonte: elaboração do próprio autor

Fonte: elaboração do próprio autor

Depois do nivelamento do *insert*, iniciou-se a confecção do concreto. O traço do concreto utilizado para a execução da estrutura em escala real foi o Graute de Andolfato (2006), com adição de 10 kg/ m³ de borracha de pneu (detalhamento no capítulo 6.3.3).

Foram feitas as sapatas quadradas, armadas com 60cm de largura e de comprimento, e 40cm de profundidade, colocados os *inserts* metálicos e concretadas com concreto verde (Figuras 95 e 96).

Figura 95 - sapatas concretadas



Figura 96- apoio metálico inserido à sapata



Fonte: elaboração do próprio autor

Fonte: elaboração do próprio autor

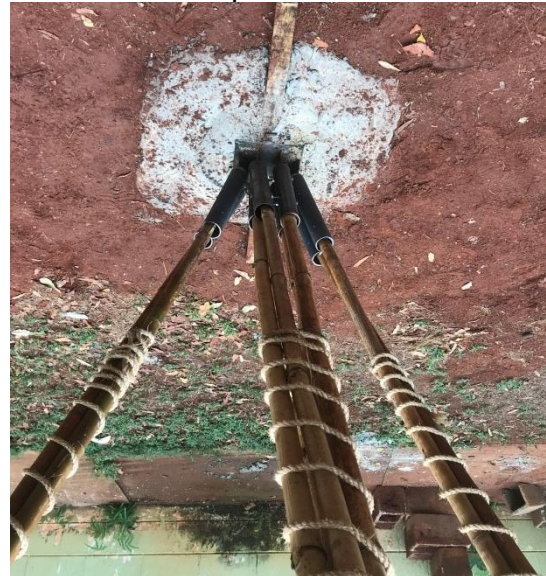
Nestes inserts, foram soldados quatro fixadores para aparafusar os cachimbos. Nesses fixadores foram aparafusados os cachimbos da seguinte maneira: quatro cachimbos fixados a 90° e mais quatro fixados a 45°, sendo que os mesmos cachimbos receberam os colmos de bambus foram parafusados individualmente (Figura 97 e 98).

Figura 97- fixadores metálicos instalados a 90° e 45°



Fonte: elaboração do próprio autor

Figura 98- cachimbos com os colmos apoiados



Fonte: elaboração do próprio autor

Como verificado na estrutura em escala reduzida, os pilares, por serem confeccionados com feixe de bambu, impossibilitaram a utilização de ligações tradicionais. Portanto, a solução encontrada foi baseada na solução utilizada pelos arquitetos do escritório Vo Trong Nghia (descrita no capítulo 5), a qual utiliza a angulação das colunas desde a fundação.

Porém, os apoios da estrutura nas sapatas foram modificados para a solução encontrada pelo arquiteto brasileiro David Rees Dias, que utilizou cachimbos metálicos para prevenir o contato com a umidade do solo, o que poderia, futuramente, deteriorar os colmos por causa da umidade.

Estes cachimbos foram confeccionados com tubo 1"x1/4", furados em duas alturas para englobar o colmo de bambu e permitir sua fixação por aparafusamento, este aparafusamento com as ligações de apoio promovem uma articulação da base que se une ao bloco de fundação, permitindo assim a movimentação na angulação requerida em projeto, mesmo que os colmos não fiquem com a curvatura perfeita (Figura 99 e 100).

Figura 99- detalhe da angulação dos cachimbos



Fonte: elaboração do próprio autor

Figura 100 - detalhe dos furos para aparafusamento dos colmos



Fonte: elaboração do próprio autor

6.4.2 Montagem da estrutura em escala real

Foram utilizados os seguintes materiais e equipamentos: *Bambusa tuldoidea munro*; corda de sisal nº 8; serrote; serra tico tico; alicate; arame recozido; recipiente (balde); turquesa; microconcreto com resíduo de borracha de pneu; selante adesivo elástico de poliuretano (pu); escoras de bambu; trepadeiras; malha galvanizada (tela de galinheiro); balança

A montagem da estrutura em escala real seguiu os mesmos conceitos da montagem do modelo em escala reduzida; porém, com algumas adaptações quanto à quantidade de colmos e detalhamento de execução.

Para a confecção dos pilares, foram utilizados quatro colmos de bambu cada, com a média de diâmetro de 4 cm de base (parte mais grossa do colmo) e 0,03m de ponta (parte mais fina do colmo). Os colmos foram aparados para que constituíssem os pilares no tamanho correto e ficaram com, aproximadamente, 6m de altura.

Para que estes pilares fossem amarrados, as cordas de sisal foram mergulhadas em água durante 1h, a fim de umedecê-las e, assim, conseguir

tencioná-las o máximo possível (Figura 101 e 102). Juntou-se quatro colmos para os pilares e três colmos para as mãos francesas.

Estas amarrações foram executadas nas partes mais centrais dos pilares, deixando as extremidades livres para manipulação durante o processo de montagem.

Figura 101- corda de sisal mergulhada na água



Fonte: elaboração do próprio autor

Figura 102 - amarração dos pilares



Fonte: elaboração do próprio autor

Os pilares foram amarrados ainda no chão. Por serem leves, puderam ser encaixados nos cachimbos sem auxílio de equipamentos mecânicos (Figuras 103 e 104). Nesta etapa, os quatro pilares foram encaixados. Depois, eles foram ligados para se transformar em dois arcos, os quais sustentaram a cumeeira da cobertura.

Para realizar esta ligação, foi executado um encaixe entre os bambus, entrelaçando-os um a um (Figura 105); e para mantê-los alinhados e no centro, colocou-se um apoio, também construído com um colmo de bambu, o qual balizou toda a montagem dos arcos (Figura 106).

Figura 103 - momento do encaixe do pilar



Fonte: elaboração do próprio autor

Figura 104 - detalhe do encaixe no cachimbo



Fonte: elaboração do próprio autor

Figura 105 - entrelace dos colmos de ambos pilares



Fonte: elaboração do próprio autor

Figura 106- apoio central para balisamento



Fonte: elaboração do próprio autor

Após efetuar o entrelace dos colmos dos pilares, foram amarrados com as cordas úmidas, e tiveram as aparas cortadas. Ao finalizar este processo e estabilizar os arcos, as partes dos colmos que se encaixaram nos cachimbos foram fixadas. Para realizar a fixação, foi feito um furo no colmo, na mesma direção do furo existente no cachimbo, e então parafusados (Figuras 107 e 108).

Figura 107- aparafusamento do colmo



Fonte: elaboração do próprio autor

Figura 108- colmo fixado



Fonte: elaboração do próprio autor

Após, os cachimbos já com os colmos fixados pelos parafusos, foram concretados, utilizando o microconcreto com resíduo de borracha de pneu (descrito no capítulo 6.3.2), a fim de evitar a entrada de água pelas extremidades laterais. Depois de 28 dias, eles receberam uma camada de selante adesivo elástico de poliuretano (PU) para facilitar o acabamento e impermeabilizar a junção.

Para as mãos francesas foram utilizados dois colmos de bambu, com as mesmas características dos pilares, encaixadas nos apoios em 45° e fixadas da mesma maneira que os pilares (Figura 109). As pontas das mãos francesas foram também entrelaçadas; porém, de forma angulada (~70°) para fora da estrutura (Figura 110).

Figura 109- fixação das mãos francesas



Fonte: elaboração do próprio autor

Figura 110- detalhe do entrelace da mão francesa.



Fonte: elaboração do próprio autor

Depois das quatro mãos francesas fixadas, as cumeeiras da cobertura foram encaixadas.

Foram confeccionadas duas cumeeiras com dois colmos de bambu ligados a $\frac{1}{3}$ da parte mais fina cada uma delas, fazendo com que ficassem com o comprimento suficiente para atravessar de um lado ao outro (Figura 111).

Esta ligação foi realizada por meio de amarrações com corda úmida, e também foram necessários alguns pontos de arame para fazer as amarras iniciais. Após a montagem, foram encaixadas sobre os arcos e tiveram as pontas apoiadas nas mãos francesas em, aproximadamente, $\frac{1}{3}$ do fim (Figura 112).

Figura 111- amarração dos colmos para confecção das cumeeiras.



Fonte: elaboração do próprio autor

Figura 112- montagem das cumeeiras



Fonte: elaboração do próprio autor

Com as cumeeiras encaixadas, percebeu-se a necessidade de colocar um apoio intermediário extra, o qual não existia no modelo reduzido. Esse apoio foi necessário devido à dificuldade para se curvar o bambu na angulação correta, o que provocou a falta de apoio para as pétalas da cobertura (Figura 105).

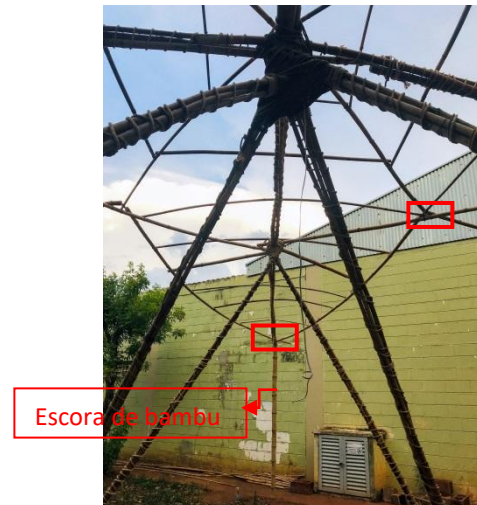
Com o poio instalado, iniciou-se a colocação das pétalas, as quais foram confeccionadas com um colmo de bambu de cada lado. Os colmos foram presos em suas extremidades nas extremidades da cumeeira e no apoio intermediário (Figura 106). Nesta figura, observa-se o uso de uma escora também.

Figura 113- detalhe do apoio intermediário



Fonte: elaboração do próprio autor

Figura 114- Detalhe das amarrações do apoio intermediário e uso de escora.



Fonte: elaboração do próprio autor

Após a colocação das pétalas, iniciou-se o processo de travamento da cobertura com a instalação das terças e espigão (Figura 115). Para isso foi necessário a utilização das partes mais finas do bambu, inicialmente descartadas na confecção dos pilares, mãos francesas e cumeeira.

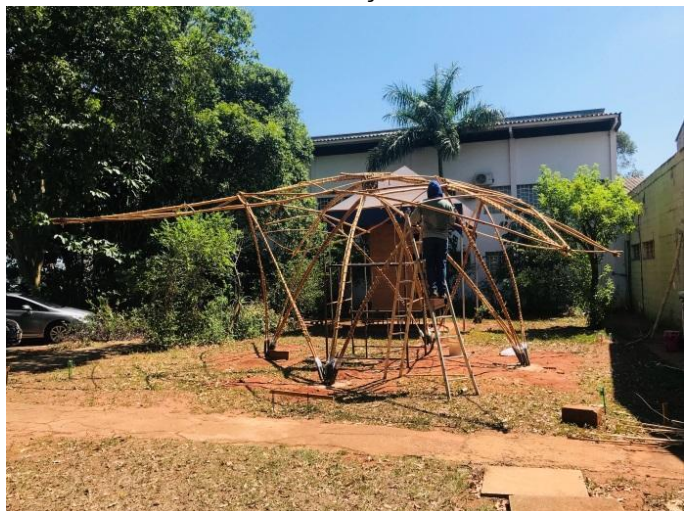
Houve a necessidade de utilizar pontos de arame para facilitar a instalação, (Figura 116) pois, por serem utilizados em forma de bambus roliços, não havia como parar a movimentação; e só depois de travados foram amarrados com as cordas úmidas.

Figura 115 - terças e espigões



Fonte: elaboração do próprio autor

Figura 116- estrutura recebendo reforço nas amarrações



Fonte: elaboração do próprio autor

Após a finalização da colocação das terças, foram retiradas as escoras (Figura 117) e feitos os acabamentos nas amarrações (Figura 118) e nas pontas dos bambus que ficaram abertas, as quais receberam PU (Figura 119).

Figura 117- retirada das escoras



Fonte: elaboração do próprio autor

Figura 118- acabamentos realizados na estrutura



Fonte: elaboração do próprio autor

Figura 119- aplicação de PU nas emendas.



Fonte: elaboração do próprio autor

Feitos os acabamentos na estrutura, foi instalado uma malha galvanizada (tela de galinheiro) e plantada quatro trepadeiras nas pontas da estrutura para que crescessem e cobrissem a parte de cima da cobertura (Figura 120).

Figura 120- Estrutura finalizada



Fonte: elaboração do próprio autor

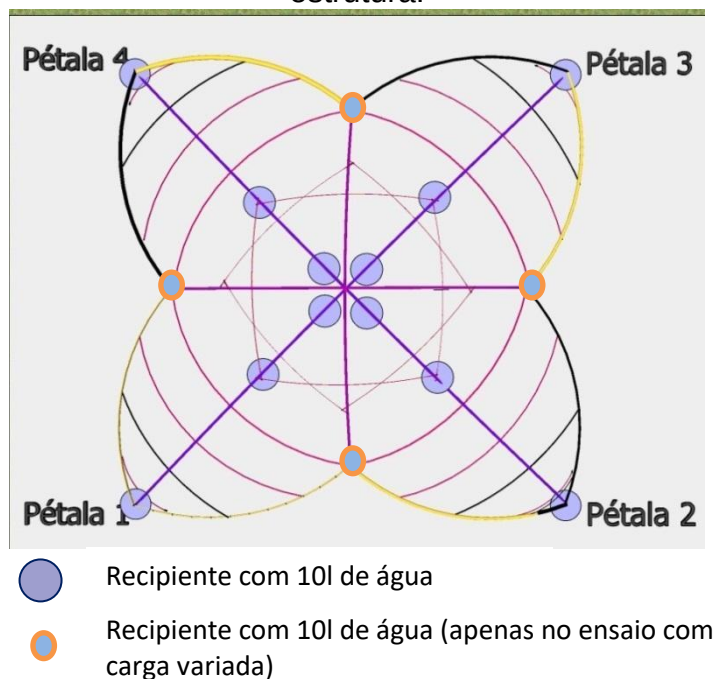
6.5 ENSAIO DE CARGA NA ESTRUTURA EM ESCALA REAL

Foram utilizados os seguintes materiais e equipamentos: recipientes (baldes) com 10 litros de água; estação total topográfica; prisma; tripé, trena digital ; balança; recipiente graduado.

A estrutura em escala real foi submetida a um teste empírico de carregamento. Onde se utilizou recipientes com 10 litros de água cada um, os quais foram colocados nas pontas das pétalas; na junção da mão francesa com a cumeeira e na região central da estrutura (Figura 121).

Para a verificação dos deslocamentos verticais foi utilizado uma Estação Total a qual mediu a estrutura antes do carregamento e posterior ao carregamento (Figura 122).

Figura 121- esquema do carregamento da estrutura.



Fonte: elaboração do próprio autor.

Figura 122- medição dos deslocamento.



Fonte: elaboração do próprio autor.

A carga total utilizada na estrutura foi de 120 kg no primeiro ensaio e 160 kg no segundo. Após, o carregamento se observou as diferenças nas formações geométricas dos elementos estruturais ocasionadas pela falta de padronização dos colmos, os quais foram utilizados em seu estado praticamente natural. Para melhor análise dos deslocamentos, o ensaio foi refeito com carga variada de 1 a 10 kg nos

mesmo pontos acrescidos dos da junção entre as pétalas (demonstrado na figura 121 – recipiente de contorno laranja)

7 RESULTADOS

Para análise dos resultados, consideramos os estudos realizados nas revisões bibliográficas ora apresentadas. Diante destas, gerou-se um projeto e uma com simulação estrutural computacional para verificar a viabilidade da construção.

Após esta verificação, foi construído um modelo em escala reduzida e distorcida, no qual se realizou testes de materiais e métodos de montagem, a fim de minimizar as dificuldades para a montagem em escala real.

Por fim, houve a confecção da estrutura real, seguindo-se os parâmetros pré-estabelecidos pelas duas etapas ora demonstradas.

7.1 RESULTADO DO MATERIAL BAMBU

7.1.1 Resultado do ensaio de tração aplicado ao feixe de bambus - modelo em escala reduzida: *Drepanostachyum falcatum* (nees) keng f.

Na Tabela 14 estão apresentados os resultados de resistência à tração axial paralelo às fibras do feixe de bambu ensaiado. Pode-se observar que a tensão máxima do ensaio foi calculada por meio da razão entre a carga máxima aplicada e o diâmetro dos colmos rompidos. Diante da NBR, deve-se considerar a espessura das paredes dos colmos, porém, neste caso, o colmo era praticamente preenchido, sendo que esta abertura era menor que 1mm.

No entanto, notou-se que os dados do primeiro e do último ensaio que tiveram poucos colmos rompidas estavam muito elevados em relação à resistência do bambu à tração disponível na revisita bibliográfica. Decorrente disso, os resultados foram recalculados e apresentados nas Tabelas 15 e 16 da seguinte forma:

- a) Na Tabela 15 – Para o primeiro ensaio foi considerado um diâmetro médio para todo o feixe, uma vez que, como apenas uma talisca rompeu, considerou-se que, no momento da ruptura, ela estava suportando todo o carregamento correspondente à área de seção transversal de todo o feixe;

- b) Na Tabela 16 – Para os segundo e terceiro ensaios foi considerado como se todos os colmos estivessem rompidos, embora, no segundo ensaio tenha ocorrido esmagamento da resina junto às garras da prensa; e no terceiro, apenas três colmos tenham chegado à ruptura.

Tabela 14- Resultados preliminares do ensaio de tração axial aplicado ao feixe de bambu

Ensaio	Tipo de tratamento o bordas	Carga máxima tração (kgf)	Número o colmos no feixe	Diâmetro de um colmo (cm)	Área seção transversal de um colmo (cm²)*	Número colmos rompidos no ensaio	Tensão máxima ensaio (MPa)
Primeiro ensaio	Resina Epox	80	10	0,15	0,0177	1	453
Segundo ensaio	Resina Epox	121,8	9	0,15	0,0177	9	77
Terceiro ensaio	Resina Araldite	94	9	0,15	0,0177	3	177

*Foi considerada a área total do colmo, pois sua espessura preenche praticamente todo o espaço.

Fonte: elaboração do próprio autor.

Tabela 15- Resultado do primeiro ensaio - Corrigido

Ensaio	Tipo de Tratamento bordas	Carga máxima tração (kgf)	Número colmos no feixe	Diâmetro total (10 colmos) (cm)	Área seção transversal total (cm²)	Número colmos rompidas no ensaio	Tensão máxima ensaio (mpa)
Primeiro ensaio	Resina Epox	80	10	1,10	0,9503	1	8,4

Fonte: elaboração do próprio autor.

Tabela 16- Resultado do segundo e terceiro ensaio – Corrigido

Ensaio	Tipo de tratamento o Bordas	Carga máxima tração (kgf)	Número colmos no feixe	Diâmetro de um colmo (cm)	Área seção transversal de um colmo (cm²)*	Número colmos rompidos no ensaio	Tensão máxim a ensaio (MPa)
Segundo o ensaio	Resina Epoxy	121,8	9,00	0,15	0,0177	9	77
Terceiro Ensaio	Resina Araldite	94	9,00	0,15	0,0177	9	59

*Foi considerada a área total do colmo, pois sua espessura preenche praticamente todo o espaço.

Fonte: elaboração do próprio autor.

7.1.2 Resultado do ensaio de compressão axial aplicado ao feixe de bambu

A resistência à compressão axial do feixe de bambus envolto com concreto foi de 25,71 MPa. O concreto utilizado para envolver o feixe foi o utilizado no traço T1, o qual apresentou resistência à compressão axial média de 37,85 MPa. Logo, concluiu-se que o material composto de bambu e concreto apresentou uma resistência inferior ao concreto simples. Este fato está correlacionado ao feixe que se deslizou na matriz de concreto. Dessa maneira, na etapa seguinte do projeto, já estava prevista a utilização de chumbadores metálicos e suportes do tipo cachimbo para a fixação dos pilares na fundação.

7.1.3 Bambu utilizado na confecção do modelo em escala real: *bambusa tuldooides munro*

Para a caracterização do material bambu foram extraídos corpos de prova de bambu, cujo tamanho aproximado era de 4 cm de diâmetro por 8 cm de altura. As figuras 123 e 124 mostram os corpos de prova (CPs) extraídos, os quais foram separados em “corpos de prova com nó” (tabela 17) e “corpos de prova sem nó” (tabela 18).

Figura 123- Corpo de prova sem nó sob carregamento



Fonte: elaboração do próprio autor

Figura 124- corpo de prova com nó rompido



Fonte: elaboração do próprio autor

As Tabelas 17 e 18 demonstram as resistências encontradas nos copos de prova de bambu com nó e sem nó, além de suas características morfológicas.

Tabela 17– Ensaio de compressão dos corpos de prova com nó

CP	Diâmetro externo (mm)	Espessura de parede (mm)	Diâmetro interno (mm)	Área seção transversa I colmo (cm ²)	Carga de ruptura (Kn)	Tensão compressão ruptura (MPa)
1	39,4	10,70	18	9,65	51,76	53,65
2	39,6	7,00	25,6	7,17	72,90	101,68
3	38,1	10,00	18,1	8,83	62,23	70,49
4	39,6	11,10	17,4	9,94	75,09	75,56
5	40	6,60	26,8	6,93	64,82	93,59
6	37	6,00	25	5,84	62,23	106,49
Média	38,95	8,57	21,82	8,06	64,84	83,58
D. P.	1,16	2,28	4,41	1,65	8,42	20,42
C.v. %	2,97	26,58	20,21	20,50	12,99	24,43

Fonte: elaboração do próprio autor.

Tabela 18– Ensaio de compressão dos corpos de prova sem nó

CP	Diâmetro Externo	Espessura de parede (mm)	Diâmetro interno (mm)	Área seção transversal Colmo (cm²)	Carga de ruptura (kn)	Tensão compressão (MPa)
1	41	6,00	29	6,60	52,21	79,13
2	39	10,80	17,4	9,57	77,56	81,06
3	40	9,60	20,8	9,17	67,35	73,46
4	39	9,00	21	8,48	70,83	83,50
5	38	10,00	18	8,80	45,85	52,12
6	38	10,40	17,2	9,02	78,97	87,57
7	40	11,20	17,6	10,13	79,35	78,30
8	41	11,30	18,4	10,54	47,08	44,65
Média	39,50	9,79	19,93	9,04	68,9	72,48
D.P.	1,20	1,72	3,93	1,20	17,39	15,54
C.v.%	3,03	17,58	19,85	13,26	22,17	21,44

Fonte: elaboração do próprio autor.

Nas tabelas 19 e 20, para melhor visualização dos resultados, foram eliminados os CPs com tensão muito maior ou muito menor que a média. Os resultados médios nestas tabelas mostram que o bambu sem nó possui a mesma resistência ao bambu com nó. Além disso, nota-se que o bambu da construção em escala real, mesmo sendo de outro tipo do utilizado para o modelo reduzido distorcido, tem a resistência à compressão próxima da resistência à tração do bambu do modelo reduzido. Por outro lado, o resultado do ensaio de compressão do feixe de bambu mostrado no item 1.1.2 em nada se assemelhou aos resultados mostrados nas tabelas 19 e 20. Para melhor comparação dos dados, foram escolhidos os resultados dos corpos de provas que mais se aproximaram afim de diminuir o coeficiente de variação.

Tabela 19– Melhores resultados do ensaio de compressão dos corpos de prova com nó

CP	Tensão compressão (MPa)	Valor médio (MPa)	Desvio padrão (MPa)	Coeficiente de variação (%)
3	70,49	79,88	12,14	15,20
4	75,56			
5	93,59			

Fonte: elaboração do próprio autor.

Tabela 20– Melhores resultados do ensaio de compressão dos corpos de prova sem nó

CP	Tensão Compressão Ruptura (MPa)	Valor médio (MPa)	Desvio padrão (MPa)	Coefficiente de Variação (%)
1	79,13	81,23	2,19	2,70
2	81,06			
4	83,50			

Fonte: elaboração do próprio autor.

Além dos ensaios mecânicos, os corpos de prova foram pesados para extrair a massa específica do bambu utilizado na construção em escala real. As tabelas 21 e 22 mostram as massas específicas para cada um dos corpos de prova.

Tabela 21– Massa específica dos corpos de prova com nó

CP	Área seção transversal colmo (cm ²)	Altura do CP (cm)	Volume do CP (cm ³)	Massa do CP (g)	Massa específica (kg/m ³)	Massa específica média (kg/m ³)
1	9,65	9,50	91,65	85,00	927,43	1053,12
2	7,17	8,30	59,50	65,00	1092,37	
3	8,83	8,30	73,27	70,00	955,35	
4	9,94	8,10	80,50	80,00	993,77	
5	6,93	8,00	55,40	65,00	1173,23	
6	5,84	8,00	46,75	55,00	1176,55	

Fonte: elaboração do próprio autor.

Tabela 22– Massa específica dos corpos de prova sem nó

CP	Área seção transversal colmo (cm ²)	Altura do CP (cm)	Volume do CP (cm ³)	Massa do CP (g)	Massa específica CP (kg/m ³)	Massa específica média (kg/m ³)
1	6,60	8,20	54,10	50	924,244733	897,15
2	9,57	8,00	76,54	70	914,503383	
3	9,17	8,20	75,18	70	931,085361	
4	8,48	8,30	70,40	65	923,254913	
5	8,80	8,30	73,01	60	821,798329	
6	9,02	8,30	74,85	65	868,446302	

7	10,13	7,90	80,05	75	936,85804 2
8	10,54	8,30	87,51	75	857,03469 9

Fonte: elaboração do próprio autor.

Através da massa específica, foi possível alcançar o peso aproximado da estrutura, que foi de 251,76 kg, corroborando com o argumento de que é uma estrutura leve, que não exige maquinário pesado para sua construção.

Estes resultados puderam ser comparados aos encontrados por Rosalino (2019), o qual avaliou a mesma espécie de bambu e encontrou valores similares de resistência a compressão axial 80,3 MPa e 1.056 kg/m³ para massa específica.

7.2 RESULTADO DO MATERIAL CONCRETO

7.2.1 Resultado dos traços de microconcreto com adição de resíduo de pneu

Para concretagem do “cachimbo metálico” de ligação entre o bambu e a base de concreto foi utilizado um microconcreto com adição de resíduo de borracha de pneu.

Na Tabela 23, estão apresentados os resultados de resistência à compressão axial dos corpos de prova cilíndricos (5cm x 10cm) de acordo com a NBR6118. Embora exista uma tendência de diminuição da resistência à compressão com a inclusão dos resíduos de borracha de pneu, isso não se verificou, uma vez que, apenas num corpo de prova com resíduo apresentou resistência muito inferior quando comparado aos outros.

Tabela 23- Resultados do ensaio de compressão axial

Traço	CP	Resistência à compressão axial (MPa)	Valor médio (MPa)	Desvio padrão (MPa)	Coeficiente de variação (%)
T0	1	39,29	38,88	1,42	3,64
	2	40,04			
	3	37,30			
T1	1	39,77	37,85	3,87	10,24
	2	33,39			
	3	40,39			

Fonte: elaboração do próprio autor.

7.2.2 Resultado dos traços de concreto com adição de resíduo de pneu

Para concretagem dos blocos de fundação, foi utilizado um concreto do tipo “graute” com adição de resíduo de borracha de pneu. O concreto sem o resíduo é um traço tipo “graute” utilizado pela empresa *Tecnobens Construções e Incorporações Ltda.*, que gentilmente disponibilizou os dados desse traço e os resultados de compressão axial (resultado médio de 25 MPa), os quais encontram-se em anexo nessa pesquisa. Nas tabelas 24 e 25 são mostrados, respectivamente, os resultados dos ensaios de compressão axial, tração por compressão diametral e módulo de elasticidade do “graute” com adição de resíduo de borracha de pneu. Os ensaios foram realizados em corpos de prova cilíndricos de 10 cm de diâmetro por 20 cm de altura.

Tabela 24- Resultados do ensaio de tração por compressão diametral

CP	Resistência à tração (MPa)	Valor médio (MPa)	Desvio padrão (MPa)	Coeficiente de variação (%)
1	9,72	8,47	1,09	12,82
2	7,83			
3	7,85			

Fonte: elaboração do próprio autor.

Tabela 25- Resultados do ensaio de módulo de elasticidade

CP	Módulo de elasticidade (GPa)	Valor médio (GPa)	Desvio padrão (MPa)	Coeficiente de variação (%)
1	27,08	25,83	1,12	4,32
2	25,46			
3	24,94			

Fonte: elaboração do próprio autor.

Em resumo, podem-se comparar através da tabela 26 os resultados entre o Graute de Andolfato, 2006 e o concreto utilizado nesta pesquisa.

Tabela 26- Comparação dos resultados dos ensaios mecânicos e de módulo de elasticidade

	Módulo de Elasticidade (GPa)	Resistencia a Tração (MPa)	Resistencia a compressão axial (MPa)
CP (Andolfato)	24.57	6.25	26.66 ± 4.14 (N = 4) [CV = 15.53]
CP-Resíduo	25.83	8.47	20.23 ± 0.58 (N = 3) [CV = 2.88]

Fonte: elaboração do próprio autor.

Observa-se que a resistência da compressão do concreto decaiu aproximadamente 6.43 MPa em relação ao traço controle. Considerando que o resíduo aumenta a zona de transição dentro do concreto (TRENTIN, 2014), o decaimento deve decorrer do aumento de zona de transição provocado pelos resíduos de borracha de pneu. Mesmo assim, os valores médios obtidos ainda permitem seu uso como concreto estrutural de acordo com a NBR6118/2014. O resultado do modulo de elasticidade (E) ficou próximo ao preconizado pela ABNT NBR 6118/2014. A equação 1 (E para pequenos deslocamentos) abaixo mostra que o valor referencial da norma ABNT NBR 6118/2014 para o módulo de elasticidade é de 21.22 GPa. Assim, constatamos para CP-Resíduo um valor ligeiramente acima do estabelecido pela norma. Dessa maneira, demonstra-se que o concreto com resíduo ofereceu maior rigidez ao carregamento em relação à tendência natural dos concretos sem resíduo.

$$E = 0.85 \times 5600 \times (f_{ck}^{0.5})$$

Na qual:

E = Modulo de Elasticidade

f_{ck}= Feature Compression Know

(equação 1)

Com relação à resistência à tração, a ABNT 6118/2014 descreve (equação 2) um referencial de 5.15 MPa para a proporcionalidade entre f_{ck} e f_{ctk} inf, demonstrando que o concreto com resíduo possui maior capacidade de absorver os esforços de tração em relação à tendência dos outros tipos de concreto.

$$f_{ctK} = 0.7 * \left(f_{ck}^{\frac{2}{3}}\right) f_{ctK} = 0.7 * \left(f_{ck}^{\frac{2}{3}}\right)$$

(equação 2)

Na qual:

E = Modulo de Elasticidade

f_{ck}= Feature Compression Know

7.3 RESULTADO DO MODELO REDUZIDO DISTORCIDO

Para a concepção do projeto e estrutura foram realizadas três condicionantes do projeto:

- a) Projeto arquitetônico;
- b) Cálculo numérico através de simulação computacional;
- c) Confecção do modelo reduzido distorcido.

a) Projeto Arquitetônico

A concepção inicial do projeto foi baseada nas referências bibliográficas e obras correlatas demonstradas nos capítulos anteriores. Por meio de técnicas utilizadas por arquitetos, engenheiros e até povos antepassados, criou-se uma estrutura com o objetivo de aproveitar ao máximo o principal material: o bambu.

As formas escolhidas dos pilares se auto sustentaram, porém não possibilitaram a utilização das amarrações convencionalmente utilizadas em construções de bambu.

Observou-se uma facilitação de execução, visto que as amarrações utilizadas partiram do princípio de envolver o bambu com as cordas, auxiliados por pontos de amarração com arames.

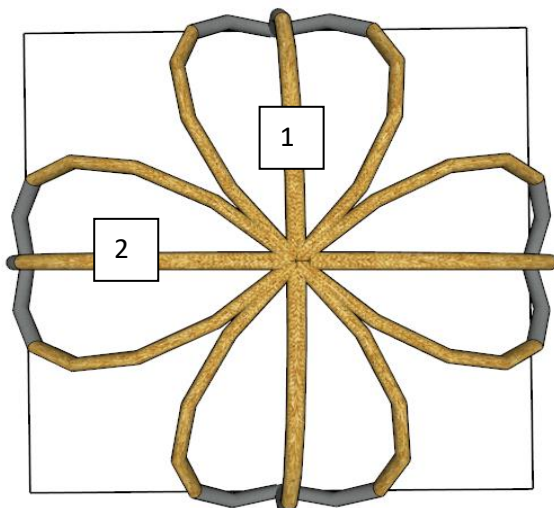
O projeto também permitiu a utilização quase que total do colmo, sendo que, os descartes foram feitos apenas das partes inapropriadas (com rachaduras ou pontas muito finas), pois para a estrutura utilizou-se praticamente todo o colmo e na cobertura, as partes mais finas (sem ponteiros) foram adaptadas para serem as terças da cobertura e melhorar o travamento da estrutura como um todo.

b) Cálculo numérico através de simulação computacional

A priori, definiu-se o projeto com dados das referências bibliográficas e fez-se a simulação computacional para análise da concepção estrutural. O cálculo numérico está exposto em Bianchi *et al* (2019) apresentado no congresso internacional na Universidade do Minho em 2019 em Portugal, um estudo realizado paralelo a esta pesquisa. Assim, foi possível verificar que a estrutura concebida no projeto inicial precisava de ajustes, como demonstrado nas Figuras 125 e 126.

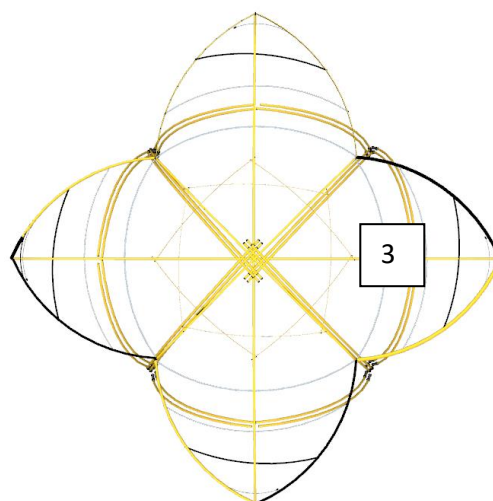
Ao se observar o projeto em planta baixa, pôde-se ver que a concepção inicial dos pilares centrais (demonstrados pelo número 1 indicado na figura 125) que atravessavam de um lado ao outro e formavam as vigas, as quais foram especificada desde o projeto inicial, porém, neste projeto (inicial) não havia as mãos francesas, mas sim apoios (demonstrados pelo numero 2 indicado na figura 125) que se entrelaçavam. Após a simulação computacional através do cálculo numérico no programa SAP 2000, observou-se a necessidade de substituir esses apoios pelas mãos francesas (demonstrados pelo numero 3 indicado na figura 126) porque estas suportariam melhor as cargas exercidas na estrutura. Esta modificação possibilitou a redução do comprimento em balanço, proporcionando melhor equilíbrio a estrutura.

Figura 125- Projeto inicial



Fonte: elaboração do próprio autor.

Figura 126- Projeto final



Fonte: elaboração do próprio autor.

As pontas da cobertura em forma de pétala provocavam um deslocamento da estrutura no sentido da tração, e as mão francesas foram capazes de equilibrar este deslocamento, tornando o projeto estável, diferente da concepção anterior.

Com esta modificação mediante ao lançamento estrutural, nota-se que a mão francesa, nessa nova condição, fornece um apoio efetivo à cumeeira e confere maior estabilidade e capacidade de resistência mecânica à estrutura.

c) Montagem do modelo reduzido distorcido

Com as condicionantes mostradas no item anterior, foram feitas as devidas adequações no projeto arquitetônico e procedeu-se a montagem do modelo em escala reduzida distorcida, como está detalhado no capítulo 6.2.2 contido na metodologia.

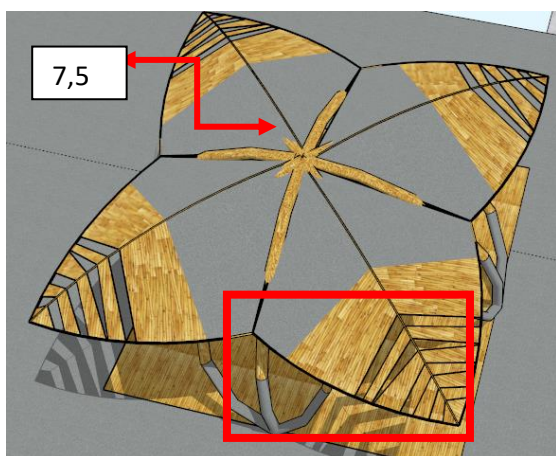
O modelo, tal como a modelagem numérica, foi importante para se estabelecer os passos seguintes para a montagem da estrutura em tamanho real:

- a) Cobertura feita com o bambu roliço e sua curvatura
- b) Formas de encaixes e amarrações dos feixes
- c) Engastamento da estrutura na fundação

No item a), foi possível verificar que os raios escolhidos em projeto não estavam adequados às curvaturas naturais do bambu, fato que provocou a ruptura de alguns colmos dos feixes na hora da montagem. Isto exigiu uma adaptação no projeto inicial, foi preciso aumentar as pétalas para diminuir a curvatura, a fim de aumentar o raio.

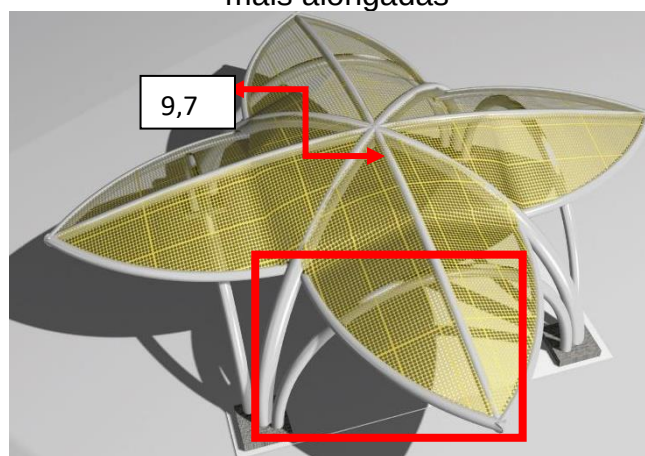
Esta modificação foi aplicada ao tamanho da cumeeira, que teve suas dimensões aumentadas de 7,5m de uma ponta a outra para 9,7m; isso alongou também as laterais das pétalas da cobertura para se ajustar o projeto às limitantes da curvatura do bambu (Figura 127 e 128).

Figura 127- projeto inicial com as pétalas mais curtas



Fonte: elaboração do próprio autor.

Figura 128- adequação do projeto às condicionantes do bambu, com pétalas mais alongadas



Fonte: elaboração do próprio autor.

No item b): observou-se durante este processo, que o bambu coletado mais verde, ou seja, mais jovem, curvou-se com mais facilidade que bambus com colmos secos; porém, em alguns casos, tornaram-se mais frágeis após a secagem. Acredita-se que a falta da lignificação completa do colmo conferiu-lhe uma resistência mecânica menor que a de um colmo completamente formado (maduro).

Embora o bambu seja encontrado *in natura* com formas curvas, constata-se que cada espécie de bambu tem um limite de curvatura natural, o que exige, ao utilizá-lo em projeto, realizar as melhores escolhas, dentre os bambus, quanto a espécies e dimensões desejadas.

Já no item c): foi possível observar que, ao cortar os colmos para fazer algum tipo de encaixe, eles se tornavam menos resistentes, por isso optou-se buscar soluções que aproveitassem o colmo completo, sem a utilização de cortes.

As amarrações foram feitas com linhas naturais úmidas; porém, na montagem, observou-se a necessidade de usar cola em alguns pontos.

A tipologia dos pilares de apoio e mão francesa simplificaram a montagem por não exigirem a confecção de vigas e apoios.

Por fim, no item d) : foi possível observar, no modelo reduzido, que a fundação projetada inicialmente, com os colmos introduzidos no concreto, não seria uma boa solução, visto que houve baixa aderência do colmo no concreto (demonstrado em 7.1.2) e que os colmos ficariam em contato com a umidade do solo. Isto baseou a modificação desta fundação na estrutura em escala real (Figuras 129 e 130).

Figura 129- detalhe da fundação no modelo reduzido



Fonte: elaboração do próprio autor.

Figura 130- modificação executada na escala real



Fonte: elaboração do próprio autor.

7.4 RESULTADOS DO PROTÓTIPO EM ESCALA REAL

Na montagem da estrutura em escala real, foi necessário um novo ajuste das curvaturas da cumeeira, passando de 9,7m para aproximadamente 10,8 m devido à curvatura do *Bambusa Tuldoidea Munro*. Para análise da estrutura real, foi executado um ensaio empírico com a utilização de recipientes com água (figura 131). Cada recipiente continha 10 litros de água (10kgf = 0,1kN) e foram dispostos na estrutura de acordo com os detalhes demonstrados na metodologia (Capítulo 6.5) e (Figura 132).

Figura 131- carregamento aplicado à estrutura



Fonte: elaboração do próprio autor.

A tabela 27 mostra os deslocamentos extraídos *in loco* e o gráfico da Figura 132 mostra os deslocamentos de cada ponto analisado.

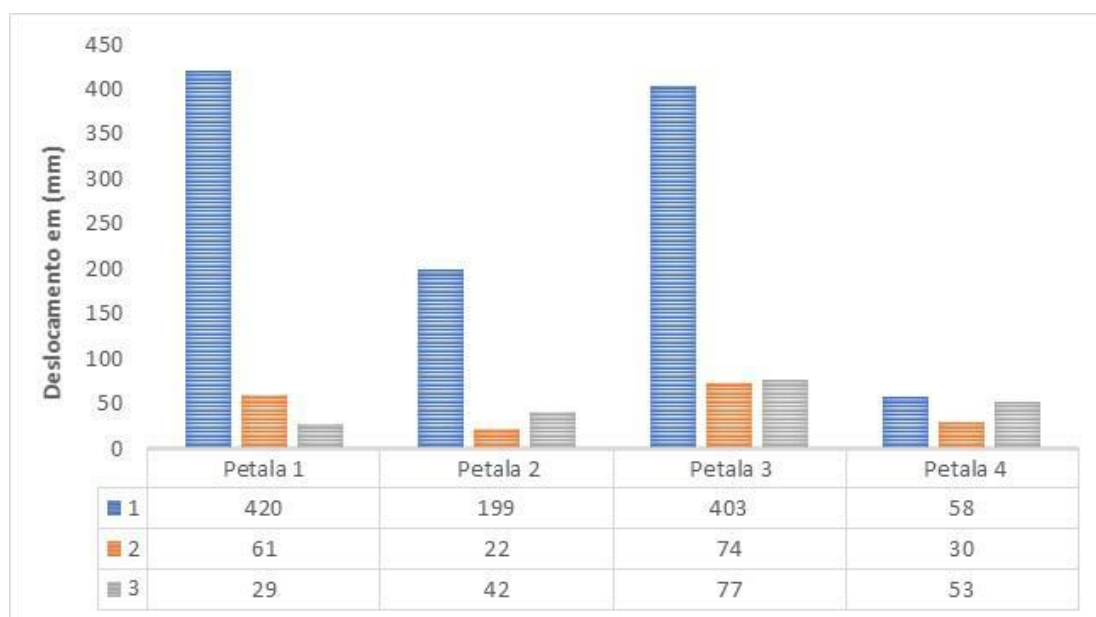
Tabela 27– Deslocamentos da estrutura

Pétala	Pontos	Medida inicial (mm)	Medida final (mm)	Deslocamento vertical (mm)
1	1.1	2412	1992	420
	1.A	3090	3029	61
	Centro	3627	3598	29
2	2.1	1859	1660	199
	2.A	2996	2974	22
	Centro	3506	3464	42
3	3.1	2224	1821	403

	3.A	3159	3085	74
	Centro	3560	3483	77
4	4.1	2196	2138	58
	4.A	3088	3058	30
	Centro	3538	3485	53
Encontro	A	3162	3128	34

Fonte: elaboração do próprio autor.

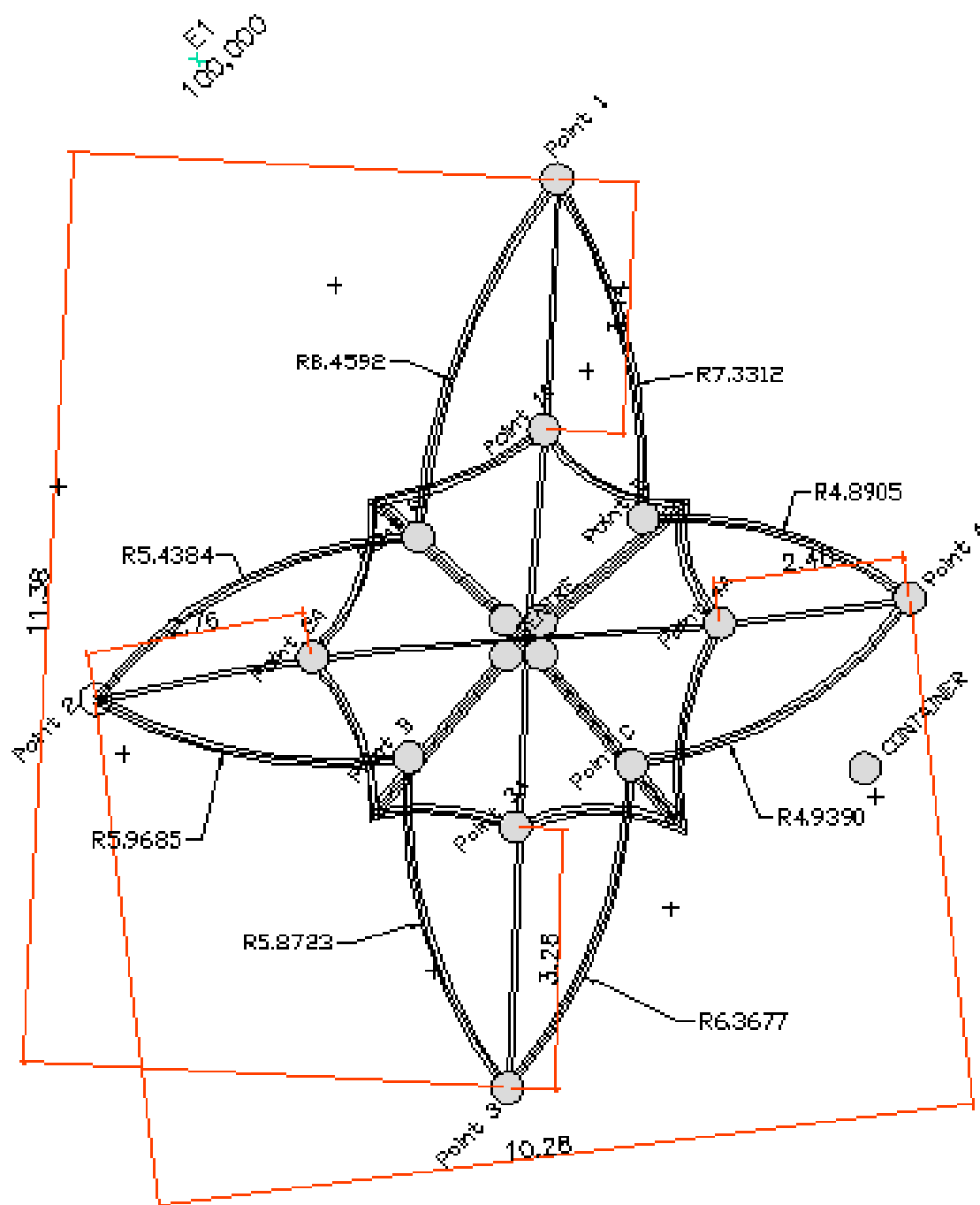
Figura 132- deslocamentos extraídos *in loco*



Fonte: elaboração do próprio autor.

Conforme ABNT 8681/2004, o máximo de deslocamento para condição da pétala que está em balanço corresponde ao 2x vão dividido por 250. Ao fazer esta verificação, constata-se que o máximo deslocamento é de 26 mm se considerarmos o maior balanço (3,25m). Verifica-se, portanto, que o deslocamento para a carga de 10 kg foi maior que o valor de referência. Porém, o carregamento ao qual a estrutura foi exposta não condiciona os níveis de deslocamento do ensaio, haja vista ser uma cobertura que suporta apenas o peso próprio, uma tela metálica e a vegetação.

Deste modo, efetuou-se um novo ensaio adicionando a carga de modo variado, particionando de 1 kg até 10kg e efetuou-se novas medidas, adicionando um ponto de carga extra (Figura 133) , as quais puderam demonstrar o comportamento da estrutura ao ser carregada. A tabela 28 demonstra o deslocamento em cada ponto medido e a Figura 134 demonstra o comportamento dos pontos 1, 2, 3, 4 (pontas da estrutura) carregados de forma variável.

Figura 133- deslocamentos extraídos *in loco*

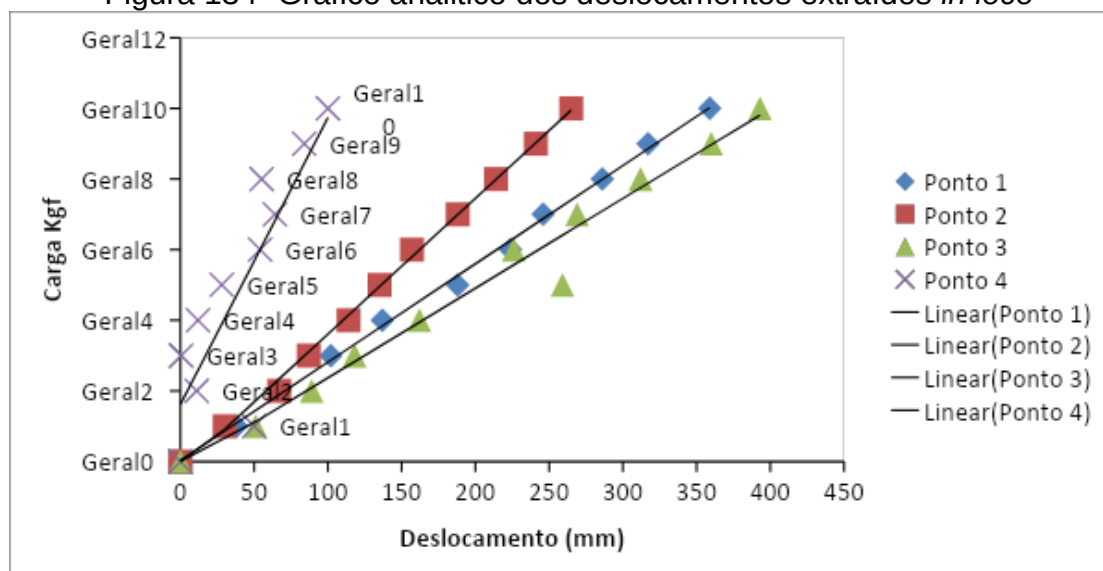
Fonte: elaboração do próprio autor.

Tabela 28– Deslocamentos da estrutura com carga variável

Pétala	Pontos	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1.0	0	38	67	102	137	188	224	246	286	317	359
	1.A	0	-31	-18	-71	-43	0	-10	-5	-8	44	15
A		0	-29	-6	-250	-17	-18	-22	-17	-2	-5	-13
2	2.0	0	30	67	87	114	135	157	188	214	241	265
	2.A	0	-26	-2	-9	-26	-7	-7	-7	-7	-27	-10
B		0	-19	-15	106	-3	-27	-16	-20	-19	-23	-35
3	3.0	0	51	89	118	162	259	226	269	312	360	393
	3.A	0	-8	-10	-31	-30	-50	-28	-18	-40	-41	-38
C		0	-58	-24	86	-21	-21	-31	-30	-39	-38	-34
4	4.0	0	-50	-11	1	12	28	54	64	55	84	100
	4.A	0	6	-4	-31	4	-16	-4	-15	9	-8	-8
D		0	-21	-17	12	7	-7	-14	-8	-2	-4	-8
Encontro		0	30	-47	-24	-25	987	5	-2	-3	3	-20

Média 74
DP 15,72
CV 2%

Fonte: elaboração do próprio autor.

Figura 134- Gráfico analítico dos deslocamentos extraídos *in loco*

Fonte: elaboração do próprio autor.

Outro ponto relevante a se destacar corresponde à diferença de deslocamento entre as pétalas. Este fato ocorreu por causa da ligação dos nós (cumeeira-mão francesa), as quais foram montadas, aproveitando-se da curvatura do colmo. Notou-se que na pétala 4 (menor deslocamento encontrado) a inclinação da mão francesa

estava próxima a 45° e no sentido do carregamento, diminuindo o vão em balanço, o que melhora a capacidade de carga desse elemento. As figuras 135 e 136 mostram, respectivamente, a pétala 1 e a pétala 4. Isso acontece porque, embora os colmos tivessem sido submetidos à curvatura através das fôrmas, alguns deles, quando livres destas, voltaram parcialmente à forma natural.

Figura 135- Pétala 1



Fonte: elaboração do próprio autor.

Figura 136- Pétala 4



Fonte: elaboração do próprio autor.

Em função ao alto deslocamento, para verificar esta condição, foi feito o teste do módulo de elasticidade de 1 colmo de bambu extraído da estrutura. A tabela 29 mostra a carga aplicada e o respectivo deslocamento vertical obtido.

Tabela 29– Deslocamentos do colmo

Item	Peso (kg)	Deslocamento (mm)
1	10	3,5
2	20	5
3	30	6,1
4	40	7,3

Fonte: elaboração do próprio autor.

Para o cálculo do módulo de elasticidade (E), foi utilizada a equação 3 decorrente da linha elástica da colmo de bambu bi-apoiada. As características geométricas da barra de bambu encontram-se na tabela 30, e a tabela 31 mostra o módulo de elasticidade calculado para cada uma das cargas aplicadas. Por meio desta última tabela, foi obtido o módulo de elasticidade médio do bambu numericamente igual a 14,45GPa. Este valor se aproxima de Beraldo e Pereira (2016) para este tipo de espécie de bambu: o valor do módulo encontrado é de 15,8GPa.

Comparativamente ao aço (E = 210GPa) e ao concreto (E = 23,8 MPa), o bambu apresenta baixo módulo de elasticidade, condicionando, em conjunto ao seu baixo peso específico, estruturas que podem estar sujeitas a grandes deslocamentos verticais com baixos carregamentos.

No entanto, tais deslocamentos podem ser minimizados por meio de arranjos estruturais treliçados e estaiados aliados à própria característica elástica do bambu, que se deforma sem se plastificar e romper.

$$E = \frac{P . L^3}{48 . I . v}$$

(equação 4)

Na qual:

P = Carga aplicada (kN)

L = Vão (cm)

I = Momento de inércia (cm⁴)

v = Deslocamento vertical no meio do vão (cm)

Tabela 30– Características geométricas

Item	Valor	Unid.
L (vão)	111	cm
Diâmetro externo	36	mm
Diâmetro interno	24	mm
Momento de inércia	9,373397	Cm ⁴

Fonte: elaboração do próprio autor.

Tabela 31– Módulo de elasticidade calculado

Carga Kgf	Modulo (E) - Gpa
10	14,80
20	14,67
30	14,25
40	14,08

Fonte: elaboração do próprio autor.

8 CONCLUSÃO

A construção em bambu projetada para este trabalho foi realizada e sua eficácia comprovada. Para isso foram necessários: revisita aos estudos bibliográficos afins, ensaio e algumas adaptações ao projeto inicial da construção em escala real.

Pôde-se analisar, por meio do projeto da Bio-cobertura, que cada espécie de bambu, sendo um material natural, apresenta características específicas, variações significativas - físicas e morfológicas - nas diversas espécies, por isso o embasamento teórico faz-se necessário antes da execução de um projeto ou obra de qualquer estrutura ao se utilizar este material. Os estudos de referência destacam que o projeto arquitetônico deve se moldar às características das espécies escolhidas.

Neste trabalho, houve a necessidade de se adaptar o projeto em relação à curvatura, número de bambus por feixe, materiais e formas de amarração, e, em certos casos, modificar soluções projetuais para que se adaptassem às espécies utilizadas.

Na construção do modelo em escala reduzida e distorcida, utilizou-se a espécie de bambu *Drepanostachyum falcatum* (nees) keng f., pois é fino e mais moldável, possibilitando curvaturas acentuadas e melhor acabamento. Este bambu permitiu a execução do projeto inicial sem grandes modificações. Em contrapartida, na estrutura em escala real, foram necessários maiores ajustes projetuais para possibilitar a execução final da estrutura porque foi utilizada a espécie *Bambusa tudooides munro*.

Em ambos os casos, houve a necessidade da elaboração de projetos complementares e detalhamentos arquitetônicos para auxiliar na execução da obra, tais como: projeto de fôrmas para curvar os bambus; projeto de ligações e amarrações dos feixes de colmos; cronograma executivo com as etapas de colheita, tratamento, curvatura e secagem dos colmos - demonstrando, portanto, que o bambu é material que exige cuidados específicos. Se estes não forem cumpridos corretamente, podem comprometer a durabilidade do material.

Observou-se, ainda, que o bambu *Drepanostachyum falcatum* (nees) keng f. moldou-se com mais facilidade do que o *Bambusa tudooides munro*. Isso ocorreu por causa das características físicas e morfológicas da espécie, como também porque

foram cortados e, após 5 dias na touceira, receberam tratamento e foram postos nas fôrmas para secar. Diferente do *Bambusa tudoides munro*, o qual, por causa da distância da touceira e dificuldade com o transporte dele, passou um período de cura maior no campo (2 semanas). Quando foi colocado nas fôrmas, já estava em estágio mais avançado de secagem.

Ambas as espécies tiveram o mesmo tipo de tratamento, realizado com Octaborato de sódio e posteriormente à fogo. Na estrutura em escala real, observou-se fendilhamento em alguns colmos do bambu da espécie *Bambusa tudoides munro*, as quais 'podem ter ocorrido' em decorrência do clima muito quente e seco de Ilha Solteira. Porém, essas fissuras não causaram nenhum dano, neste curto prazo, à estrutura. Mesmo assim, indica-se o monitoramento delas e, se necessário, realizar a substituição do colmo.

Durante a montagem da estrutura em escala real, observou-se a necessidade de modificação do projeto para adequação às curvaturas possíveis à espécie utilizada. As modificações provocaram um efeito visual e estético um pouco diferente dos idealizados inicialmente. Estas diferenças de forma decorreram das dificuldades encontradas no processo de curvatura da espécie de bambu escolhida, já observados em escala reduzida.

Este processo de curvatura exigiu o aumento do tamanho da cumeeira, com distanciamento dos pontos de apoio para adequar a estrutura à sua nova forma, o que por sua vez, causou um aumento nos balanços deixando as pontas da estrutura mais suscetíveis a deslocamentos.

Para verificação deste deslocamento efetuou-se o ensaio de carregamento, no qual observou-se que as pontas da estrutura deformaram-se de maneira diferente em cada ponto onde foram aplicadas as cargas. Cargas estas, superestimadas para que pudessem ser observadas as deformações como um todo. Tais diferenças de deformação (maiores em algumas pétalas que em outras) ocorreram porque a utilização do colmo inteiro e a curvatura praticamente natural não se adequaram à exata conformação dos ângulos da mão francesa em 45°; por conseguinte, as mãos francesas mais distanciadas desse ângulo permitiram deslocamentos maiores.

Ainda neste ensaio, observou-se um deslocamento mais alto que o permitido pela norma NBR 8681:2003; porém, a estrutura demonstrou, ao ser descarregada, grande resiliência e capacidade elástica, pois retomou sua geometria inicial.

Durante a montagem, foi possível observar que a estrutura é leve, pode ser executada sem auxílio de maquinário industrial pesado e, ainda que o projeto arquitetônico tenha requisitado formas não convencionais, não foram observadas grandes dificuldades de montagem pela autora e equipe auxiliar (um carpinteiro e uma ajudante).

As caracterizações dos materiais demonstraram que os resultados dos ensaios corroboraram com os estudos teóricos ora apresentados quanto às resistências encontradas, tanto para os tipos de bambu quanto para os tipos de concreto. Este último, atingiu valores convencionais de utilização, mesmo contendo, em sua mistura, resíduos provenientes de borracha de pneu. A utilização destes resíduos proporciona uma estrutura ainda mais adequada aos preceitos atuais de sustentabilidade na construção civil.

Sugere-se ainda como pesquisa futuras que sejam estudados outros pontos da estrutura como:

- Ensaios de ligações entre os cachimbos, o concreto e o bambu;
- Monitoramento do comportamento estrutural em longo prazo.
- Estudos sobre a durabilidade da estrutura.
- Modificação do projeto para modelos modulares de residências de baixo padrão.
- Inclusão de estais e travamentos para melhorar o deslocamento dos balanços.

Por fim, os resultados demonstraram: a) a capacidade sinérgica encontrada entre os diferentes tipos de materiais (concreto com resíduo de borracha de pneu e bambu) e técnicas utilizadas em um projeto com dinâmica estrutural leve e com *design* modular, confirmando a possibilidade de utilização do bambu e do concreto “verde” na construção; b) que é possível melhorar os materiais convencionais necessários à construção, corroborando com as recomendações da ONU, que apoia o desenvolvimento de “construções sustentáveis e resilientes, utilizando materiais locais” (ONU, 2020).

REFERÊNCIAS

ARCHDAILY. **Bamboo wing**. [S. l.: s. n.], 2012. Disponível em: <https://www.archdaily.com/219880/bamboo-wing-vo-trong-nghia/>. Acesso em: 23 jul. 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 7222**: concreto e argamassa: determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 12025**: Solo-cimento: ensaio de compressão simples de corpos de prova cilíndricos: método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2012a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 13555**: solo-cimento: determinação da absorção de água: método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2012b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 15823-1**: concreto autoadensável: parte 1: classificação, controle e recebimento no estado fresco. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

BERALDO, A. L. Bambucreto: o uso do bambu como reforço do concreto. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA - CONBEA, 16., 1987, Jundiaí. **Anais** [...]. Jundiaí: [s. n.], 1987. v. 11, p. 521-530.

BERALDO, A. L.; AZZINI, A. **Bambu**: características e aplicações. Guaíba: Agropecuária, 2004. 180 p.

BIANCHI, G.; TRENTIN, T. F. S.; MELGES, J. L.; AKASAKI, J. L. Modelagem numérica para de uma estrutura de bambu. *In*: CONGRESSO DE MÉTODOS NUMÉRICOS EM ENGENHARIA, 2019, Guimarães. **Anais** [...] Guimarães: Universidade do Minho, 2019. p. 1-15.

BOURNE, D. J. **New uses of súlfur II**. Washington: Duval Corporation, 1978. 14 p.

BRASIL. Presidência da República. Casa Civil. Lei nº 12.484, de 8 de setembro de 2011. Dispõe sobre a Política Nacional de Incentivo ao Manejo Sustentado e ao Cultivo do Bambu e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, Seção 1, p. 1, 9 set. 2011.

CARDOSO JÚNIOR, R. **Arquitetura com bambu**. 2000. 109 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Universidade para o desenvolvimento do Estado e da Região do Pantanal; Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

CARNEIRO, R. C.; IRRIGARAY, M. A. P. Análise dos ganhos das propriedades mecânicas decorrentes de diferentes adições minerais em concreto auto adensável. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento**, [s. l.], ano 03, v. 8, p. 52-57, 2018.

CHEMBI, K.; NIMITYONGSKUL, P. A bamboo reinforced cement water tank. **Journal of Ferrocement**, Pathumthani, v. 19, n. 1, p. 11-17, 1989.

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

DRUMOND, P. M.; WIEDMAN, G. **Bambus no Brasil: da biologia à tecnologia**. Fortaleza: Embrapa Ceará, 2017. Disponível em: <https://www.embrapa.br/acre/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1078373/bambus-no-brasil-da-biologia-a-tecnologia>. Acesso em: 06 mar. 2018.

FANG, H. Y.; MEHDA, H. C. **Sulfur-sand treated bamboo rod for reinforcing structural concrete**. New York: American Chemical Society, 1978.

FAZZAN, J. V. **Comportamento estrutural de lajes pré-moldadas treliçadas com adição de resíduos de borracha de pneu**. 2011. 169 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2011.

FERES, W. M. **Bambu e a “Arquitetura Vegetariana” de Simón Velez**. [S. l.]: Agência Address, 2016. Disponível em: <http://www.agenciaaddress.com/?p=10155>. Acesso em: 06 mar. 2018.

FILGUEIRAS, T. S.; CANTO-DOROW, T. S.; CARVALHO, M. L. S.; DÓREA, M. C.; FERREIRA, F. M.; MOTA, A. C.; OLIVEIRA, R. C.; OLIVEIRA, R. P.; REIS, P. A.; RODRIGUES, R. S.; SANTOS-GONÇALVES, A. P.; SHIRASUNA, R. T.; SILVA, A. S.; SILVA, C.; VALLS, J. F. M.; VIANA, P. L.; WELKER, C. A. D.; ZANIN, A.; LONGHI-WAGNER, H. M. Poaceae. *In: Lista de espécies da flora do Brasil*. Rio de Janeiro: [s. n.], 2015.

FILGUEIRAS, T. S.; SANTOS-GONÇALVES, A. P. Tupi guarani: fonte de informações sobre bambus nativos do Brasil. **Heringeriana**, Brasília, DF, v.1, n. 1, p.35-41, 2007.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - FAO. **Reproducción de la Guadua angustifolia por el metodo de chusquines**. Quebec, 2007.

GILIO, F. H. S. ; MORAES, J. C. B. ; SOUSA, L. C. ; MELGES, J. L. P. ; AKASAKI, J. L. ; BERNARDES, H. M. Avaliação da influência do tipo de capeamento usado em ensaios de arrancamento bambu-concreto. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO*, 54., 2012, Maceió. **Anais** [...] São Paulo: [s. n.], 2012. p. 1-15.

GILIO, F. H. S.; MELGES, J. L. P. **Avaliação da resistência relativa à aderência entre o concreto e a espécie *Bambusa vulgaris* disponível na região de Ilha Solteira**. Ilha Solteira: UNESP, 2011. (Relatório científico, n. 1-2).

GILIO, F. H. S.; MELGES, J. L. P.. **Avaliação da resistência relativa à aderência entre o concreto e a espécie *Bambusa vulgaris* disponível na região de Ilha Solteira**. Ilha Solteira: UNESP, 2012. (Relatório científico, n. 3).

GILIO, F. H. S.; MELGES, J. L. P.. **Avaliação da resistência relativa à aderência entre o concreto e a espécie *Bambusa vulgaris* disponível na região de Ilha Solteira**. Ilha Solteira: UNESP, 2012. (Relatório científico, n. 4).

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

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

GHAVAMI, K.; HOMBEECK, R. V. Application of bamboo as a construction material. Part I- Mechanical properties & water - repellent treatment of bamboo, Part II- Bamboo reinforced concrete beams. *In*: LATIN AMERICAN SYMPOSIUM ON RATIONAL ORGANIZATION OF BUILDING APPLIED TO LOW COST HOUSING, 1981, São Paulo. **Proceedings** [...] São Paulo: IPT/CIB, 1981. p. 49-66, v.1.

GOMIDE, J. L.; VIVONE, R. R.; GALA, P. A. M. Bambu: uma alternativa para o déficit de celulose de fibra longa no Brasil. *In*: CONGRESSO ANUAL DE CELULOSE E PAPEL DA ABCP, 21. São Paulo, 1988. **Anais** [...] São Paulo: Associação Brasileira de Celulose e Papel, 1988. p.1-16.

GREGOIRE, M. **Tratamento de bambu**: idade e cuidados de corte e secagem. Brasília, DF: Ministério da Agricultura; Embrater, 1994.

HENKEL. **Durepox catálogo**. [S. l.]: Aquisgrana, 2013. Disponível em: <https://www.cec.com.br/images/ProductFiles/FISPQ%2034-14-10%20Loctite%20Durepoxi%20%20.pdf>. Acesso em: 06 mar. 2018.

HIDALGO LOPEZ, O. **Bambu**: su cultivo y aplicaciones en: fabricación de papel, construcción, arquitetura, ingeniería, artesanía. Cali: Estudios Técnicos colombianos, 1974. 318 p.

HIDALGO LOPEZ, O.. **Manual de construcción com bambu**. Cali: Estudios Investigación de Bambu y Madera, 1981.

INTERNATIONAL NETWORK ON BAMBOO AND RATTAN - INBAR. **International model building code for bamboo**. Beijing: INBAR, 1999.

JUDZIEWICZ, E. J.; CLARK, L. G.; LONDOÑO, X.; STERN, M. J. **American Bamboos**. Washington: Smithsonian Institution, 1999.

JARAMILLO, S. V. La Gradua em los grandes proyectos de inversion. *In*: CONGRESSO MUNDIAL DE BAMBU/GUADUA, 1., 1992, Pereira. **Anais** [...] Pereira: [s. n.], 1992. p. 219.

KAMIMURA, E. **Potencial de utilização dos resíduos de borracha de pneus pela indústria da construção civil**. 2002. 143 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

KURIAN, N. P.; KALAM, A. K. A. Bamboo reinforced soil-cement for rural use. **Indian Concrete Journal**, Thane, v. 1, n. 12, p. 21-36, 1977.

MANHÃES, A. P. **Caracterização da cadeia produtiva do bambu no Brasil: abordagem preliminar**. 2008. 39 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) - Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2008.

MARTINEZ, D. M. C.; GONZALEZ, R. A. F. Puentes em do mayor. *In*: CONGRESSO MUNDIAL DE BAMBU GUADA, 1992, Pereira. **Anais [...]** Pereira: [s. n.], 1992. p 172-179.

MARINHO, N. P.; NISGOSKI, S.; KLOCK, U.; ANDRADE, A. S.; MUÑIZ, G. I. B. Análise química do bambu-gigante (*Dendrocalamus giganteus* Wall. ex Munro) em diferentes idades. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 22, n. 2, p. 413-418, 2012.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO P. J. M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: PINI, 1994.

MENEZES, R. R.; NEVES, G. A.; FERREIRA, H. C. O estado da arte sobre o uso de resíduos como matérias-primas cerâmicas alternativas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, n. 2, p. 303-313, 2002.

MORÁN, J. A. **Traditional bamboo preservation methods in Latin America**. Beijin: International Network for Bamboo and Rattan – INBAR, 2003. 70 p. (Techn. Rep., 25).

NASCIMENTO, E. C.; FERROLI, P. C. M. **Proposta De Classificação – Materiais No Design Mobiliário Urbano Com Enfoque Em Bambu**. Florianópolis: UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA, 2019. (Relatório científico, n. 3-3).

NAÇÕES UNIDAS. **A ONU e o meio ambiente**. [S. l.: s. n.], 1972. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/acao/meio-ambiente/>. Acesso em: 06 mar. 2018.

PADOVAN, R. B. **O bambu na arquitetura: design de conexões estruturais**. 2010. 183 f. Dissertação (Mestrado em Design) - Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação, Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2010.

PENA, E. T. **A reforma de pneus é uma atividade “verde”**. [S. l.], 2011. Entrevista. Disponível em: <http://www.infopneus.com.br/artigos/a-reforma-de-pneus-e-uma-atividade-verde/>. Acesso em: 18 maio 2018.

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

PEREIRA, E. L.; OLIVEIRA JR, A. L.; FINEZA, A. G. **Optimization of mechanical properties in concrete reinforced with fibers from solid urban wastes (PET bottles) for the production of ecological concrete**. London: Construction and Building materials, Elsevier, 2017.

POSADA, M. **Estoy mamado de la guadua**: Simón Vélez. Bogotá: El Tiempo, 2014. Disponível em: <http://www.eltiempo.com>. Acesso em: 06 mar. 2018.

SERAFIM, D.; LICETTI, J. C. **Análise do desempenho de três tipos de cimento no concreto de pós-reativos**. 2012. 53 f. Trabalho de Conclusão de Curso (T em Tecnologia em Concreto) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

SEIXAS, M. A.; RIPPER, J. L. M.; GHAVAMI, K. Prefabricated bamboo structure and textile canvas pavilions. **Journal of the International Association for Shell and Spatial Structures**, [s. l.], v. 57, n. 3, p. 179-188, 2015.

SELLEVOLD, E. J.; NILSEN, T. Condensed silica fume in concrete: a world review. *In*: **Supplementary cementing material for concrete**. Ottawa: CANMET, 1987. p. 167-243.

SHARMA, A.; BRUCE, K. L.; CHEN, B.; GYONEVA, S.; BEHRENS, S. H.; BOMMARIUS, A. S.; CHERNOFF, Y. O. Contributions of the prion protein sequence, strain, and environment to the species barrier. **The Journal of Biological Chemistry**, Bethesda, v. 291, n. 3, p. 1277-88, 2016.

SIDDIQUE, R. N. T. R. **Properties of concrete containing scrap-tire Rubber- An overview**. Houston: Waste Manag, 2004.

OSTAPIV, F.; KNEBEL, D. G.; OSTAPIV, G. Da Touceira de *Bambusa tuldoidea* à produção de materiais compósitos (bambu-PET) para uso na construção civil popular. *In*: SEMINÁRIO NACIONAL DO BAMBU – SNB, 3., 2015, Goiânia. **Anais [...]** Goiânia: [s. n.], 2015. p. 1-13.

TEIXEIRA JUNIOR, A. B.; KENUPP, L. K.; CAMPOS, R. Q. Utilização de bambu na construção civil: uma alternativa ao uso de madeira. **Revista Ciências Do Ambiente On-Line**, Campinas, v. 5, n. 1, p. 1-7, 2009.

TRENTIN, T. F. S. **Análise estrutural de tubos de concreto armado com resíduo de borracha de pneu**. 2014. 105 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista – UNESP, Ilha Solteira, 2014.

TSUTSUMOTO, N. Y. **Avaliação do comportamento estrutural de vigas de concreto armado com taliscas de bambu reforçadas nos nós**. 2016. 165 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista – UNESP, Ilha Solteira, 2016.

TUTIKIAN, B. F.; DAL MOLIN, D. C. **Concreto auto-adensável**. São Paulo: PINI, 2008.

VÉLEZ, S. **Simon Velez design**. [S. l.: s. n.], 2015. Disponível em: <http://www.simonvelez.net/>. Acesso em: 18 maio 2017.

VIEIRA, M. O. **Decomposição da serapilheira em dois trechos de Floresta Atlântica no Parque Estadual das Fontes do Ipiranga, São Paulo, um deles sob influência do bambu *Aulonemia aristulata* (Döll) MacClure**. 2015. 100 f. Dissertação (Mestrado em Biodiversidade Vegetal e Meio Ambiente) - Instituto de Botânica da Secretaria de Estado do Meio Ambiente, São Paulo, 2015.

WALKER, C. **Bambu**: uma alternativa viável ao concreto armado?. [S. l.]: ArchDaily, 2014. Disponível em: <https://www.archdaily.com.br/br/621054/bambu-uma-alternativa-viavel-ao-concreto-armado>. Acesso em: 23 out. 2017.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

ARCE-VILLALOBOS, O. A. **Fundamentals of the design of bamboo structures**. 1993. Thesis (Doctor of Philosophy) - Technische Universiteit Eindhoven, Eindhoven, 1993. Disponível em: <https://research.tue.nl/en/publications/fundamentals-of-the-design-of-bamboo-structures>. Acesso em: 10 maio 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 7190**: Projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.

BARMAK, H. **Ensaio sobre o emprego do bambu em construções de concreto**. São Paulo: Diretoria de Obras Públicas, 1938.

BERNARDES, J. **Nova técnica diminui emissão de CO₂ na produção de cimento**. São Paulo: Agência USP de Notícias, 2013. Disponível em: <http://www.usp.br/agen/?p=134582>. Acesso em: 15 set. 2017.

BIANCHI, G.; SILVA, W. C.; KANDA, E. N. ALCÂNTARA, M. A. N.; TRENTIN, T. F. S. Avaliação do uso de serragem na substituição parcial do solo no solo cimento auto adensável. *In*: FÓRUM AMBIENTAL DA ALTA PAULISTA, 14., 2018, [S. l.]. **Anais [...]** [S. l.]: ANAP, 2018. p. 1-15.

BORGES, D.; VALVERDE, D.; BIANCHI, G. Uso de cinza de madeira de eucalipto em compostos cimentícios, uma alternativa sustentável. *In*: SIMPÓSIO NACIONAL DE GERENCIAMENTO DE CIDADES, 5., 2017, [S. l.]. **Anais [...]** [S. l.]: ANAP, 2017. p. 1-15.

BORGES, D.; VALVERDE, D.; BIANCHI, G.. Presidência da República. Casa Civil. Decreto Nº 6.660, de 21 de novembro de 2008. Regulamenta dispositivos da Lei nº 11.428, de 22 de dezembro de 2006, que dispõe sobre a utilização e proteção da vegetação nativa do Bioma Mata Atlântica. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, Seção 1, p. 1, 24 nov. 2008.

CARRASCO, E. V. M.; MOREIRA, L. E.; XAVIER, P. V. Bambu laminado e colado. *In*: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA - EBRAMEM, 15., 1995, Belo Horizonte. **Anais [...]** Belo Horizonte: [s. n.], 1995. v. 2, p. 1-13.

DING, Y. L.; TANG, G. G.; CHAO, C. S. Anatomical studies on the rhizome of some pachymorph bamboos. *In*: RAO, R.; WIDJAJA, E. (ed.). **Bamboo, people and the environment**. Nova Déli, 1996. v. 1.

FILGUEIRAS, T. S.; SANTOS GONÇALVES, A. P. A Checklist of the basal grasses and bamboos in Brazil (Poaceae). **The Journal of the American Bamboo Society**, [S. l.], v. 18, p. 7-18, 2004.

GLUITZ, A. C.; MARAFÃO, D. **Utilização da cinza de madeira de eucalipto na substituição parcial do cimento Portland em argamassa**. 2013. 53 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Química) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2013. Disponível em: http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/1994/1/PB_COQUI_2013_1_03.pdf. Acesso em: 10 maio 2019.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION - ISO. **ISO 22156**: bamboo: structural design. Vernier: ISO, 2004a.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION - ISO. **ISO 22157-1**: bamboo: determination of physical and mechanical properties: part 1: requirements. Vernier: ISO, 2004b.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION - ISO. **ISO 22157-1**: bamboo: determination of physical and mechanical properties: part 2: laboratory manual. Vernier: ISO, 2004c.

JAYANETTI, D. L.; FOLLET, P. R. **Bamboo in construction**: an introduction. Bickinghamshire: TRADA Technology, 1998.

JANSSEN, J. J. A. **Building with bamboo**. London: Intermediate Technology Publications, 1988. 68 p.

JANSSEN, J. J. A. **Designing and building with bamboo**. Beijing: International Network for Bamboo and Rattan - INBAR, 2000. (Technical Report, n. 20)

LIESE, W. **The anatomy of bamboo culms**. Beijing: International network of bamboo and Rattan, 1998.

LIESE, W. **Bamboos**: biology, silvics, properties, utilization. Eschborn: GTZ, 1985. 132 p.

MARÇAL, V. H. S. **Uso do Bambu na construção civil**. Brasília, DF: Universidade de Brasília, 2008. 60 p.

MELO, K. A. **Proposição de método de dosagem de concreto autoadensável com adição de filler calcáreo**. 2005. 183 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, 2005.

NATIONAL MISSION ON BAMBOO APPLICATIONS – NMBA. **Technology, Information, Forecasting and Assessment Council (TIFAC)**. [S. l.]: Government of India, 2004.

SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DO CIMENTO - SNIC. **Produção Nacional de Cimento por Regiões e Estado**. Rio de Janeiro: SNIC, 2016. Disponível em: http://www.snic.org.br/numeros_dinamico.asp. Acesso em 20 set. 2017.

SOARES, S. F. B. S. **Estruturas em bambu**. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia do Porto, Porto, 2013.

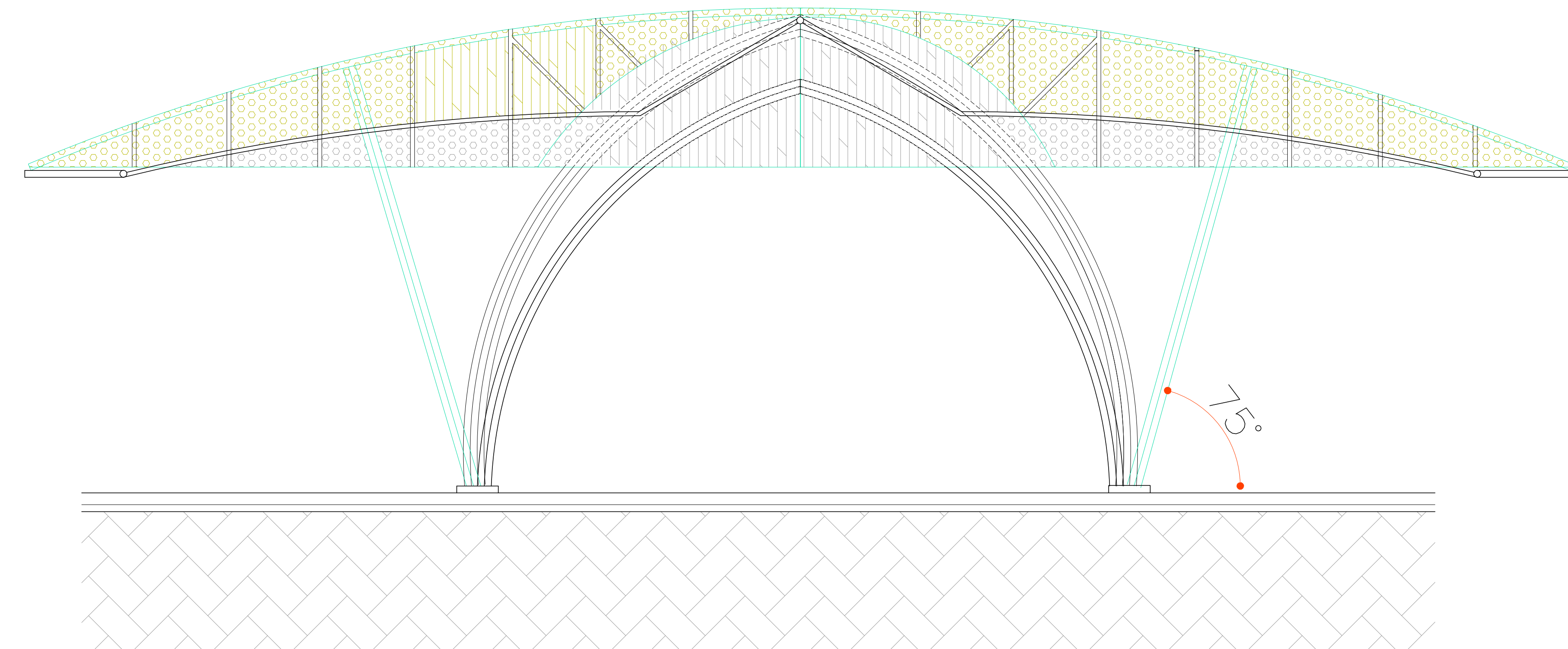
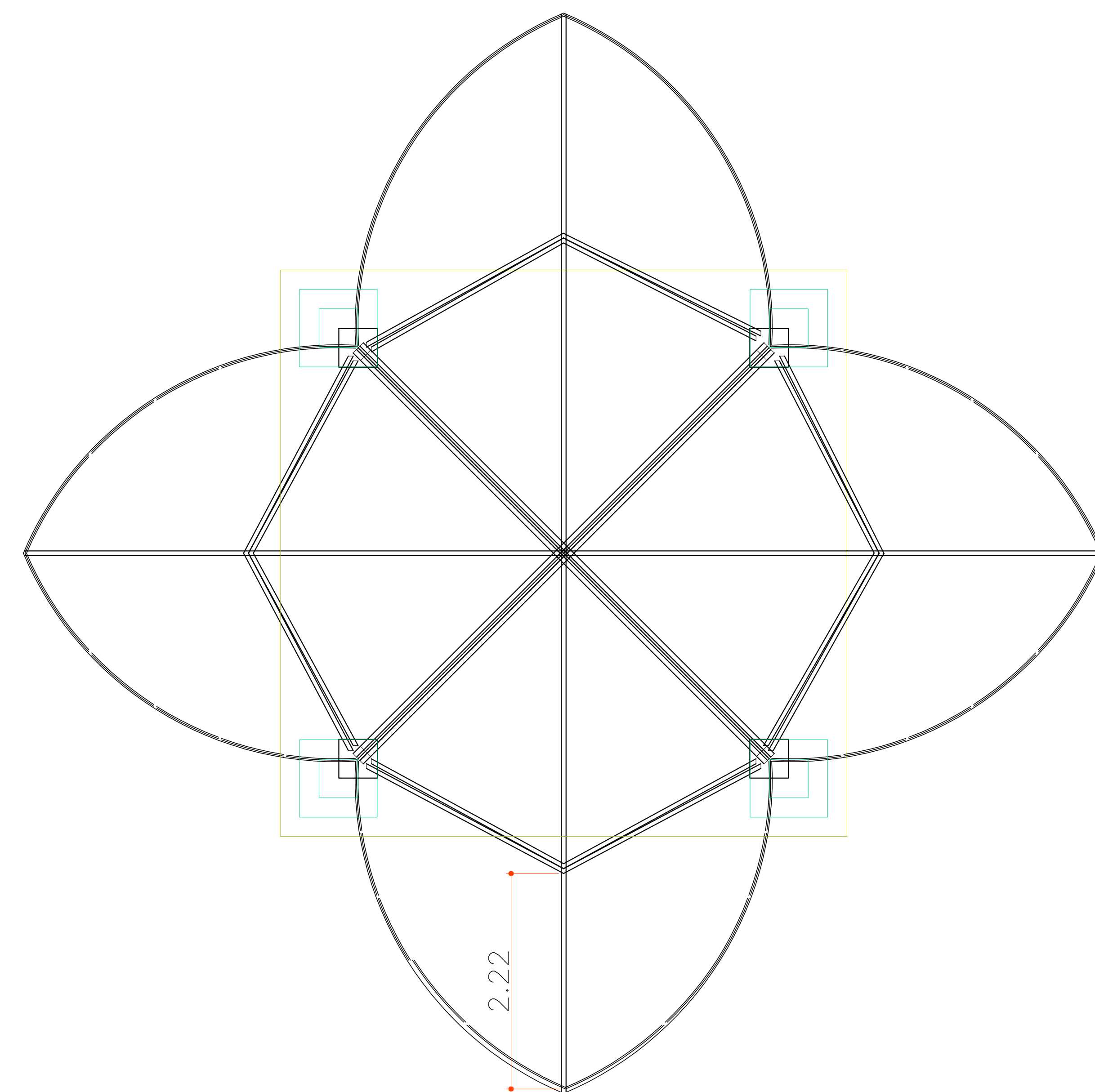
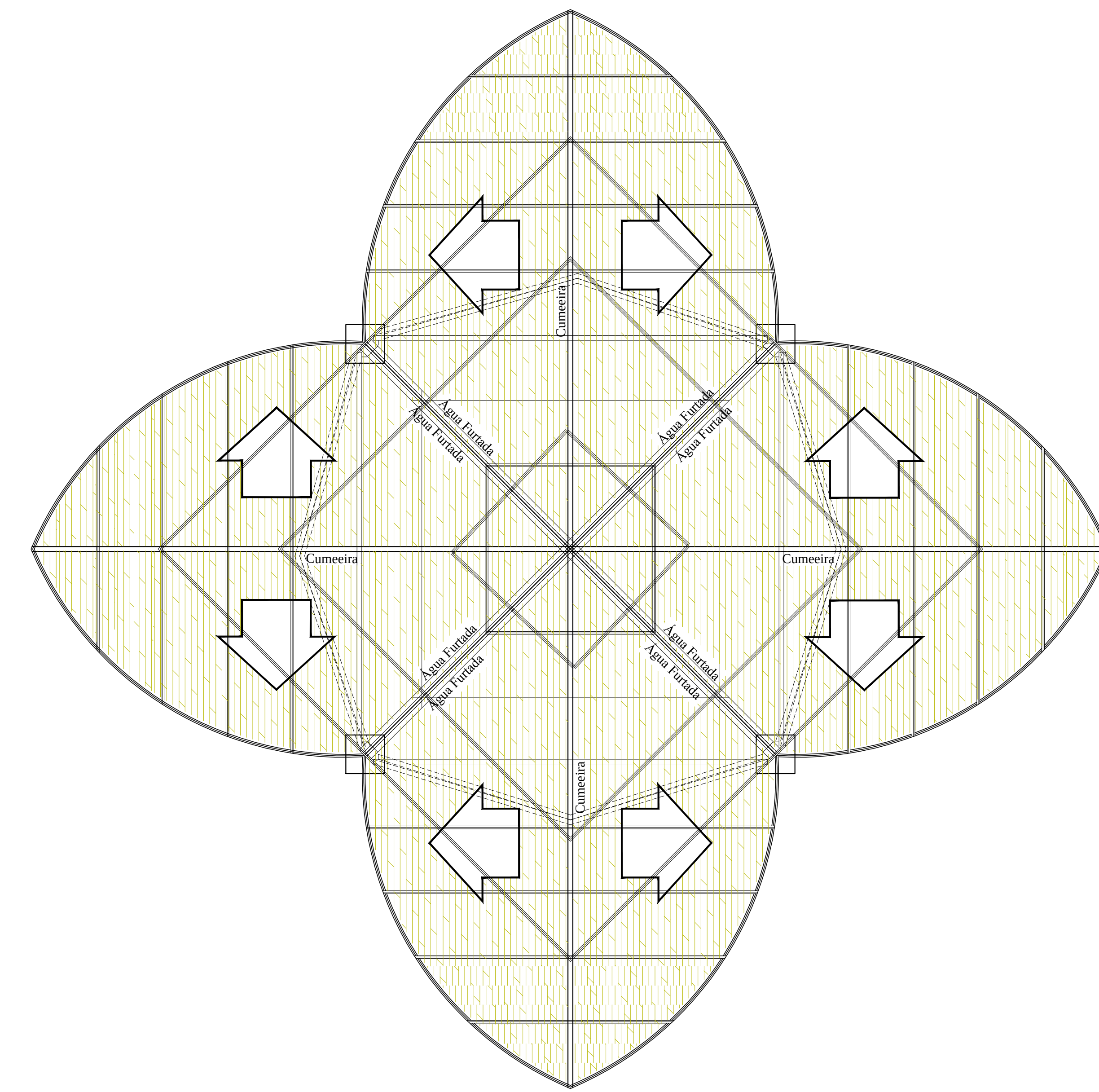
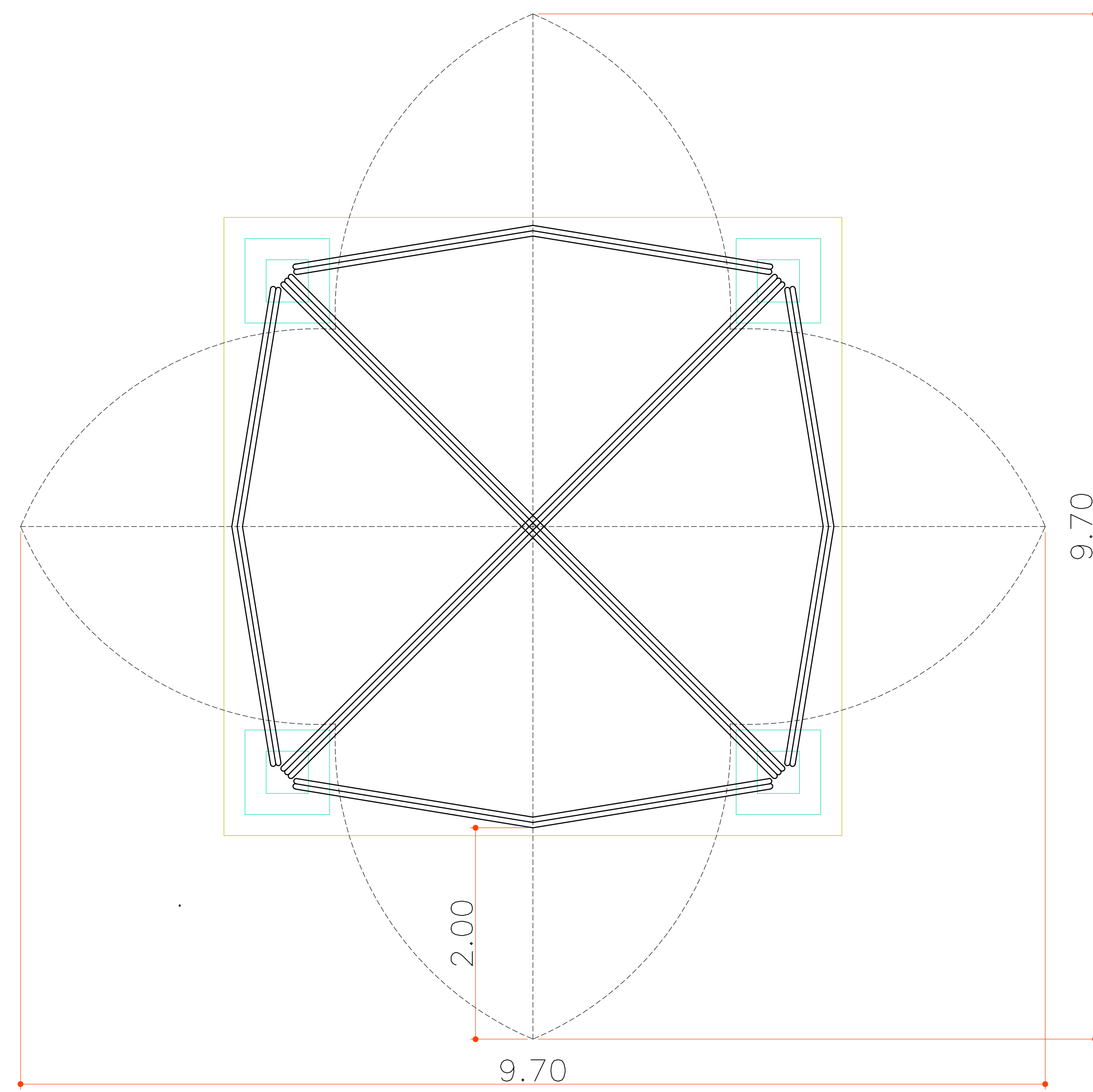
TECHNE. **O que caracteriza um Concreto de Alto Desempenho (CAD)?** [S. l.]: Itupeva, 2016.

WANG, X.; REN, H.; ZHANG, B.; FEI, B.; BURGERT, I. Cell wall structure and formation of maturing fibres of moso bamboo (*Phyllostachys pubescens*) increase buckling resistance. **Journal of the Royal Society Interface**, London, v. 9, n. 7, p. 988-96, 2012. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21920959>. Acesso em: 16 mar. 2018.

WIDYOWIJATNOKO, A. **Traditional and innovative joints in bamboo construction**. Aachen: RWTH Aachen University, 2012.

ANEXOS:

- 1- PROJETO ARQUITETONICO DA ESTRUTURA DE BAMBU
- 2- LAUDO TECNICO DO GRAUTE DE ANDOLFATO, 2006
- 3- GABARITOS DE MARCAÇÃO DAS FORMAS DE CURVATURA DOS COLMOS
- 4- LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO DAS MEDIDAS REAIS



Projeto: Bambu Arte_ Projeto Inicial
 Autor do Projeto: Gislaine Bianchi
 Data: 23/03/2017 Folha: Única

RELATÓRIO DE ENSAIO N. 5148/2015**INTERESSADO: TECNOBENS CONSTRUÇÕES E INCORPORAÇÕES S.A.****MATERIAL: Corpos-de-Prova de Concreto****NATUREZA DO TRABALHO: Ensaio de Compressão de corpos-de-prova cilíndricos****DATA DE MOLDAGEM: 11/06/2015****1. AMOSTRA****1.1. Quantidade**

(4) Corpos-de-prova cilíndricos de concreto com as seguintes dimensões: 100x200 mm.

1.2. Indicação Declarada Pelo Interessado**Interessado: TECNOBENS CONSTRUÇÕES E INCORPORAÇÕES S.A.****Endereço: Avenida da Saudade, 389****Bairro: Bandeiras****Cidade: Araçatuba****CEP: 16025-140****UF: SP****Obra: The Tower****Endereço da obra: Avenida Waldir Felizola de Moraes, 888****Bairro: Jardim Sumaré****Cidade: Araçatuba****CEP: 16015-295****UF: SP****2. MÉTODOS UTILIZADOS**

NBR - 12655/15 - Concreto de cimento Portland - Preparo, controle e recebimento

NBR - 5738/15 - Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova

NBR - 5739/07 - Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos

Este documento tem significação restrita e diz respeito tão somente à amostra ensaiada.
Sua reprodução só poderá ser total e depende da aprovação formal deste laboratório.

RELATÓRIO DE ENSAIO N. 5148/2015**3. EQUIPAMENTOS**

Descrição	Patrimônio	Cert. de Calibração	Validade
Paquímetro Digital	13-010-12	37065-14	12/2015
Prensa Hidráulica	04-001-99	DINTT 418 c/15	04/2016

4. CARACTERÍSTICAS DO CONCRETO APLICADO E LOCAL DE APLICAÇÃO

Fornecedor: JN Concreto Ltda

Fck de Projeto: 25,0 MPa

Data de Ruptura: 09/07/2015

CP nº	Local de aplicação
3	Muro - 3º Subsolo
4	Muro - 3º Subsolo
7	Muro de Contenção - Rotatória e Rua
8	Muro de Contenção - Rotatória e Rua

Este documento tem significação restrita e diz respeito tão somente à amostra ensaiada.
Sua reprodução só poderá ser total e depende da aprovação formal deste laboratório.

RELATÓRIO DE ENSAIO N. 5148/2015**5. RESULTADOS**

Idade dos corpos-de-prova: 28 dia(s)

CP nº	Caminhão/ Betoneira n.º	Nota Fiscal	Abat. (mm)	Dimensões		fc (MPa)	fc do exemplar (MPa)
				D (mm)	H (mm)		
3	4923	15762	250	99,9	198,6	26,6	26,6
4	4923	15762	250	99,0	197,5	26,5	26,5
7	1941	15763	240	98,5	196,4	29,1	29,7
8	1941	15763	240	98,6	196,3	29,7	

Legenda: - CP = corpo-de-prova
- Abat. = abatimento
- D = diâmetro
- H = altura
- fc = resistência à compressão

Eng. AURORA BEATRIZ PERON

Engenheira do Laboratório

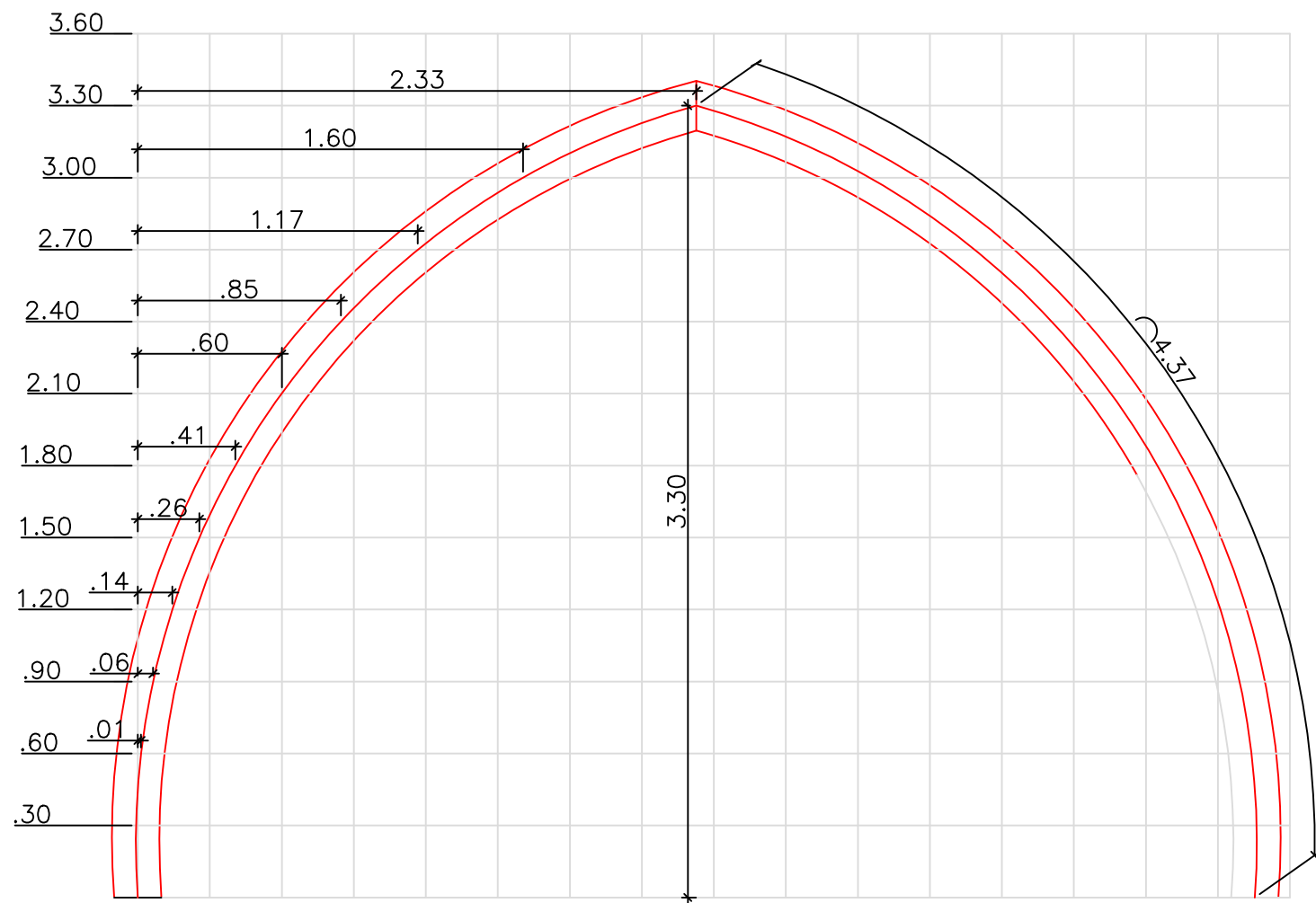
CREA - 5061511083

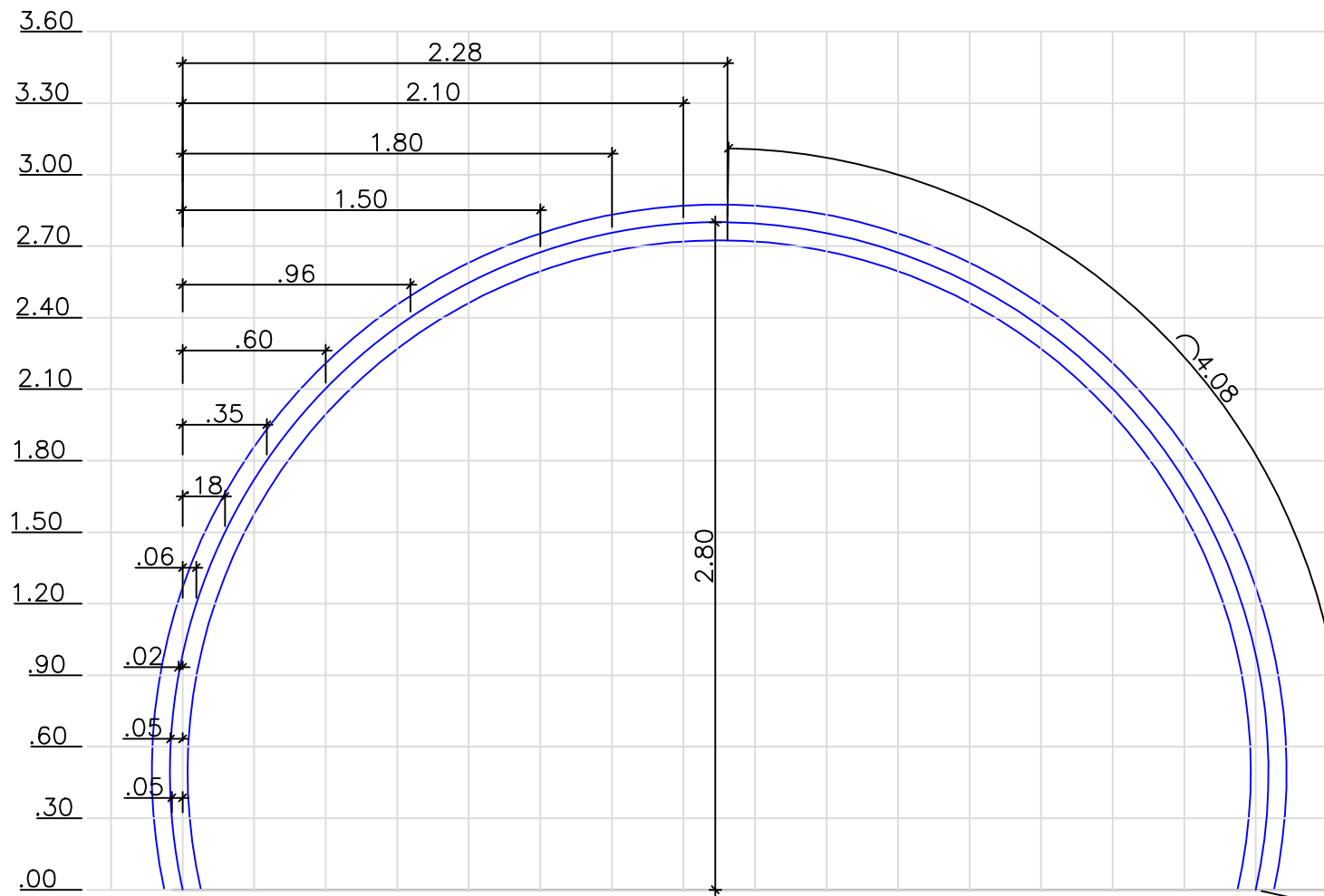
Eng. CLAUDIA NETSUNI S. NATSUDA

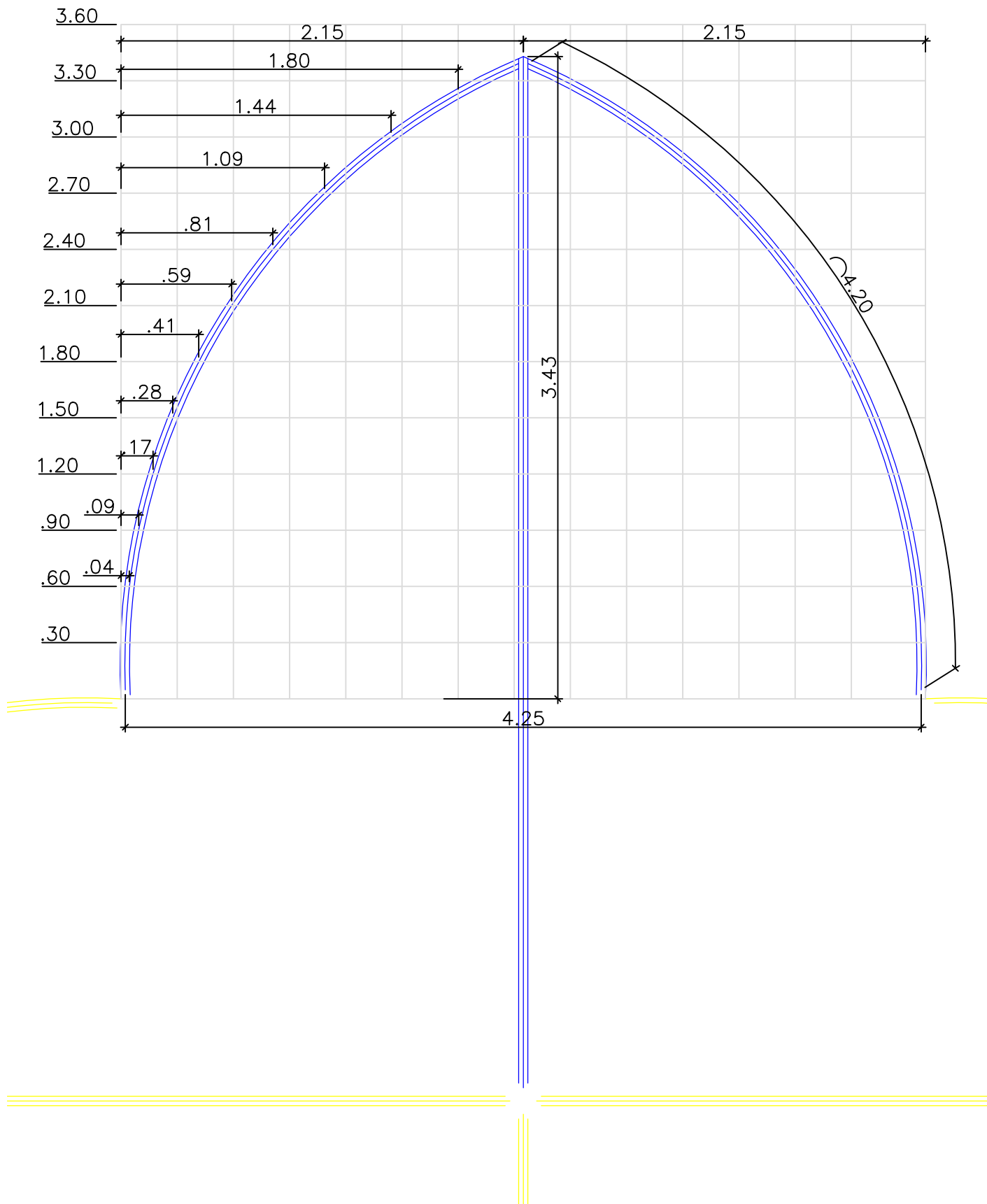
Supervisora Técnica de Laboratório

CREA - 500010844

Este documento tem significação restrita e diz respeito tão somente à amostra ensaiada.
Sua reprodução só poderá ser total e depende da aprovação formal deste laboratório.

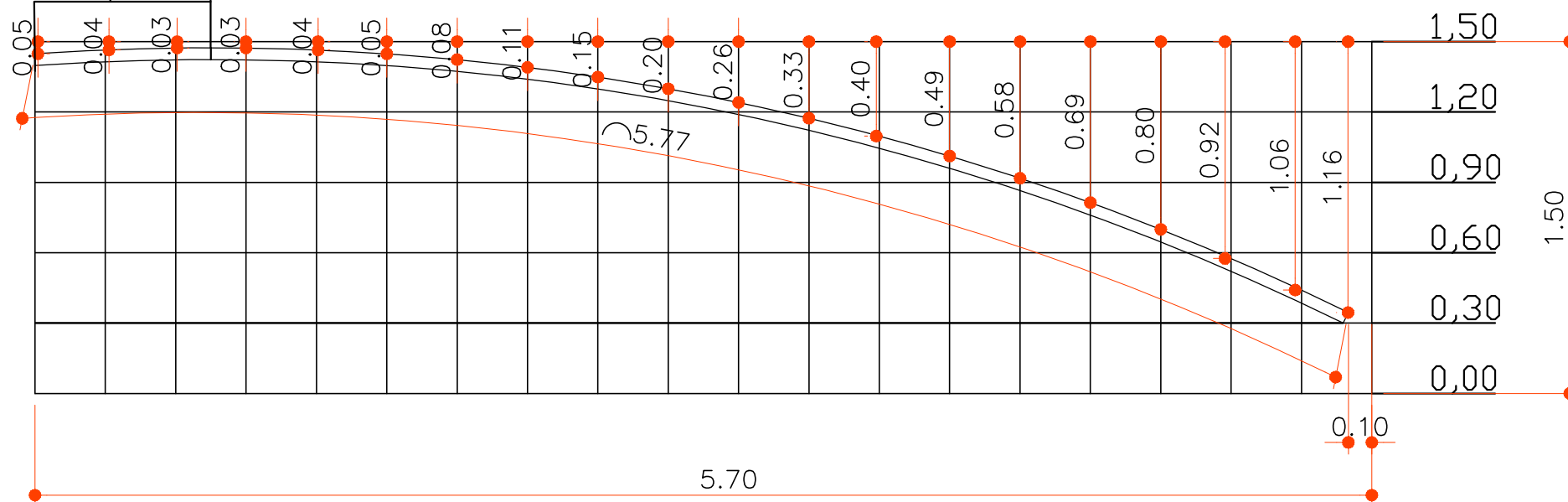


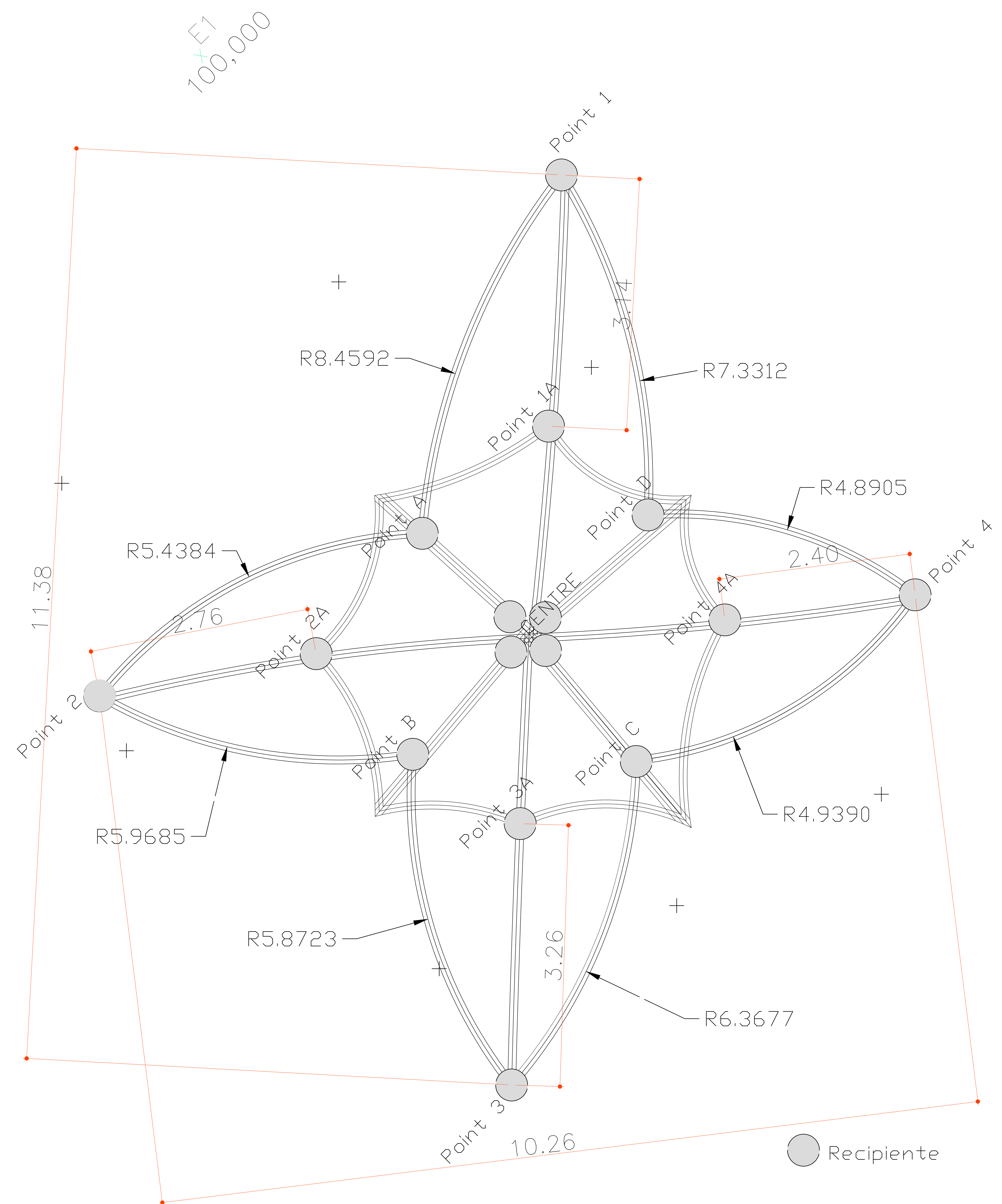
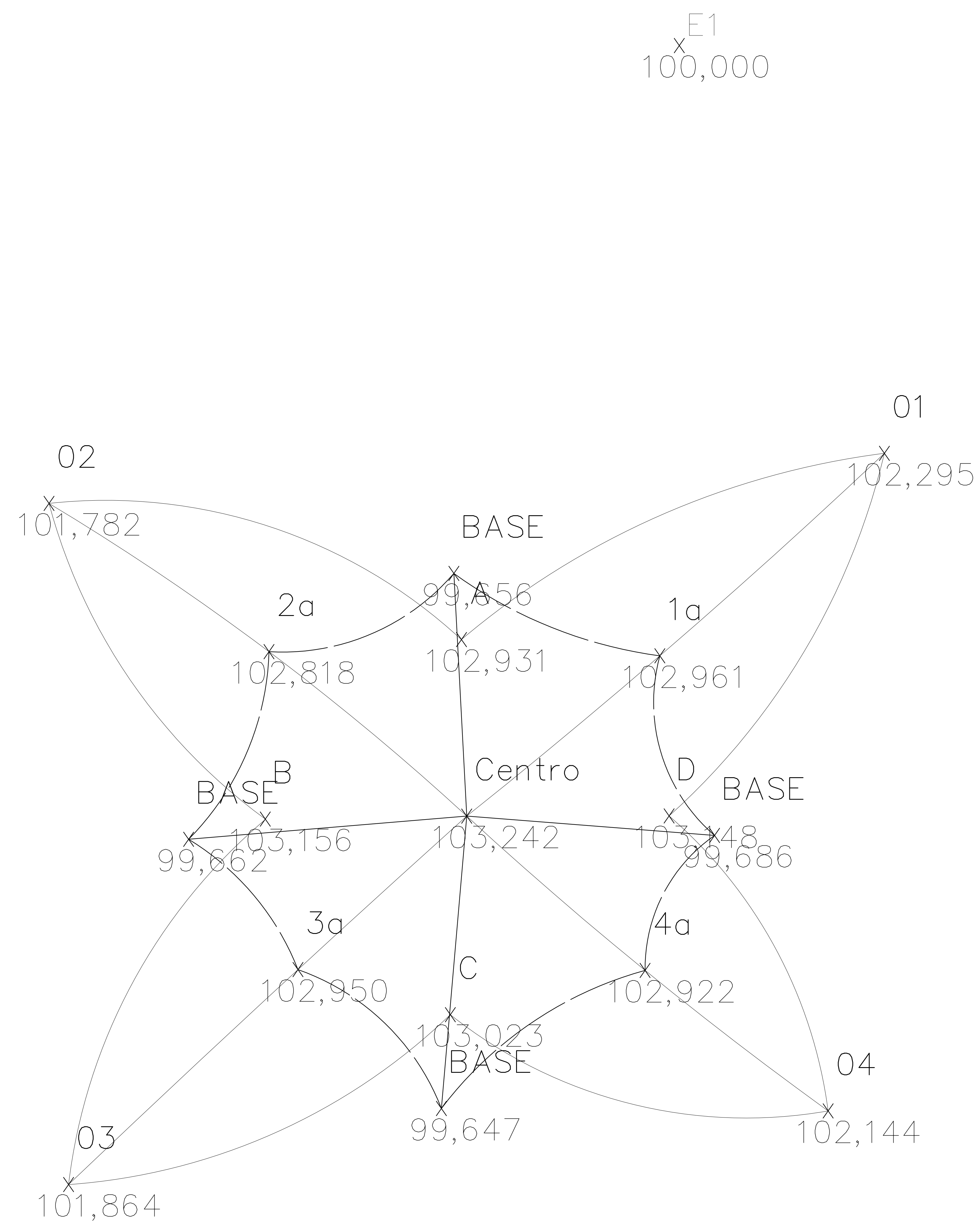




Linha de
transpasse

centro da
peça





Projeto: Bambu Arte_ LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO
 Autor do Projeto: Gislaine Bianchi
 Data: 08/11/2020 Folha: Única