

UNIVERSIDADE SANTA CECÍLIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA
MESTRADO EM ENGENHARIA MECÂNICA

GREICE HELLEN DE NOVAES BARBALHO

**ANÁLISE DAS CARACTERÍSTICAS MECÂNICAS DO BAMBU COMO
POSSÍVEL ALTERNATIVA NA CONSTRUÇÃO CIVIL: FONTE LIMPA E
RENOVÁVEL.**

SANTOS/SP

2019

GREICE HELLEN DE NOVAES BARBALHO

**ANÁLISE DAS CARACTERÍSTICAS MECÂNICAS DO BAMBU COMO
POSSÍVEL ALTERNATIVA NA CONSTRUÇÃO CIVIL: FONTE LIMPA E
RENOVÁVEL.**

Dissertação apresentada a Universidade Santa Cecília como parte dos requisitos para obtenção de título de mestre no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, sob a orientação da Prof. Dr. Emmanuelle Sá Freitas Feitosa e coorientação do Prof. Dr. Juarez Ramos da Silva.

SANTOS/SP

2019

Autorizo a reprodução parcial ou total deste trabalho, por qualquer que seja o processo, exclusivamente para fins acadêmicos e científicos.

Barbalho, Greice.

ANÁLISE DAS CARACTERÍSTICAS MECÂNICAS DO BAMBU COMO ALTERNATIVA NA CONSTRUÇÃO CIVIL: FONTE LIMPA E RENOVÁVEL.

Greice Barbalho. - 2019

n.páginas

119 p.

Orientadora: Prof. Dr. Emmanuelle Sá Freitas Feitosa

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Santa Cecília, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Santos, SP, 20xx.

1. Bambu. 2. Aço. 3. Concreto. 4. Resistência Mecânica.
5. Fonte limpa e renovável.

I. Feitosa, Emmanuelle. II. Ramos, Juarez. ANÁLISE DAS CARACTERÍSTICAS MECÂNICAS DO BAMBU COMO POSSÍVEL ALTERNATIVA NA CONSTRUÇÃO CIVIL: Fonte limpa e renovável.

Elaborada pelo SIBi – Sistema Integrado de Bibliotecas – Unisanta

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho ao grande amor da minha vida por todo incentivo, sempre me apoiou de diversas maneiras durante esta importante etapa de minha vida.

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer a todos que em momentos serenos e ou apreensivos fizeram ou fazem parte da minha vida, por isso agradeço de coração à todas as pessoas que me cercam.

Não poderia deixar de reconhecer a minha família, em especial minha mãe e meu pai, pelo esforço e dedicação durante meu desenvolvimento.

Agradeço aos meus irmãos, pela paciência ao longo dessa dissertação.

Agradecimentos a minha orientadora Emmanuelle Freitas, pela oportunidade de aprender recursos acadêmicos e profissionais.

Agradeço ao coorientador Dr. Juarez Ramos que esteve sempre ao meu lado, contribuindo nas pesquisas e incentivando para o sucesso desta.

Agradeço a honra de ter conhecido pessoas maravilhosas durante esta jornada, os amigos verdadeiros que ficarão sempre no coração e aos professores (as) que me fizeram acreditar na educação e na vida acadêmica como profissão.

E por fim, porém não menos importante, agradeço a Deus, por proporcionar a possibilidade de concluir mais esta etapa em minha vida.

RESUMO

Com a Revolução Industrial, houve uma transformação mundial que modificou a relação entre o homem e a natureza. Os danos gerados pelas atividades industriais e humanas, trouxeram consequências ao planeta Terra, e assim a degradação do meio ambiente se tornou crescente e acelerada. Atualmente as siderúrgicas e indústrias de cimentos contemporâneas, trazem a emissão desenfreada de gases do efeito estufa (GEEs), como o dióxido de carbono (CO₂). Analisando a problemática registrada, o emprego do bambu nos diversos campos da Engenharia, pode cooperar sendo uma alternativa viável, pois é um material renovável, com baixo custo de produção, fonte limpa de construção e contribui com o desenvolvimento sustentável do planeta. Neste estudo, busca-se em primeira ordem, compreender o comportamento físico-mecânico desta planta, e em segunda ordem examinar a resistência mecânica, que é a principal propriedade analisada no concreto e aço na estrutura. Para tanto, a resistência à compressão simples foi avaliada em corpos de prova (CPs) moldados, para observação dos modos de rupturas e tensões. Foram verificados, também, requisitos para avaliar o desempenho construtivo, e assim delimitar a segurança estrutural portante de corpos de prova. Desta forma, este estudo visa expor os pontos negativos e positivos da edificação contemporânea utilizando o bambu, como meio de potencializar e corrigir seu comportamento mecânico, através da criação de metodologias de referência, que possibilitem o bambu tornar-se um material com potencial para a substituição de pilares convencionais, construídos com concreto e aço, por pilares confeccionados totalmente de bambu ou parcialmente de concreto e bambu, como fonte limpa e renovável de construção.

Palavras-Chave: Bambu; Aço; Concreto; Resistência Mecânica; Fonte limpa e renovável.

ABSTRACT

With the Industrial Revolution, there has been a transformation in the world that has modified the relationship between man and nature. The damage generated by industrial activities and human, brought consequences to the planet Earth, and thus the degradation of the environment became a growing and fast. Currently the steel mills and industries of cement, contemporary, bring the issuance of unrestrained greenhouse gas emissions (GHGs), like carbon dioxide (CD₂). Analyzing the problem logged, the employment of bamboo in the various fields of Engineering can cooperate by being a viable alternative, since it is a renewable material, with low production cost, clean source of construction and contributes to the sustainable development of the planet. In this study, the search in the first order, to understand the behavior of physical-mechanical of this plant, and in second order to examine the mechanical strength, which is the main property considered in the concrete and steel in the structure. For both, the resistance to compression simple was evaluated in bodies of evidence (BEs) molded, for the observation of modes of failures and tensions. Have been verified, also, requirements for assessing the performance of construction, and thus delimit the structural safety of a self-standing body of evidence. In this way, this study seeks to expose the negative points and positive of building up contemporary using the bamboo, as a means to enhance and correct your mechanical behavior, through the creation of methodologies of reference, which allow the bamboo to make a material with the potential for the replacement of the pillars of conventional, constructed with concrete and steel, by pillars made entirely of bamboo or partially of concrete and bamboo, as a source of clean and renewable construction.

Keywords: Bamboo; Steel; Concrete; Mechanical resistance; Clean and renewable source.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Emissão de CO ₂ por indústria.....	22
Figura 2 - Pilar com concreto e aço.	23
Figura 3 - Dispersão de CO ₂ na atmosfera com a produção do aço.....	24
Figura 4 – Distribuição de bambu pelo mundo.	26
Figura 5 - Catedral de Pereira na Colômbia	27
Figura 6 - Estacionamento confeccionado de bambu na Alemanha.....	27
Figura 7 - Cafeteria construída com bambu no Vietnã.....	28
Figura 8 - Centro cultural no Brasil construído com bambu.	28
Figura 9 - Aeroporto na Espanha com bambu empregado.	29
Figura 10 - Nomes técnicos das partes do bambu.	29
Figura 11 – Ensaio no segundo corpo de prova.....	31
Figura 12 - Limite plástico do bambu em ensaio de fibra.....	31
Figura 13 - Estudo comparativo de materiais.	36
Figura 14 - Parte interna do bambu.	37
Figura 15 - Os três gêneros de bambu utilizados em obras no mundo.	38
Figura 16 - Modelagem da vara para confeccionar os corpos de prova.....	39
Figura 17 - Corpos de Prova. (a) Vista superior. (b) Vista Longitudinal.	39
Figura 18 – Processamento da ripa de bambu.....	40
Figura 19 - Preparação da ripa de bambu Mosô, para os corpos de prova.	41
Figura 20 - Preparação do bambu Aurea cilíndrico, para os corpos de prova.	41
Figura 21 – Bambu em processo de exsudação.	42
Figura 22 - Aplicação da Resina Vegetal de Mamona. (a) Processo de aplicação da resina nos CPs. (b) Armazenamento e espera do tempo de secagem dos CPs.	43
Figura 23 - Pesagem dos corpos de prova: (a) Sem a resina vegetal de mamona. (b) Com a resina vegetal de Mamona.	44
Figura 24 - Preparação de corpos de prova para ensaios de compressão axial.	45
Figura 25 - Espaçador de plástico.	46
Figura 26 - Traço do concreto.....	47
Figura 27 – Seleção de materiais utilizados no concreto dos CP: (a) Copo medidor para água. (b) Quantidade de pedrisco utilizado. (c) Quantidade de areia utilizada. (d) Quantidade de cimento utilizado.....	47
Figura 28 - <i>Slump test</i> para análise da consistência do concreto fresco.....	49
Figura 29 – Influencia da Vibração no concreto.	49
Figura 30 - Aplicação de óleo mineral na forma cilíndrica.	50
Figura 31 – Controle dos espaçamentos dos Corpos de Prova: (a) Espaçamento de 2,5 mm	

do bambu em forma cilíndrica. (b) Espaçamento do aço CA 50 em 2,5 mm. (c) Espaçamento de 2,5 mm do bambu em forma de ripa.....	50
Figura 32 – Tanque de cura por imersão.....	51
Figura 33 - Ensaio de compressão axial.....	52
Figura 34 - Corpos de Prova em ripa após imersão em água por 96 horas.....	54
Figura 35 - Comparativo entre peso seco e peso após a imersão dos CPs sem resina vegetal.	54
Figura 36 - Comparativo entre peso seco e peso após a imersão dos CPs com resina vegetal.	55
Figura 37 - Corpos de Prova após a finalização dos ensaios de compressões axiais: (a) Primeiro, (b) Segundo, (c) Terceiro, (d) Quarto, (e) Quinto, (f) Sexto CP ensaiado.....	56
Figura 38 - Gráfico comparativo de compressão em CPs sem concreto.	57
Figura 39 - Rupturas nos CPs de bambu Mosô. (a) Ruptura paralela às fibras. (b) Rompimento total do diafragma do bambu, próximo ao nó.	58
Figura 40 - Curva de Gauss.....	60
Figura 41 - Curvas de Gauss do concreto padrão em comparação com o concreto que possui estruturas internas de ripa de bambu.	60
Figura 42 - Curvas de Gauss do concreto padrão em comparação com o concreto que possui estruturas internas de bambu cilíndrico.	61
Figura 43 - Curvas de Gauss do concreto padrão em comparação com o concreto que possui estruturas internas de aço CA 50.....	62
Figura 44 - Curvas de Gauss do concreto padrão em comparação com o concreto que possui estruturas internas de ripas de bambu impermeabilizadas.....	63
Figura 45 - Esboço dos tipos de ruptura: (a) Cônica, (b) Cônica e bipartida, (c) Cônica e cisalhada, (d) Cisalhada e (e) Colunar.	72
Figura 46 - Tipos de rupturas nos corpos de prova. (a) Cônica e cisalhada no CP. (b) Cônica no CP. (c) Cônica e bipartida no CP. (d) Colunar no CP. (e) Cônica e bipartida no CP. (f) Cisalhada.....	72
Figura 47 - Corpo de prova ensaiado para análise interna do comportamento da ripa de bambu. (a) Aspecto geral do CP, (b) Aspecto da superfície das ripas após ensaio (c) O concreto e a aderência das ripas.	73
Figura 48 - Corpos de prova cilíndricos com nó, ensaiados para análise interna: (a) Aderência da estrutura cilíndrica com o concreto. (b) Demonstração da estrutura cilíndrica com nó. (c) Aspecto geral do Concreto com a estrutura de vara após o rompimento.....	74
Figura 49 - Estrutura interna cilíndrica. (a) Bambu cilíndrico antes de ser confinado no concreto, com cor clara e sem umidade. (b) Bambu cilíndrico após ser confinado no concreto, com modificação da coloração e umidade.....	74

Figura 50 - Corpos de prova ensaiados com estruturas internas de aço CA 50: (a) estruturas do aço fixas na abertura do concreto, (b) Aderência perfeita (concreto e aço) e (c) Nervuras do aço e relação de aderência.	75
Figura 51 - Corpos de prova de concreto ensaiados: (a) Ruptura interna no CP de concreto (padrão), (b) Ausencia de vaiaçãõ dimencional (encurtamento) após compressão e (c) O corpo de prova rompeu de cisalhada.	75
Figura 52 - Corpos de prova ensaiados com estruturas internas de ripas de bambu Mosô impermeabilizadas: (a) Aderência dos CPs com o concreto, (b) Fragmentaçãõ dos CPs para observaçãõ interna das ripas e (c) Integridade do concreto combinado as estruturas de ripas.	76
Figura 53 - Curvas de dispersãõ dos corpos de prova com concreto.	77
Figura 54 - Sequência de produçãõ do Bambu.	84
Figura 55 - Composiçãõ do Bambu.	85
Figura 56 - Formato cônica da vara de bambu, selecionada para ensaio de compressãõ.	87
Figura 57 - Modelo de corpo de prova com (Ø) 10 cm.	87
Figura 58 – Ensaio de compressãõ axial no bambu Mosô: (a) Corpo de prova do centro do bambu com nó. (b) Corpo de prova do topo do bambu com nó.	88
Figura 59 - Ensaio de compressãõ axial no bambu Mosô: (c) Corpo de prova da base do bambu com nó. (d) Corpo de prova do centro do bambu sem nó.	88
Figura 60 - Resultados dos ensaios de compressãõ axial.	89
Figura 61 - Pontos de rupturas dos CPs de bambu Mosô: (a) Ruptura no nó interno do bambu. (b) Ruptura nas fibras paralelas do bambu.	89
Figura 62 - Resultados dos ensaios nos CPs de concreto com estruturas de bambu revestidas com resina vegetal de mamona. (a) Primeiro CP rompido. (b) Segundo CP rompido. (c) Terceiro CP rompido. (d) Quarto CP rompido. (e) Quinto CP rompido. (f) Sexto CP rompido.	104
Figura 63 - Projeto da forma de concreto.	105
Figura 64 – As armações prontas.	108
Figura 65 - Espaçamento entre a armaçãõ e a forma.	108
Figura 66 - Apoios da viga.	109
Figura 67 - Rompimento da viga de concreto armada.	110
Figura 68 - Rompimento da viga de concreto gramíneo com vara de bambu.	110
Figura 69 - Rompimento da viga de concreto gramíneo com armaçãõ de bambu.	110
Figura 70 - Exemplificaçãõ da viga com a carga.	111
Figura 71 - Exemplificaçãõ da viga no momento fletor máxímo.	111
Figura 72 - Exemplificaçãõ da viga na cortante.	112
Figura 73 - Exemplificaçãõ da viga com a carga.	112

Figura 74 - Exemplificação da viga no momento fletor máximo.	112
Figura 75 - Exemplificação da viga na cortante.....	113
Figura 76 - Exemplificação da viga com a carga.....	113
Figura 77 - Exemplificação da viga no momento fletor máximo.	113
Figura 78 - Exemplificação da viga na cortante.....	114
Figura 79 - Primeira trinca na armação com ripa de bambu.....	116
Figura 80 - Fibras em processo de rompimento.....	116
Figura 81 - Primeira trinca na armação de aço CA50.	117
Figura 82 - Rompimento do filete de solda.....	117
Figura 83 - Primeira trinca na armação bambu inteiro.	118
Figura 84 - Rompimento na fibra do bambu.....	118

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classe de Agressividade Ambiental (CAA).....	35
Tabela 2 – Dados dos ensaios de compressão em MPa.....	57
Tabela 3 – Resultados dos ensaios de compressão axial nos corpos de prova.....	59
Tabela 4 – Resultado dos corpos de prova confeccionados com concreto.....	70
Tabela 5 - Resultados dos ensaios de compressão axial.....	88
Tabela 6 – Normas de dobramento para aço CA 50 de 6,3mm.....	106
Tabela 7 - Pesos das três vigas.....	109
Tabela 8 - Resultados dos ensaios nas três vigas.....	111
Tabela 9 - Tensão de compressão (σ_c).....	115
Tabela 10 - σ_t Tensão de tracionamento.....	115

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Comparativo energético em MJ/m ³ /MPa.....	33
Quadro 2 - Classe do aço CA 50.....	45
Quadro 3 - Relação de aumento do peso devido a absorção de água.....	53
Quadro 4 - Resultado do fck característico dos corpos de prova com concreto.....	64
Quadro 5 - Propriedades mecânicas do bambu Mosô.....	66
Quadro 6 - Composição do cimento Portland para CP II F32.....	69

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLA

ABCP	–	Associação Brasileira de Cimento <i>Portland</i>
ABNT	–	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CA	–	Concreto Armado
CAA	–	Classe de Agressividade Ambiental
CG	–	Centro de Gravidade
cm	–	Centímetro
CO ₂	–	Dióxido de Carbono
CPs	–	Corpos de Prova
fc	–	Resistência do concreto
fcm	–	Resistência média do concreto
fck	–	Resistência característica do concreto
GEEs	–	Gases do Efeito Estufa
INBAMBU	–	INSTITUTO DO BAMBU
INBAR	–	<i>The Internacional Network on Bamboo and Rattan</i>
IBGE	–	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
m	–	Metro
mm	–	Milímetro
MDF	–	<i>Medium-Density Fiberboard</i>
MJ	–	Mega Joules
MPa	–	Mega Pascal
N	–	Newton
NBR	–	Norma Brasileira
O ₂	–	Oxigênio
ONU	–	Organização das Nações Unidas
PNMCB	–	Política Nacional de Incentivo ao Manejo Sustentado e ao Cultivo do Bambu
PUC RIO	–	Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro
PVA	–	Acetato de Polivinila.
RBC	–	Rede Brasileira de Calibração
SINAPI	–	Sistema Nacional de Pesquisa de Custo e Índices da Construção Civil

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
1.1 Objetivo.....	19
1.2 Objetivos Secundários.....	19
1.3 Justificativa e Relevância do Tema.....	19
1.4 Organização da Dissertação.....	20
1.5 Fundamentação Teórica.....	21
1.6 História do bambu em obras pelo mundo.....	25
1.7 Propriedades mecânicas das fibras do bambu.....	29
2 MATERIAIS E MÉTODOS	38
2.1 Preparação de Corpos de Prova com bambu em forma Cilíndrica Sem Concreto.....	38
2.2 Preparação das estruturas de Bambus em forma de ripas.....	40
2.3 Preparação das estruturas de Bambu em forma cilíndrica.....	41
2.4 Preparação das estruturas de Bambu em forma de Ripas com a aplicação da Resina Vegetal de Mamona.....	42
2.5 Preparação das estruturas de Aço CA 50.....	44
2.6 Preparação do concreto para os Corpos de Prova: bambu, bambu com resina e aço CA 50.....	46
2.7 Preparação dos conjuntos dos CPs (Estrutura + Concreto).....	49
2.8 Ensaio de Compressão axial na Construção Civil.....	52
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	53
3.1 Avaliação das estruturas de Bambus em forma de ripas com aplicação da Resina Vegetal.....	53
3.2 Avaliação mecânica dos corpos de prova com bambu em forma cilíndrica sem concreto.....	55
3.3 Avaliação dos corpos de provas com concreto.....	58
4 CONCLUSÕES	79
4.1 Trabalhos futuros.....	80
5 VERSÃO COMPACTA	81
5.1 Introdução.....	82
5.2 Objetivo.....	83
5.3 Justificativa e Relevância do Tema.....	83
5.4 Histórico do bambu.....	83
5.5 Técnicas para Cultivo do Bambu.....	84
5.6 Características do Bambu.....	85
5.7 Aplicação do bambu na construção civil.....	85
5.8 Materiais e métodos.....	86

5.9 Resultados dos ensaios de compressão axial.....	87
5.10 Discussão sobre os ensaios de compressão.....	89
5.11 Conclusões.....	89
6 REFERÊNCIAS.....	91
APÊNDICE A – DADOS DOS CPS DE CONCRETO	95
APÊNDICE B – ENSAIOS DE RIPAS IMPERMEABILIZADAS	104
APÊNDICE C – ESTUDO EXPERIMENTAL	105

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento econômico desenfreado, juntamente com o aumento do consumo industrial, ocasionou graves impactos ambientais. Enquanto não houver uma mudança drástica nos processos produtivos industriais e siderúrgicos, os danos no meio ambiente se tornarão catastróficos.

As indústrias e siderurgias modernas, ainda estão ligadas à poluição ambiental, principalmente nos processos produtivos do cimento e aço. Em 2018, o consumo aparente nacional do aço, atingiu 20,6 milhões de toneladas, com crescimento de 7,3% durante o mesmo período de 2017, segundo Selmi (2019). Já o cimento avaliado de março 2017 a fevereiro 2018, as vendas acumuladas atingiram 53,7 milhões de toneladas, conforme (SNIC, 2018). Analisando esses números, percebe-se que esses são os dois materiais mais empregados na construção civil brasileira, e por isso a preocupação ambiental perante a sociedade civil, devido aos enormes contingentes de poluição gerados por esses materiais.

O concreto e aço são materiais complementares e, quando aplicados em conjunto atuam para suportar esforços de tração e compressão. A junção desses materiais é nomeado de concreto armado, e quando executado com base na NBR 6118 de 2014, torna-se um material de incomparáveis propriedades, resistindo a esforços de flexo-compressão. Todavia, devido a não renovabilidade do aço e o custo elevado do material, surge a necessidade de buscar outras alternativas para viabilizar uma opção sustentável, de baixo custo, que atenuem as agressões ao meio ambiente.

Dados da Nações Unidas (2008), apontam que a construção civil consome 40% de toda energia mundial, extrai 30% dos materiais do meio natural, gera 25% dos resíduos sólidos, consome 25% da água e ocupa 12% das terras. Quanto às emissões atmosféricas, a construção civil responde por 1/3 do total de emissões de Gases do Efeito Estufa (GEEs) notadamente o (CO₂).

Portanto, torna-se imprescindível que a construção civil busque utilizar matérias-primas, que degradem menos o meio ambiente, e neste sentido o bambu pode ser uma possível alternativa, principalmente na manutenção do planeta.

Bambu é o nome popular dado às plantas da subfamília *Bambusoideae*, pertencentes à família das gramíneas. O bambu apresenta facilidade de adaptação em climas tropicais, segundo Beraldo e Pereira (2016). Essa planta é um recurso renovável, dado que após o corte, sua reprodução é anual e seu desenvolvimento é

contínuo e rápido.

Os benefícios do bambu iniciam-se em sua plantação, uma vez que esta planta dispõe da alta formação de biomassa com o aprisionamento do carbono, este fato lhe gera o título de sequestrador de dióxido de carbono (CO₂), e simultaneamente ocorre a geração de oxigênio (O₂), que é a fonte primária de vida.

A aplicação do bambu como material estrutural, torna-se um desafio para a Engenharia, por falta de dados na literatura, Normas e pesquisas científicas brasileiras. Porém, sua aplicação dá-se nas múltiplas áreas da Engenharia civil, mecânica, agrônoma, ambiental e elétrica, desse modo colaborando com o desenvolvimento socioeconômico justo e equilibrado no Brasil.

O bambu possui as principais características de um material construtivo, sendo leve, versátil, resistente e com excelentes propriedades mecânicas e físicas, o que lhe permite várias maneiras de aplicações.

Grandes obras pelo mundo, indicam que o bambu pode ser aplicado parcial ou totalmente no lugar das barras de aço, madeira e do concreto, pois suas propriedades mecânicas na tração, flexão e compressão são excelentes, em alguns casos (ensaios), sendo superiores sob certas condições.

Considerando o bambu como fonte limpa, renovável e de baixo custo, sendo essa planta uma possível alternativa para o aço e suas implicações ambientais, torna-se evidente que este tema ainda é pouco explorado no cenário brasileiro, quando o mesmo deveria ser analisado como possível saída para problemas relacionados ao meio ambiente. O uso dessa matéria-prima, contribui com a geração de empregos e rendas, bem como corrobora para minimizar a extração exacerbada de insumos naturais e a elevados custos de processamento.

Com base nesse contexto, torna-se imprescindível mais pesquisas sistemáticas envolvendo o bambu, pois somente desse modo é possível propor adequações e aprimoramentos para a utilização. Portanto, este estudo almeja cooperar com a engenharia sustentável, apresentando a possibilidade de substituição de pilares convencionais, construídos com concreto e aço (concreto armado), por pilares confeccionados totalmente de bambu ou parcialmente de concreto e bambu (concreto gramíneo). A propagação desse material, pode contribuir com a redução dos custos na construção civil, atuando com responsabilidade socioambiental e suprindo as características mecânicas do aço, que são necessárias para estruturas complexas. Assim sendo, a viabilidade do emprego do bambu como reforço no

concreto, é ponderada por meio de um acervo de averiguações experimentais no presente estudo.

1.1 Objetivo

Analisar as propriedades estruturais e mecânicas do bambu, verificando sua viabilidade na aplicação, como material alternativo, do concreto armado em pilares na construção civil.

1.2 Objetivos Secundários

Estudo das condições estruturais e acabamento superficial do bambu para utilização em conjunto com o concreto;

Avaliar as propriedades mecânicas do bambu a partir de ensaios de compressão axial, paralela às fibras dos bambus (*Phyllostachys pubescens e aurea*);

Analisar o comportamento do bambu em comparativo com o aço, aplicando-os em pilares de concreto, por meio de corpos de prova moldados;

Divulgar um material com fundamentação teórica que contribua com estudos para reduzir os custos da construção civil, gerando benefícios socioambientais;

Cooperar com dados científicos para a literatura que atenda profissionais da arquitetura, engenharia civil e mecânica.

1.3 Justificativa e Relevância do Tema

A construção civil em todos aspectos, é considerada uma das atividades com maior consumo de insumos naturais e, conseqüentemente geradora de resíduos em no planeta Terra. Com base nessa constatação, faz-se necessário o uso e aplicação de materiais construtivos renováveis, que não agridam o meio ambiente e origem maior equilíbrio aos processos de extração de insumos naturais.

Na construção civil o bambu pode atuar como pilar de sustentação, viga, telhado, tubulação, coluna, treliça, revestimento de paredes, piso, cercas, entre outros, além de ser facilmente aplicado como alternativa ao aço, concreto e a madeira, pois possui excelentes características mecânicas na tração, flexão e compressão.

Analizando o bambu como material construtivo, constatou-se que este ainda é um tema pouco explorado no meio acadêmico brasileiro, sendo necessário um

número maior de ensaios e pesquisas sistemáticas, para o aprimoramento do emprego deste material, e assim estimular pesquisas sobre a aplicação do bambu na construção civil, assim essa Dissertação tem a justificativa de cooperar com a engenharia sustentável, difundindo um material que atua com responsabilidade socioambiental, ao contrário do aço que é amplamente empregado, gerando consequências prejudiciais ao meio ambiente.

1.4 Organização da Dissertação

Na apresentação da temática, é incorporado um breve histórico sobre o bambu e suas características, enfatizando suas propriedades mecânicas, obtidas através dos ensaios de compressões axiais nas fibras. No capítulo 1 são apresentados a introdução, os objetivos do trabalho, a justificativa e relevância do tema. No subcapítulo 1.6 são apresentadas as histórias do bambu, em obras pelo mundo para contextualização. As propriedades mecânicas das fibras do bambu, são demonstradas no subcapítulo 1.7.

O capítulo 2, expõe as metodologias empregadas nos processos, para definição dos materiais e métodos, aplicados ao longo dos ensaios. Então, para continuar a linha condutora os subcapítulos de 2.1 a 2.8, demonstram todos os métodos adotados, para confeccionar os corpos de prova utilizados nos ensaios de compressão axial. O capítulo 3 tem por finalidade expor os resultados obtidos, gerando uma discussão comparativa entre as diferenças de características do aço e bambu, submetendo aos aspectos mais relevantes dessa pesquisa acadêmica.

O capítulo 4, é o fechamento de um ano de pesquisa, onde as conclusões acerca do bambu, são apontadas com critérios e as responsabilidades necessárias em uma Dissertação. O subcapítulo 4.1 aborda algumas sugestões, para futuras pesquisas acadêmicas relacionadas ao bambu.

No capítulo 5 é possível ler uma versão compacta da Dissertação, que foi extraída de um artigo publicado em conjunto com esta pesquisa.

Os apêndices possibilitam a visualização dos dados obtidos, fotografias de resultados e apresenta um estudo experimental, com vigas construídas de concreto e bambu (concreto gramíneo) e concreto e aço (concreto armado).

1.5 Fundamentação Teórica

A história do Brasil passa pelo bambu, por ser um dos materiais mais antigos aplicados nas habitações dos nativos, seu histórico brasileiro nasceu com os índios, na utilização das “taquaras e taquaris”.

A primeira menção à arquitetura no Brasil, encontra-se na expedição de Cabral, citada na carta de Pero Vaz de Caminha ao rei de Portugal, onde especifica-se as comunidades indígenas que encontraram no Brasil, descritas em Braga (2015), como:

Haveria nove ou dez casas, as quais diziam que eram tão compridas cada uma, como esta nau capitânia¹. E eram de madeira, e das ilhargas de tábuas, e cobertas de palha, de razoável altura; e todas de um só espaço, sem repartição alguma, tinham de dentro muitos esteios; e de esteio a esteio uma rede atada com cabos em cada esteio, altas, em que dormiam. E de baixo, para se aquecerem, faziam seus fogos. E tinha cada casa duas portas pequenas, uma numa extremidade, e outra na oposta. E diziam que em cada casa se recolhiam trinta ou quarenta pessoas...

Após o relato contido na carta de Pero Vaz de Caminha, seria adequado dizer que a história da engenharia brasileira, iniciou-se muito antes da chegada dos portugueses ao país.

Com a colonização, o bambu passou a ser utilizado de modo estrutural, nomeado pelos colonizadores de taipa de mão, popularmente conhecido como pau-a-pique. Porém seu uso já era milenar no Oriente, notadamente na China e Japão, no Ocidente em países como o Equador, Peru e a Colômbia.

O bambu por ser uma matéria-prima renovável, possui grande desempenho no desenvolvimento sustentável, e considerando a crescente demanda por utilização de recursos naturais renováveis na construção civil, surgem as buscas por novos sistemas ecológicos. Adams (1997), afirma que a variedade de usos do bambu, a facilidade de integração entre plantio, corte, transporte, manuseio e resistência deste material, o têm levado a diversos segmentos sociais e econômicos, sendo possível considerá-lo a madeira do século XXI.

Ao analisar o cenário atual da construção civil brasileira, o aço é o material mais aplicado em obras. Sendo este, um dos grandes vilões do século atual, em quesito de poluição atmosférica, pois ao observar os setores industriais responsáveis pelos

¹ É a réplica de uma caravela portuguesa do século XV

fragmentos mais significativos, nas emissões dos GEEs, tem-se que as indústrias de ferro-gusa e aço, são as líderes na emissão desenfreada do dióxido de carbono, como expressa a Figura 1.

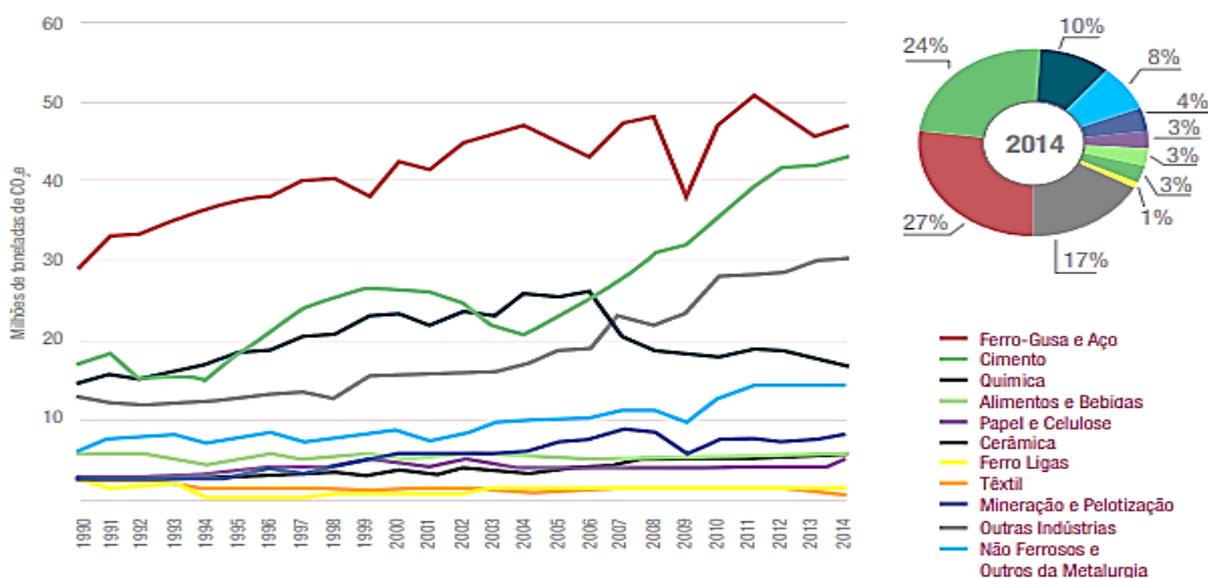


Figura 1 - Emissão de CO₂ por indústria.

Fonte: (FERREIRA, 2016).

As emissões de GEEs nas siderurgias, sucedem-se do processo produtivo de todos os tipos de aço e ferro, desde a redução química do minério de ferro, onde na maioria das vezes seu processamento primário ocorre em alto forno.

O aço é amplamente utilizado na engenharia civil e mecânica. Na construção civil, por exemplo, sua aplicação dá-se em pilares mistos aço-concreto. A edificação dos pilares, é uma das etapas fundamentais em um projeto estrutural, pois a má disposição dos pilares ou o mau dimensionamento destes fundamentos, podem acarretar distintos problemas, como por exemplo, aumento no custo da estrutura.

O pilar é um elemento estrutural vertical, habitualmente empregado para suportar tensões de compressões verticais em uma edificação, e para isso este componente precisa possuir resistência, com a finalidade de sustentar e transferir as cargas para a fundação ou outros elementos de apoio. Desse modo, o bambu surge como possível alternativa de substituição dos pilares convencionais, construídos de concreto e aço (concreto armado), por pilares confeccionados totalmente de bambu ou parcial de concreto e bambu (concreto gramíneo).

A construção de residências e edifícios necessitam de pilares ou colunas, de modo a garantir a estabilidade global dessas edificações, sendo este responsável pelas ações horizontais e principalmente as verticais. Para edificar um pilar, usa-se em abundância a mistura de concreto e aço, conforme demonstra a Figura 2.

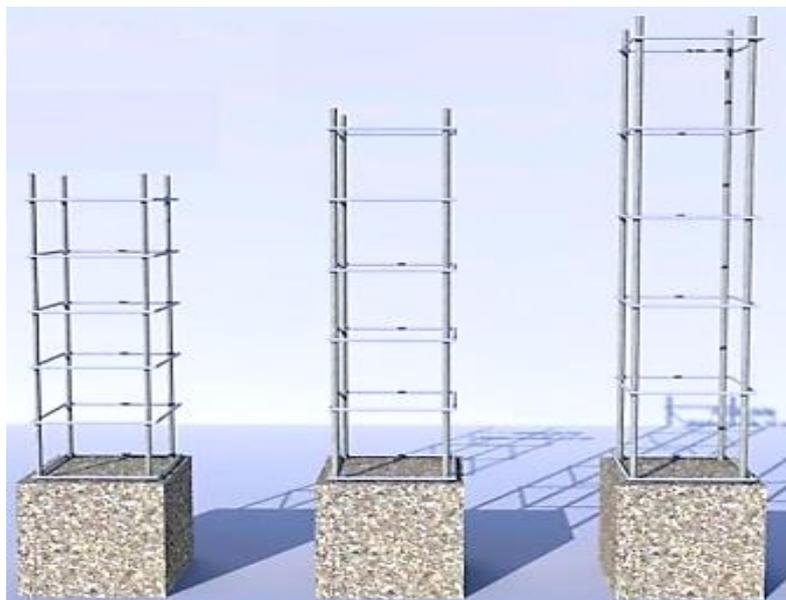


Figura 2 - Pilar com concreto e aço.

Adaptado

Fonte: (BRAGA, 2006).

O uso e aplicação do pilar misto de aço-concreto, colabora para com o aumento das emissões dos GEEs, danos ambientais e outras mazelas originadas pelo emprego do aço na construção civil.

Analisando a problemática ambiental originada pelos materiais mais empregados na construção civil, o desenvolvimento de novos processos e tecnologias construtivas, que visem a racionalização na construção civil brasileira, empregando elementos naturais, sobretudo em sistemas estruturais, mas que proporcionem a mesma eficácia e minimizem os danos ambientais.

Dados extraídos da Agenda 21 Brasileira (2010), apontam que o aço emite 1,2 t de CO₂ por tonelada produzida, em 1m³ de aço estão presentes 7,85 t. Segundo Ferreira (2016), na produção física de 20 toneladas de aço, dispersou-se cerca de 30 toneladas de CO₂ na atmosfera, durante seu processamento em 1990, como ilustra a Figura 3.



Figura 3 - Dispersão de CO₂ na atmosfera com a produção do aço.

Fonte: (FERREIRA, 2016).

Ao observar a Figura 3, analisando os anos de 1990 e 2014, é possível considerar que a emissão de CO₂ nos últimos anos quase dobrou. Se mantiver essa linha de tendência para os próximos anos, esse valor poderá novamente ser duplicado, pois não existem ações voltadas para mitigação dessa problemática na siderurgia brasileira e, conseqüentemente essas atividades continuam a gerar impactos negativos, para as gerações futuras.

Uma possível saída para o conjunto de problemas citados nos processos de produção do aço, seria a minimização de seu uso nas pequenas construções brasileiras, substituindo-o por alternativas viáveis, como por exemplo, os materiais naturais que não agridem o meio ambiente e minimizem os impactos já ocasionados. Nesse quesito ressurge o bambu, que vêm crescendo fortemente e contribui com a redução dos GEEs. Segundo Riscala (2010), o bambu gera mais O₂ que o equivalente a 3 árvores. Algumas espécies de bambu chegam a absorver mais de 12 toneladas/hectare de CO₂ da atmosfera, e é a planta que possui a maior taxa de crescimento da Terra. Assim sendo, é possível considerar que a contribuição do bambu, para com as gerações futuras atingem enormes contingentes, e por isso merece a oportunidade de aplicação na construção civil.

Greco (2011), afirma que o bambu é considerado um recurso sustentável e renovável, devido à alta capacidade de geração anual de novos brotos e à promoção da ciclagem de nutrientes. Desse modo o bambu pode suprir a não renovabilidade do aço, porque é uma planta que apresenta resistência mecânica, e essa característica pode ser aperfeiçoada com mais estudos sistemáticos sobre esse material. Segundo

Beraldo e Pereira (2016), muitos técnicos desconhecem as propriedades do bambu, e essa é uma das dificuldades encontradas para disseminação do bambu como um material de construção civil.

Para os autores já citados, a sustentabilidade é o fio condutor para uma melhoria no meio ambiente, sendo que essa pode ser proporcionada ao aplicar o bambu em obras. Entretanto, para Beraldo e Pereira (2016), a maior dificuldade da disseminação do bambu, trata-se do não conhecimento de suas propriedades. Sendo esse empecilho um grande desafio, pois ainda não existe uma Norma Brasileira (NBR) na Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), para o uso e a aplicação do bambu.

Com base nas abordagens conceituais, o campo da engenharia civil preocupa-se em construir e entregar a obra no prazo, não observando os aniquilamentos demasiados, provenientes da aplicação do aço. Mesmo considerando as eventuais divergências de conceitos, atualmente não se pode mais desconsiderar as novas metodologias construtivas, principalmente as que colaboram com a mitigação dos danos ambientais.

1.6 História do bambu em obras pelo mundo

Analisando a classificação botânica, as plantas são desmembradas progressivamente em família, subfamília e outras categorias até se aproximar da espécie e gênero estudado. Segundo Delgado (2011), o bambu pertence à subfamília *Bambusoideae* e é da família das gramíneas, denominada *Poaceae* ou *Gramineae*, desse modo o bambu é do mesmo grupo familiar do trigo, arroz e da grama.

Existem aproximadamente entre 70 - 80 gêneros, compreendendo cerca de 1.250 espécies diferentes de bambu, Beraldo e Pereira (2016).

As predominâncias climáticas brasileiras, são fundamentais para desenvolvimento do bambu, seu crescimento é mais rápido se comparado com o eucalipto e pinheiro. As espécies encontradas no Brasil são nativas (naturais dos territórios brasileiros) e não-nativas (surgiram durante a colonização portuguesa), porém apresentaram excelente adaptação e comportam-se como nativas.

Matérias-primas como o bambu não são poluentes, pois em seu beneficiamento quase não há consumo de energia e oxigênio. Por ser uma planta, ao findar a vida útil e ser descartada na natureza, irá se decompor sem deixar resíduos.

Atualmente o bambu é tradição nas culturas asiáticas, principalmente em países como Japão, China e Indonésia, enquanto que na América Central e do Sul é muito comum em países emergentes como o Equador e a Colômbia. Muito embora, o Brasil seja o país detentor da maior floresta natural de bambus, culturalmente é considerado um material sem muito valor econômico e social, geralmente é visto como uma matéria-prima inferior, com esta opinião antecipada e preconcebida, pouco se explora esse material ecológico em solos nacionais.

As maiores concentrações das gramíneas, estão nas Américas. O Brasil possui uma vasta plantação de bambu, conforme a Figura 4.



Figura 4 – Distribuição de bambu pelo mundo.

Fonte: (LÓPEZ, 2003).

Nas últimas décadas, houve uma intensificação em relação à busca por equipamentos, materiais e técnicas, que colaborem com a diminuição da habitação popular, assim nasce a necessidade de empregar materiais compatíveis com a marca valorativa da sustentabilidade. Com isso, surge a necessidade de novas concepções sustentáveis e ecológicas, que se preocupam com o construído hoje, para não afetar o futuro. Desse modo, percebe-se o aumento da empregabilidade e aplicação do bambu em grandes construções evidenciadas no Equador, Índia, Colômbia, China, entre outros países.

As engenharias de alguns países, redescobriram o bambu desde o século XX, e o reempregaram em grandes e modernas obras privadas e públicas.

Na Colômbia uma das obras mais conhecidas, é a Catedral de Pereira, em que a estrutura interna possui peças de madeira sustentando o teto. As estruturas internas e externas da Catedral, foram construídas com bambu, conforme a Figura 5.

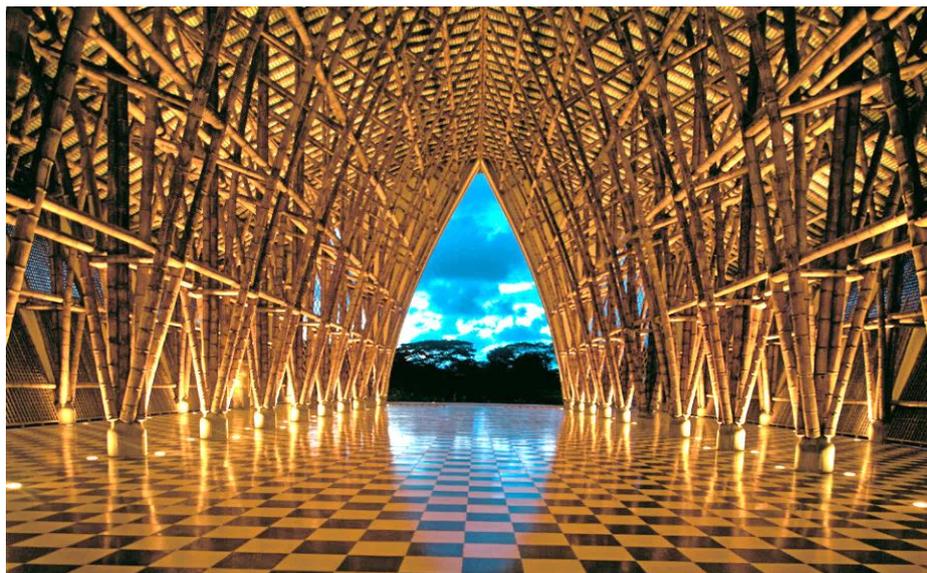


Figura 5 - Catedral de Pereira na Colômbia
Fonte: (VÉLEZ, 2000).

Mesmo a Alemanha não possuindo clima tropical ou subtropical que o bambu necessita para ser cultivado, ainda sim o país possui uma grande obra com essa matéria-prima. O bambu foi importado para essa obra, e assim construiu-se a estrutura do estacionamento em *Leipzig*. Segundo Marques (2017), as varas possuem diâmetros entre 0,10 e 0,12 m e são separadas por um espaçamento de 0,075 m, o que possibilita a ventilação do interior, conforme demonstra a Figura 6.



Figura 6 - Estacionamento confeccionado de bambu na Alemanha.
Fonte: (MARQUES, 2017).

No Vietnã, é possível encontrar a famosa cafeteria *Kontum Indochine*, que é uma edificação emoldurada pelos arcos de bambu. Essa estrutura por ser aberta, eleva ao máximo o fluxo de vento dentro do edifício. Segundo Delgado (2011), a

cafeteria é composta por 15 colunas cônicas, que possuem pé direito de 3 m, totalmente construídas de bambu, conforme demonstra a Figura 7.



Figura 7 - Cafeteria construída com bambu no Vietnã.

Fonte: (OKI, 2013).

No Brasil essa concepção estrutural iniciou em 2008, com a construção do Centro Cultural, localizado em Pardiniho - São Paulo. Segundo Motomura (2009), a cobertura possui cerca de 800 m² e foi edificada com quase 1.300 colmos da espécie *Guadua*, conforme demonstra a Figura 8.



Figura 8 - Centro cultural no Brasil construído com bambu.

Fonte: (MOTOMURA, 2009).

Na Espanha uma das obras mais fantásticas está no terminal 4, do Aeroporto Internacional de Barajas, em Madri. A cobertura curvilínea é construída com aço,

alumínio e bambu. Segundo Camacho (2007), o material natural anula a robustez do aço e proporciona uma atmosfera diferente, conforme demonstra a Figura 9.



Figura 9 - Aeroporto na Espanha com bambu empregado.
Fonte: (CAMACHO, 2007).

1.7 Propriedades mecânicas das fibras do bambu

É necessário conhecer alguns detalhes da planta bambu, principalmente os nomes botânicos das partes que compõem essa gramínea como um todo, com a isso a Figura 10, possui a síntese de esclarecer as partes físicas do bambu desde a raiz até a folhagem.

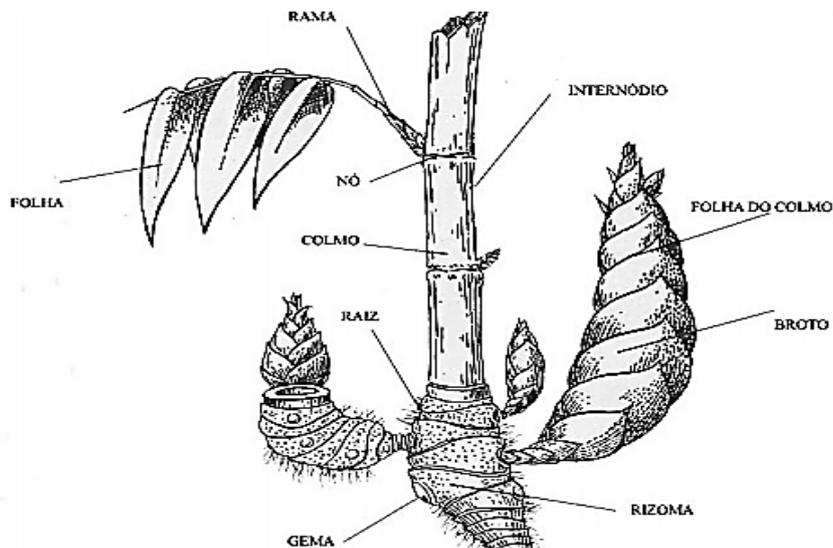


Figura 10 - Nomes técnicos das partes do bambu.
Fonte: (MORAIS, 2011).

- Rama: A função principal é servir de suporte às folhas, por ser fina e resistente é utilizada como corda, que muitas vezes serve para unir um bambu ao outro, funciona como um cipó, Liese (1998);
- Nó: O nó do bambu não é parte mais forte da planta e sim a mais frágil, devido o diafragma que se forma na parte interna, Ballesté (2017);
- Internódio ou internó: É a parte abrange maior quantidade de fibras paralelas em um bambu, esse elemento da planta possui muita flexibilidade, (LÓPEZ, 2003);
- Folha: Há séculos o chá de bambu compõe a medicina chinesa, pois o mesmo contém propriedades ricas e necessárias ao ser humano;
- Colmo ou vara: Segundo Castaño (2004), é a parte mais comercial e economicamente a mais rentável, seu uso depende da sua idade. É o componente que possui maior resistência física e mecânica;
- Broto: É um dos alimentos que o bambu proporciona. Até os 6 meses é possível retirar o broto para fazer alimentos, seu sabor assemelha-se ao palmito, (BERALDO E PEREIRA, 2016);
- Folha do colmo: É muito utilizada em artesanatos, sua principal função é a proteção do broto;
- Rizoma: São caules que crescem, reproduzem e afastam-se do bambu, permitindo a colonização de um novo território, (MORAIS, 2011);
- Gema: São estruturas identificadoras do bambu e podem ser utilizadas para a propagação da espécie, através de cultivo dos tecidos vegetais *in vitro*, Cruz, (2009);
- Raiz: As raízes crescem dos anéis dos rizomas, são finas e encarregadas de capturar água e nutrientes do solo, Giraldo e Sabogal, (2005).

O bambu é considerado a madeira do futuro, que irá inovar e surpreender a engenharia brasileira. É uma matéria-prima que se aproveita 100%, desde a raiz até as folhas, e suas sobras podem ser transformadas em carvão ativado, segundo Morais (2011).

No desempenho mecânico de qualquer material, considera-se a correlação entre seu retorno à uma (força/carga) aplicada ou deformação. Para resistir a esse

esforço, é essencial que o material analisado possua resistência mecânica, ductilidade, rigidez e dureza.

Segundo Ghavami (2000), as principais resistências mecânicas do bambu, estão na tração e flexão, atingindo níveis satisfatórios na compressão axial. A flexão estática é a propriedade mecânica que se refere à variação da madeira, quando submetida a uma força tangencial. O limite elástico causa apenas deformações elásticas, ou seja, reversíveis, a partir desse ponto as deformações passam a ser plásticas (irreversíveis), Moreschi (2010), conforme a Figura 11 exemplifica.



Figura 11 – Ensaio no segundo corpo de prova.
Fonte: (BARBALHO, 2018).

Na fase do limite plástico o material sofre uma deformação permanente, ou seja, não é possível recuperar sua forma original, após a retirada das cargas. Conforme demonstra a Figura 12 no ensaio de flexão da fibra do bambu.



Figura 12 - Limite plástico do bambu em ensaio de fibra.
Fonte: (BARBALHO, 2018).

O bambu proporciona uma rigidez aceitável para o emprego em estruturas primárias e secundárias, como por exemplo em treliças e vigas, de acordo com Delgado (2011).

A engenharia civil emprega diversos elementos construtivos, e a cada dia novos meios são inseridos nas obras. Alguns deles são usados em larga escala, como o aço, concreto e a madeira.

Atualmente, existem outros materiais sendo explorados e pesquisados em estruturas pelo mundo, pois considera-se que os elementos mais usuais sofrem um processo de extração, originando a degradação do meio ambiente em sua aquisição, bem como gerando um gasto energético muito elevado.

Atualmente torna-se indispensável a implantação de tecnologias com baixo consumo de energia, de forma que ocorra a renovação dos materiais naturais.

O baixo consumo de energia na produção do bambu, a abundância desta matéria-prima nas florestas brasileiras e o baixo custo, qualificam essa planta como um material promissor, pois evita-se a demasiada poluição, conservando os recursos naturais.

O bambu apresenta baixo consumo de energia em sua produção, pois o aço consome 50 vezes mais energia que o bambu, para resistir a uma mesma tensão, Delgado (2011).

Baseando-se nos principais fatores para a inclusão deste material alternativo no meio construtivo, o consumo energético é um aspecto muito importante a ser considerado.

Ghavami (2000), afirma que a aplicação do bambu gera a minimização do consumo de energia, conservação dos recursos naturais, redução da poluição e manutenção de um ambiente saudável.

López (2003), apresenta um estudo comparativo da energia necessária, para a produção dos materiais mais empregados na construção civil, analisando suas tensões de compressão utilizadas em cálculos estruturais. A metodologia adotada nos ensaios realizados por López, analisou a produção de 1 m³ de unidade de tensão do aço, bambu, concreto e da madeira. Os resultados alcançados pelo autor, originou um comparativo energético em MJ/m³/MPa, e são expressos no Quadro 1.

Quadro 1 - Comparativo energético em MJ/m³/MPa.

MATERIAL	GASTO ENERGÉTICO (MJ/m³/MPa)
BAMBU	30
MADEIRA	80
CONCRETO	240
AÇO	1500

Adaptado
Fonte: (LOPEZ, 2003).

Avaliando a economia de energia apresentada no beneficiamento do bambu, sua aplicação em estruturas reduzem os gastos com dispêndio de energia, tornando-se uma alternativa viável para a diminuição desse consumo no Brasil. Com essa vantagem competitiva, o grau de viabilidade econômica e ambiental crescem, quando o compara aos materiais mais aplicados nas engenharias e obras brasileiras.

Os países orientais atestam com suas magníficas construções, que a execução adequada do bambu em obras de grande porte, detém predicados positivos quanto às resistências mecânicas do material e ao peso próprio da estrutura. Essas particularidades deveriam ser suficientes para construção civil brasileira, observar melhor esse sistema construtivo, entretanto existem outros atributos como a simplicidade de transporte, excelente trabalhabilidade do material, bem como o inigualável encanto estético. Assim essas características, podem fazer com que esse material ingresse no mercado da construção civil brasileira, de modo expressivo e principalmente sustentável.

Percebe-se, que a construção civil atual, está em fase de transformação, visando novas técnicas construtivas. Esses novos elementos construtivos, possuem o objetivo de suprir a necessidade do proprietário da construção, e conseqüentemente do meio ambiente.

As atividades desempenhadas pelas áreas da engenharia, priorizam a segurança, resistência e durabilidade, mas com a crescente necessidade ambiental de construções sustentáveis, a prioridade a nível mundial tem-se voltado a materiais renováveis.

Antes de determinar o material construtivo para uma estrutura, é preciso conhecer as características mecânicas deste.

A madeira é um elemento natural que supre alguns esforços solicitantes como à tração, já a aplicação do concreto é devida sua excelente resistência a esforços de

compressão e o aço possui alta resistência aos esforços de tração. Esses são usualmente os materiais empregados em larga escala em obras, por apresentarem grande eficiência aos esforços solicitantes em uma estrutura.

As extrações dos principais materiais usados na construção civil, originam danos ambientais, onde a exploração exacerbada dessas matérias-primas em seus respectivos locais de exploração, originam consequências cada vez maiores na Terra. Tais implicações trazem mudanças de pensamento no cenário mundial, que simultaneamente vêm atuando com os profissionais da engenharia, buscando recursos renováveis para unificar as possibilidades alternativas, principalmente ao projetar-se uma estrutura para pequenas, médias e grandes construções.

Materiais como o bambu não são poluentes, não requerem grande consumo de energia e oxigênio em seu processo de preparo; sua fonte é renovável e de baixo custo, Marçal (2008). O que valoriza a aplicação do bambu como possível alternativa do aço na construção civil, mas para isso é preciso comprovar cientificamente suas características mecânicas. Desse modo, os ensaios de compressões são meios de analisar a resistência do concreto, porque existe um esforço axial com o intuito de acarretar o encurtamento ou até mesmo o rompimento dos corpos de prova (CPs), submetidos a este esforço.

Em ensaios de compressões axiais, os corpos de prova são submetidos a uma força axial, que é distribuída uniformemente, para que toda seção transversal do CP ensaiado receba a carga.

Libânio (2004), classifica a resistência à compressão simples como (f_c), sendo estas as características mecânicas mais importantes. Para aferi-la em um lote de concreto, é necessário moldar e preparar os corpos de prova, seguindo as especificações da NBR 5738 de 2015 - Moldagem e cura de corpos de prova cilíndricos ou prismáticos de concreto, sendo que a Norma também descreve que qualquer corpo de prova cilíndrico deve possuir a altura com o dobro do diâmetro ($H = 2 \varnothing$), indicando os valores de 0,10; 0,15; 0,20; 0,25; 0,30 e 0,45 m. Essas dimensões são parametrizadas, para garantir a qualidade nos ensaios de compressões axiais.

A Norma 5738, indica a idade para ensaios em concreto após 28 dias de cura, onde nesse período tem-se o pico máximo de resistência do concreto. Enquanto a NBR 6118 de 2014, determina as resistências mínimas para o concreto, um exemplo, é o concreto de classe II, nível médio de área urbana, que deve possuir a resistência

mínima necessária de 25 MPa. A Norma também apresenta a Classe de Agressividade Ambiental (CAA), conforme a Tabela 1 demonstra.

Tabela 1 - Classe de Agressividade Ambiental (CAA).

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana ^{a, b}	Pequeno
III	Forte	Marinha ^a	Grande
		Industrial ^{a, b}	
IV	Muito forte	Industrial ^{a, c}	Elevado
		Respingos de maré	

^a Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura).

^b Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) em obras em regiões de clima seco, com umidade média relativa do ar menor ou igual a 65 %, partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos ou regiões onde raramente chove.

^c Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.

Fonte: (NBR 6118 DE 2014).

A resistência à compressão do bambu situa-se na faixa de 20 a 120 MPa, segundo López (1974). Esse resultado é superior ao mínimo exigido pela NBR 6118 para concreto de classe II, médio urbano, com isso o bambu evidencia sua eficiência em esforço de compressão, podendo ser aplicado em locais que careçam da resistência mecânica do concreto de classe II, médio urbano.

Ensaio mecânico são realizados em materiais, para compreender as propriedades e o comportamento dos objetos analisados, e assim definir as melhores circunstâncias de aplicação.

O teste de compressão axial, possui o objetivo de avaliar a reação do material quando em estado de compressão, geralmente esse ensaio é aplicado em concretos, cerâmicas, plásticos e compósitos. De acordo com os apontamentos abordados por Janssen (2000), a característica física que mais influencia à propriedade mecânica, é a massa específica aparente do material por unidade de volume, a qual pode variar de acordo com: a qualidade do local de crescimento, a espécie e sua posição no colmo.

Jassen (2000), elaborou um estudo comparativo de resistência e dureza, em relação à massa específica aparente dos materiais. A proposta foi comparar o bambu com os materiais mais aplicados na construção civil: aço, concreto e madeira, a Figura 13 expressa os resultados obtidos pelo autor.

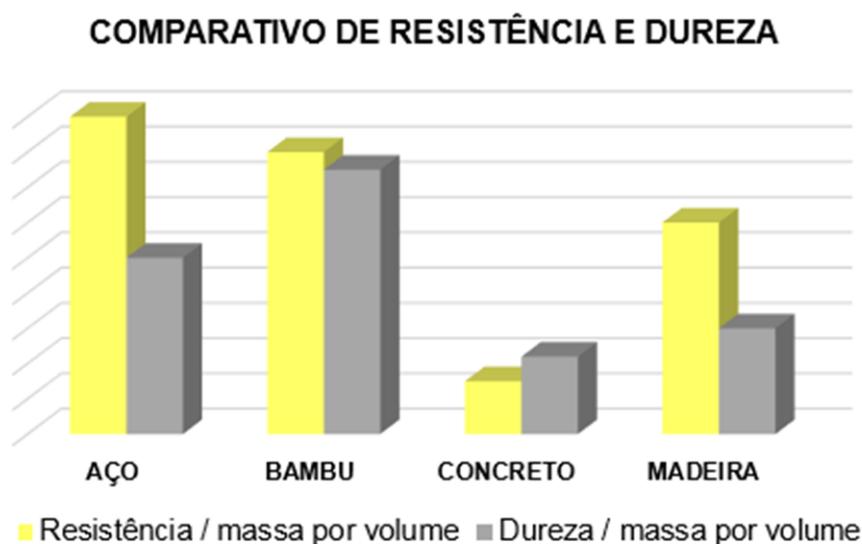


Figura 13 - Estudo comparativo de materiais.

Adaptado
Fonte: (JANSSEN, 2000).

Analisando o estudo proposto por Janssen (2000), é possível compreender que a dureza/massa por volume do bambu, é superior à madeira, o concreto e aço.

A propriedade da dureza em relação à massa por volume, afere a resistência dos materiais, no intuito de desvendar se um material é mais rígido que o outro, então é necessário realizar um teste de atrito nos objetos avaliados. Desse modo, Janssen afirmou que o bambu possui uma maior dureza.

Observando a Figura 13, é possível compreender que o bambu possui à resistência/massa por volume, superior à madeira e ao concreto, porém ainda é minimamente inferior ao aço.

Considerando que a resistência é o efeito das forças no comportamento interno dos sólidos, analisa-se que o bambu é inferior ao aço, pois sua parte interna é oca e sua capacidade de resistir aos esforços, concentram-se apenas na parede da planta visto que essa é parte mais maciça, a Figura 14 demonstra como são as cavidades internas do bambu, para melhor compreensão da planta.

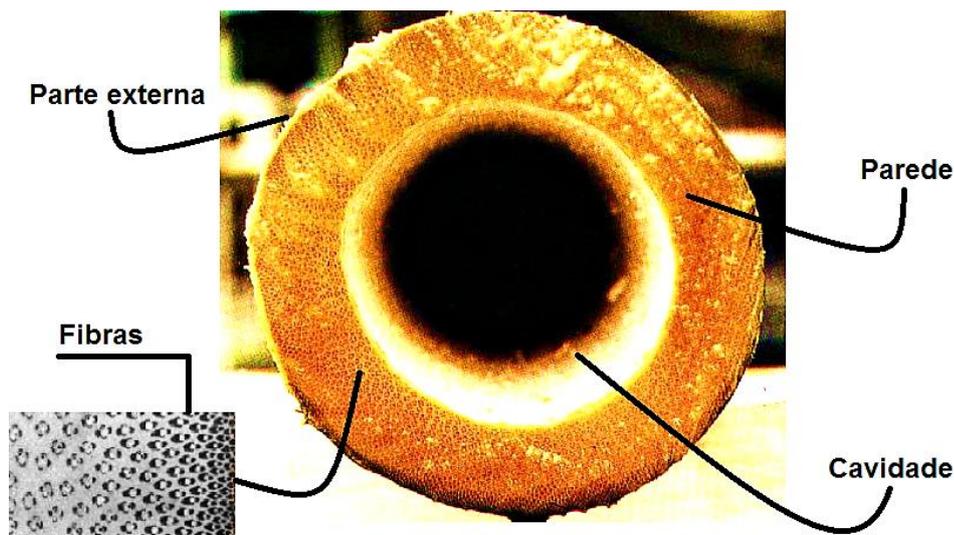


Figura 14 - Parte interna do bambu.

Adaptado

Fonte: (GHAVAMI, 2000).

Observando a seção transversal do colmo, verifica-se que as fibras se concentram mais na superfície externa.

Os bambus apresentam excelentes propriedades mecânicas, que são influenciadas pela idade, massa específica e teor de umidade do colmo, mas dependem principalmente, do teor de fibras responsável pela sua resistência, (BERALDO E PEREIRA, 2016).

Um colmo de bambu possui 50% de parênquima, 40% de fibra e 10% de tecidos condutores, e seus principais constituintes são celulose, hemicelulose e lignina, semelhante à madeira, (LIESE, 1998).

A parte externa do colmo é composta por camadas de células, cobertas por uma camada cutinizada e com cera. Segundo Liese (1998), a cavidade é uma camada mais espessa e altamente lignificada, constituída de numerosas células esclerenquimáticas (fibras), dificultando qualquer movimento lateral de líquidos. Ainda de acordo com o autor, dentro da parede o número total de feixes diminui da base para o topo, porém sua densidade aumenta.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para a aplicação estrutural, usualmente utiliza-se os gêneros *Dendrocalamus* (batizado de bambu gigante), *Guadua* (popular no Brasil como Taquaruçu) e *Phyllostachys pubescens* (conhecido como Mosô), a exemplo dos países que já atuam com esses gêneros. Os gêneros da Figura 15, apresentam melhores características mecânicas e físicas, de acordo com Beraldo e Pereira (2016).



Figura 15 - Os três gêneros de bambu utilizados em obras no mundo.
Fonte: (BARBALHO, 2018).

Nesta Dissertação serão abordados estudos e ensaios no gênero *Phyllostachys pubescens* e *Phyllostachys aurea*. A preferência por essas espécies, é dada pela facilidade de localização na Baixada Santista, além do que estes gêneros se habituam aos mais distintos climas e altitudes do Brasil.

O *Phyllostachys pubescens* e o *Phyllostachys aurea*, são espécies nativas da China, e surgiram no Brasil através da colonização portuguesa, essas plantas adaptaram-se muito bem ao clima brasileiro, comportando-se como nativas. Segundo Beraldo e Pereira (2016), as alturas de seus colmos do *Phyllostachys pubescens* podem chegar a 20 m e os diâmetros dos colmos variam de 7 a 15 cm.

2.1 Preparação de Corpos de Prova com bambu em forma Cilíndrica Sem Concreto

Para caracterizar as propriedades mecânicas do bambu, foram realizados ensaios de compressão axial diretamente no bambu Mosô, com o intuito de avaliar a resposta desse material, ao aplicar-se uma carga diretamente em suas fibras.

Os corpos de prova foram produzidos, a partir de uma vara de bambu Mosô com 3 m de comprimento. Segundo o fornecedor (NUNES BAMBU²), essa vara possuía aproximadamente 6 anos.

Para conhecer a resistência do comprimento da planta, a vara foi mapeada e regiões específicas foram selecionadas para produção dos CPs. O intuito dessa seleção é avaliar a resistência ao longo do comprimento da vara de bambu, deste modo usou-se a base, o meio e topo da vara, avaliando o desempenho desta vara por inteiro. Em cada ensaio realizado, haviam pelo menos 3 CPs com nó, para estimar o retorno da carga nesses pontos específicos, conforme demonstra a Figura 16.

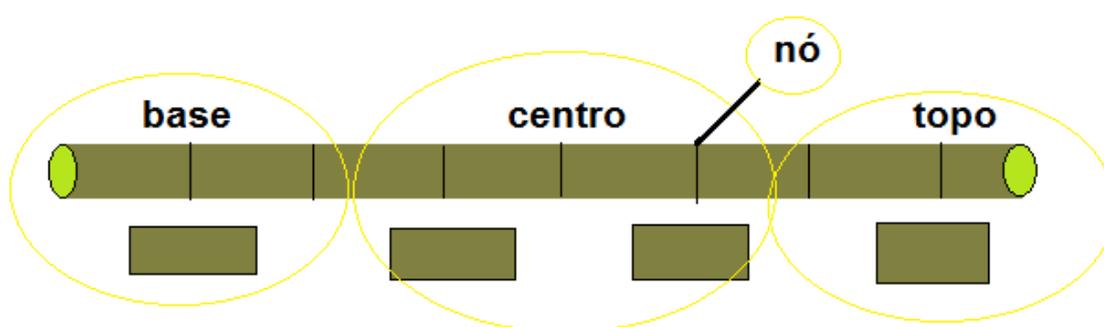


Figura 16 - Modelagem da vara para confeccionar os corpos de prova.

Após determinar as partes que seriam utilizadas nos ensaios de compressões axiais, iniciou-se a confecção dos CPs. Construíram-se seis (6) unidades distribuídas da seguinte maneira: dois (2) corpos de provas extraídos da base da vara; dois (2) corpos de prova extraídos do centro da vara e dois (2) corpos de prova extraídos do topo da vara. Esses corpos de prova possuem as dimensões de 0,08 m de diâmetro (\emptyset) e 0,16 m de comprimento, conforme a Figura 17.



Figura 17 - Corpos de Prova. (a) Vista superior. (b) Vista Longitudinal.

² Empresa especialista em construções com bambu *Phyllostachys*, localizada no município de Bertoga/SP.

Tendo em vista a falta de uma Norma, que especifique as dimensões de CPs para ensaios em bambu, as medidas apontadas na Figura 17 foram as mais próximas possíveis das estabelecidas na NBR 5738 de 2015, que determina as medidas para o comprimento do CP de concreto. Portanto, foi preciso adaptar as Normas existentes para ensaiá-lo e assim apresentar um referencial científico.

2.2 Preparação das estruturas de Bambus em forma de ripas

As estruturas de bambus em forma de ripas, serão aplicadas confinadas no concreto. Desse modo, seis (06) CPs foram construídos em formato retangular, que serão descritos ao longo desta pesquisa como ripa.

No processo de beneficiamento das ripas, utilizou-se cerca 1 m da vara do bambu, para extrair as ripas do bambu Mosô, foi necessário esquadrear as peças, pois estas são curvas. O processo foi realizado através da retirada da seção interna até a externa (ambos da parede), para obter o formato retangular desejado, próximo a forma de prisma retangular, conforme demonstrado na Figura 18.



Figura 18 – Processamento da ripa de bambu.

Adaptado
Fonte: (YAMADA, 2016).

Após o seccionamento e corte dessas peças, definiu-se as dimensões de 0,115 x 0,02 x 0,05 m. Essas dimensões foram definidas para que as mesmas ficassem confinadas no concreto, de modo que não ultrapassassem as superfícies e laterais do concreto. Então, posteriormente as ripas de bambu, foram lixadas com a lixa de granulometria 220 Mesh, a Figura 19 exemplifica o corpo de prova final da ripa de bambu Mosô.



Figura 19 - Preparação da ripa de bambu Mosô, para os corpos de prova.

2.3 Preparação das estruturas de Bambu em forma cilíndrica

Essas estruturas cilíndricas de bambus, não precisaram de ajustes na secção da vara, as mesmas foram cortadas da vara inteira. Esse bambu é denominado botanicamente como *Phyllostachys aurea*, popularmente conhecido como cana da Índia. Essa vara possuía 7 anos, conforme fornecedor (NUNES BAMBU).

Nesse tipo de estrutura, optou-se por varas com nó e sem nó, com isso os CPs de numeração ímpar (7, 9 e 11) contém nó, enquanto que os CPs de numeração par (8, 10 e 12) não possuíram nó. A Figura 20 demonstra o referido nó nos CPs.

Esses corpos de prova, também serão aplicados no interior do concreto. Para isso utilizou-se cerca de 1 metro da vara do bambu, construindo seis (06) corpos de prova para essa aplicação. As dimensões foram determinadas, para que estas estruturas não ultrapassassem as superfícies e laterais do concreto, então adotou-se: 0,115 m de comprimento e diâmetro (\emptyset) 0,04 m, como ilustra a Figura 20.



Figura 20 - Preparação do bambu Aurea cilíndrico, para os corpos de prova.

2.4 Preparação das estruturas de Bambu em forma de Ripas com a aplicação da Resina Vegetal de Mamona

O emprego do bambu como reforço estrutural no concreto, apresentou algumas dificuldades devido à baixa aderência entre os dois materiais. Uma vez que o bambu, quando utilizado como reforço no concreto, absorve a água da mistura, aumentando de volume e voltando às dimensões originais, após secagem; isto faz com que a aderência entre os dois materiais seja prejudicada, (GHAVAMI, 1992; LOPES, 2002). Como meio de compreender a ação de absorção de água, ocasionada pelo bambu confinado no concreto, realizou-se um teste comprobatório para avaliar essa característica intrínseca do bambu.

Portanto, o bambu foi aprisionado dentro de um plástico, afim de averiguar seu comportamento ao ser confinado, e através desse teste pressupor como seria seu comportamento dentro do concreto. A Figura 21, demonstra que o bambu passa pelo processo de transpiração, através dos poros da planta. Tal fenômeno, ocorre pelo fato de que a água contida em um corpo vegetal é eliminada, devido à elevação da temperatura interna, então, após esse processo de transpiração o bambu necessita recuperar esse líquido perdido, e isso ocorre por meio da exsudação, ou seja, a migração dos líquidos existentes na composição dos materiais aplicados, nesse caso do concreto, quando o bambu for confinado no mesmo, como demonstra a Figura 21.



Figura 21 – Bambu em processo de exsudação.

Analisando a situação da planta bambu, foi necessário aplicar um impermeabilizante em sua superfície interna e externa. Contudo, que atendesse a proposta ecológica que esta pesquisa apresenta. Então, na busca por solucionar essa problemática, encontrou-se um impermeabilizante de resina vegetal, extraído da fruta mamona, essa resina é fabricada pela empresa (IMPERVEG³), que contribuiu com este estudo, cedendo 1 l da resina vegetal, para testar sua potencialidade em bambu.

A resina vegetal auxilia no processo de exsudação e na aderência do bambu, pois à superfície externa do mesmo não apresenta saliências ou asperezas, diferentemente do aço que possui as nervuras transversais oblíquas, e estas lhe conferem melhor superfície de contato para aderência. Então, ao aplicar a resina na planta, obteve-se uma rugosidade maior na superfície de contato, facilitando assim a aderência do bambu no concreto.

Dezesseis (16) corpos de prova em forma de ripas, foram extraídos do bambu Mosô, onde em oito (08) desses CPs aplicou-se a resina vegetal e os oito (08) restantes não se aplicou a resina em suas superfícies. Esse ensaio possui o objetivo de avaliar se os bambus com resina, irão absorver mais ou menos água em seu processo de exsudação, de forma que seja possível compará-los com os bambus, que não receberam a aplicação da resina em suas superfícies.

Com os resultados registrados no ensaio de impermeabilização, será possível estabelecer as ripas mais indicadas para serem confinadas no concreto, afim de que não absorvam água do mesmo, sendo possível traçar um paralelo de comparação entre as ripas com e sem resina, dentro e fora dos corpos de prova de concreto.



Figura 22 - Aplicação da Resina Vegetal de Mamona. (a) Processo de aplicação da resina nos CPs. (b) Armazenamento e espera do tempo de secagem dos CPs.

³ Empresa que produz e comercializa produtos formulados a base de poliuretano vegetal (resina de mamona), totalmente atóxico, material 100% sólido (isento de solventes), para uso e aplicação na construção civil.

O tempo de secagem ao toque da resina é de aproximadamente 120 minutos, segundo o fornecedor, assim as mesmas permaneceram secando por mais 24 horas. Após esse período de secagem completa, os CPs foram pesados para parametrizar seus respectivos pesos secos, antes de iniciar o teste de impermeabilização em água, conforme a Figura 23 exemplifica.



Figura 23 - Pesagem dos corpos de prova: (a) Sem a resina vegetal de mamona. (b) Com a resina vegetal de Mamona.

Posterior a preparação dos corpos de prova com e sem a resina vegetal, os mesmos foram imersos em um tanque com aproximadamente um (1) litro de água, e assim foram ensaiados com 24, 48, 72 e 96 horas. Portanto, após 24 horas de imersão, ocorreu a primeira pesagem das peças, para avaliar a quantidade de água absorvida por cada amostra, então sucessivamente esse processo foi repetido com 48, 72 e 96 horas, após a imersão dos CPs.

2.5 Preparação das estruturas de Aço CA 50

Segundo Rossi (2011), o aço CA 50 é um dos principais insumos usados na construção civil, está presente em todas as estruturas de concreto armado (pilar, viga e laje), nas fundações (blocos, sapatas e estacas) e nas obras de arte (pontes e viadutos).

Em grandes construções, o concreto e aço são materiais complementares, cuja função é proporcionar uma melhor resistência à estrutura.

Dado ao fato do aço CA 50, ser um dos elementos mais usuais na construção de residências de pequeno porte, optou-se pela escolha desse material na aplicação dos CPs a serem ensaiados na compressão axial. Para a realização dos ensaios

foram utilizados corpos de prova do aço CA 50, com dimensões de 0,15 m de comprimento com a bitola de 6,3 mm, massa nominal 0,25 kg/m e sendo sua seção nominal de 31,2 mm², para que estas estruturas não ultrapassassem as superfícies e laterais do concreto, conforme a Figura 24.



Figura 24 - Preparação de corpos de prova para ensaios de compressão axial.

O aço CA 50, é amplamente empregado em pequenas obras, sua superfície deve possuir obrigatoriamente nervuras transversais (rugosa). A resistência característica desse material, possui a tensão de escoamento em 500 MPa. O aço CA 50 deve atender aos requisitos da NBR 7480 de 2017, conforme exemplificado no Quadro 02.

Quadro 2 – Propriedade mecânica do aço CA 50.

Diâmetro Nominal (DN) (mm)	Massa Nominal (kg/m)	Ensaio de Tração (valores mínimos)				Diâmetro do Pino para Dobramento a 180° (mm)
		Tolerância Massa Linear (%)	Resistência Característica de Escoamento (fy) (MPa)	Limite de Resistência (MPa)	Alongamento em 10Ø	
6,3	0,245	±7	500	1,08 x fy	8%	3 x DN
8,0	0,395					
10,0	0,617	±6				
12,5	0,963					
16,0	1,578	±5				6 x DN
20,0	2,466					
25,0	3,853	±4				
32,0	6,313					
40,0	9,865					

* Mediante consulta prévia, poderão ser atendidos pedidos com comprimentos especiais.

** O Vergalhão Gerdau GG 50 em barra é soldável a partir da bitola 8 mm.

*** O Vergalhão Gerdau GG 50 em rolo é soldável em todas as bitolas sob consulta.

Fonte: (NBR 7480, 2007).

Para a construção das estruturas de aço, fez-se necessário adotar espaçadores, respeitando os espaçamentos determinados pela NBR 6118 de 2014. Então, utilizou-se 36 unidades de espaçadores plásticos, para assegurar os distanciamentos laterais, superiores e inferiores com 2,5 mm. Estes espaçadores possuem a finalidade de centralizar a armação dentro do concreto, para que assim o concreto possa abranger toda estrutura interna, evitando deste modo a fissuração, a Figura 25 demonstra a aplicação prática dos espaçadores na estrutura de aço.



Figura 25 - Espaçador de plástico.

2.6 Preparação do concreto para os Corpos de Prova: bambu, bambu com resina e aço CA 50

O concreto classe C20 possui f_{ck} de 20 MPa, e é usualmente aplicado em obras de pequeno porte, pois apresenta uma mínima agressividade ambiental, sendo esse o motivo da principal da aplicação deste, nesta pesquisa.

O sistema construtivo habitual nas edificações de pequeno porte, é o concreto usinado, aplicado em lajes, vigas, estacas escavadas e etc. No caso dos pilares, estes podem ser preenchidos com concreto, juntamente com elevação das paredes de alvenaria. Assim sendo, volume de concreto para um pilar é normalmente pequeno, e por isso muitas vezes é produzido na própria obra, bem como aconteceu com os corpos de prova desse estudo.

Serão construídos trinta (30) corpos de prova, distribuídos do seguinte modo:

- Seis (06) CPs de concreto (padrão);
- Seis (06) CPs de ripas de bambu com concreto;

- Seis (06) CPs cilíndricos de bambu com concreto;
- Seis (06) CPs de aço CA 50 com concreto;
- Seis (06) CPs de ripas de bambu impermeabilizadas pela resina vegetal com concreto.

O traço foi adotado em massa (peso), desse modo os materiais foram pesados em kg. O traço é definido conforme as determinações da NBR 12655 de 2006 - Concreto de cimento Portland – Preparo, controle e recebimento – Procedimento, como demonstra a Figura 26.

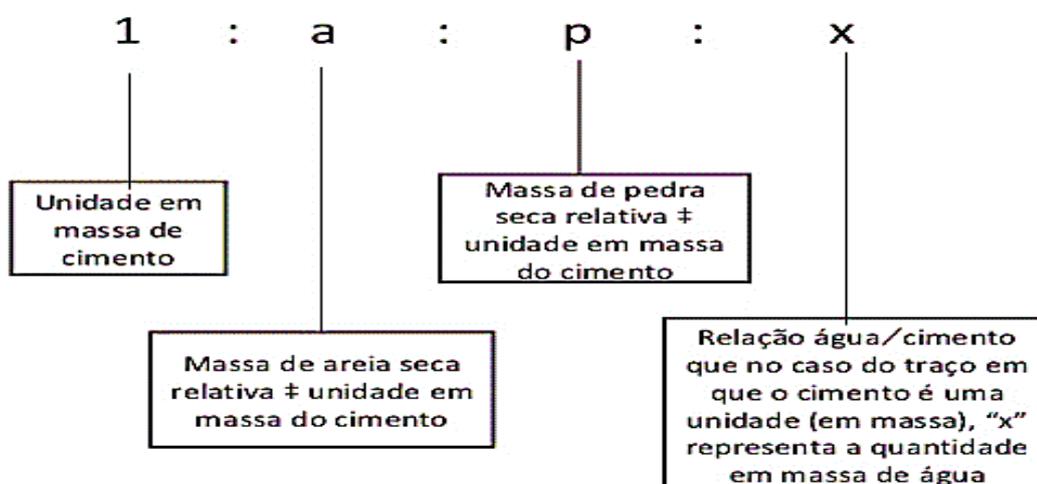


Figura 26 - Traço do concreto.

Fonte: (PEREIRA E KISHI, 2012).

Então, definiu-se o traço dos CPs de concreto em 1: 2,37: 3,19 com o fator água/cimento (a/c) de 0,75. As seleções dos materiais são ilustradas na Figura 27.

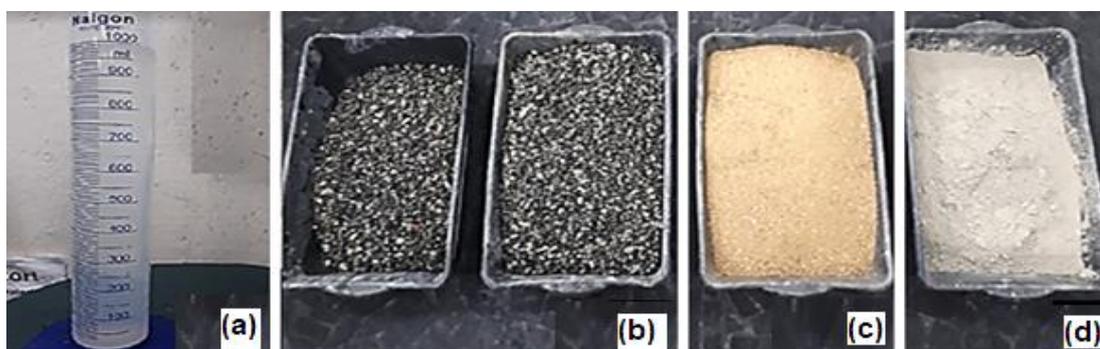


Figura 27 – Seleção de materiais utilizados no concreto dos CP: (a) Copo medidor para água. (b) Quantidade de pedrisco utilizado. (c) Quantidade de areia utilizada. (d) Quantidade de cimento utilizado.

Utilizou-se as respectivas quantidades e materiais, para confeccionar o concreto dos corpos de prova:

- a) 12 kg de cimento CP II F-32;
- b) 28,44 kg de areia fina seca, com espessuras de 0,05 mm a 0,3 mm;
- c) 38,28 kg de pedrisco de 4,8 mm a 9,5 mm;
- d) 09 l de água.

A determinação do cimento CP II F-32, é devido suas propriedades atenderem as necessidades de uma estrutura de pequeno porte. Segundo Libânio (2004), o cimento CP II F-32 tem adição de fíler calcário, em teor entre 6 e 10%, e não é o mais indicado para aplicação em meios muito agressivos, possuindo diversas possibilidades de aplicação e por isso é um dos cimentos mais utilizados no Brasil.

Para a moldagem dos CPs, seguiu-se a NBR 5738:2015 - Moldagem e cura de corpos de prova cilíndricos ou prismáticos de concreto - Método de ensaio, que determina os procedimentos necessários, para se obter uma maior qualidade e resistência do concreto ensaiado.

Para misturar à massa do concreto, utilizou-se a betoneira Zanooni série 03, modelo 120, localizada no laboratório de Engenharia Civil da Universidade Santa Cecília, Santos/SP.

Primeiro lavou-se a betoneira, para que esta ficasse úmida, então colocou-se metade do volume de água 4,5 litros, juntamente com os 38,28 kg de pedrisco, misturando-os esses componentes por um minuto.

Após esse um minuto, acrescentaram-se os 12 kg de cimento na máquina, juntando-o aos materiais depositados anteriormente, e então aguardou-se a mistura dos materiais por mais um minuto. Logo após esse período de um minuto, foram acrescentados os 28,44 kg de areia seca, para misturar juntamente com os elementos depositados anteriormente, e assim ambos ficaram mais um minuto batendo. Por fim, colocou-se os 4,5 litros de água restantes, para misturar com os materiais acrescentados desde o início da operação, e assim todos os componentes misturaram-se na betoneira por mais três minutos.

Ao executar a montagem das armações dentro do concreto, foi necessário primeiramente executar o *slump test*, conforme descreve a NBR 67 de 1998 – Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone, que têm por finalidade analisar a consistência do concreto fresco, conferindo assim sua trabalhabilidade e a facilidade fluir, como demonstra a Figura 28 o *slump test*, aproximou-se aos 5 mm de acordo com a Norma.



Figura 28 - Slump test para análise da consistência do concreto fresco.

Segundo Goulart (2010), um concreto ao ser lançado, apresenta no interior de sua massa ar aprisionado em forma de bolhas, formadas durante o processo de mistura, transporte e descarga, cujo volume chega a ser de 5% a 20% do volume total.

Na vibração, o movimento das partículas de concreto elimina o ar retido, ao passo que se assenta o concreto, dominando as partículas individuais com uma rápida sucessão de impulsos, ocasionados pelo movimento diferenciado e fazendo às partículas moverem-se rapidamente.

Com embasamento na NBR 67 de 1998, realizou-se a vibração do concreto, igualmente no abatimento, para executar a vibração foi necessário utilizar a haste. Uma vibração boa pode definir a aparência externa do concreto, evitando as fissurações, conforme exemplifica a Figura 29.



Figura 29 – Influência da Vibração no concreto.

Adaptado
Fonte: (ROSSI, 2011).

2.7 Preparação dos conjuntos dos CPs (Estrutura + Concreto)

Foi necessário aplicar 0,5 l de óleo mineral emulsionado com 0,20 l de água nas formas cilíndricas, com objetivo de facilitar o desmolde dos CPs, como demonstra

a Figura 30. Este recurso, também colabora com a melhoria do acabamento superficial do concreto, a Figura 30 demonstra a aplicação do óleo nas formas.



Figura 30 - Aplicação de óleo mineral na forma cilíndrica.

Então, após a aplicar o óleo nas 30 formas cilíndricas, executou-se o posicionamento das armações dentro de suas respectivas formas, para que juntamente com concreto formassem os corpos de prova finalizados.

Logo após o posicionamento das armaduras, iniciou-se a aplicação do concreto nas formas cilíndricas. Nesse momento realizou-se os distanciamentos das partes inferiores, superiores e laterais em 2,5 mm. Os espaçamentos foram aferidos, no ato da aplicação do concreto nas formas, conforme ilustra a Figura 31.

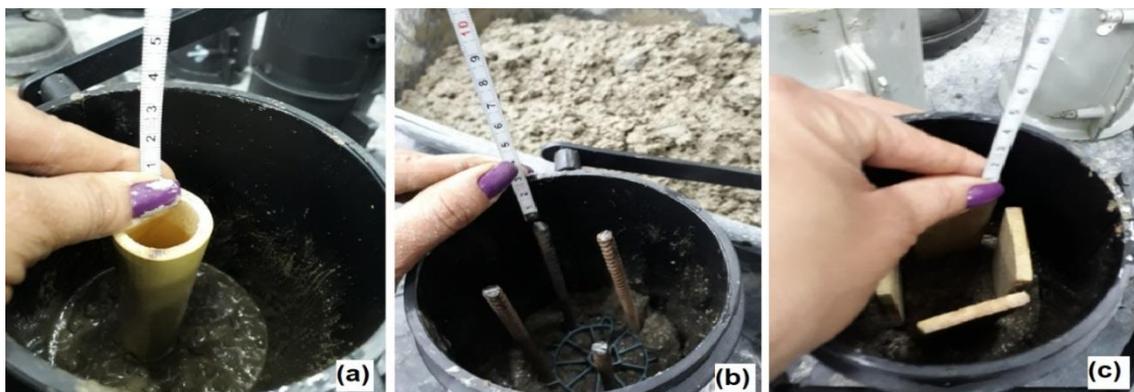


Figura 31 – Controle dos espaçamentos dos Corpos de Prova: (a) Espaçamento de 2,5 mm do bambu em forma cilíndrica. (b) Espaçamento do aço CA 50 em 2,5 mm. (c) Espaçamento de 2,5 mm do bambu em forma de ripa.

Finalizando os processos de montagem, espaçamentos e vibrações, os corpos de prova ficaram em suas respectivas formas cilíndricas por 24 horas, a uma

temperatura de 24°C, como descreve a NBR 14931 de 2014 - Execução de estruturas de concreto, determinando que após às 24 horas do término da injeção e verificação do completo preenchimento no tubo e respiros de injeção, estes devem ser cortados cuidadosamente. Então, passadas 24 horas os CPs foram desformados e colocados em cura⁴.

A cura é uma das etapas mais importantes na execução do concreto, possuindo participação direta no processo de hidratação da pasta de cimento.

Existem dois tipos procedimentos para realizar a cura, segundo NBR 5739 (2007), a cura deve ser dita úmida, quando a superfície do CP for mantida permanentemente úmida e a cura deve ser dita saturada, quando o CP for mantido permanentemente imerso em água saturada de cal.

O objetivo desta etapa é a vedação do concreto, mantendo a água de amassamento no seu interior, evitando assim, a retração e o transporte de substâncias que poderão interferir na hidratação. Seguindo as especificações, armazenaram-se os corpos de prova para cura, através da imersão em um tanque de água saturado de cal, conforme demonstra a Figura 32.



Figura 32 – Tanque de cura por imersão.

Os CPs foram mantidos no tanque de imersão por 28 dias, para que atingissem a resistência característica máxima do concreto (f_{ck}), em seu vigésimo oitavo dia, como determina a Norma. A sala em que o tanque estava armazenado, possuía uma temperatura com intervalos de (21 ± 2) a (27 ± 2) °C, conforme prescreve a NBR 5738.

⁴ A cura do concreto, é nome dado ao processo técnico utilizado para, dentre outros, desacelerar a evaporação (pela ação do sol e dos ventos) da água de amassamento utilizada na fabricação do concreto e permitir a completa hidratação do cimento, (NBR 5739, 2007).

2.8 Ensaio de Compressão axial na Construção Civil

Na construção civil as exigências em um projeto, requerem à resistência mecânica à compressão. Então, o engenheiro projetista precisa determinar um material com boa resistência à compressão, para que este não se deforme com facilidade, garantindo a solicitação dos esforços de compressão axial.

De um modo geral, a compressão é um esforço axial que gera o encurtamento do CP, quando se submete uma carga no ensaio.

As prescrições da NBR 6118 de 2014, referem-se à resistência a compressão, obtidas através de ensaios em corpos de prova cilíndricos, moldados segundo a ABNT NBR 5738 e, realizados de acordo com a ABNT NBR 5739.

Nos ensaios de compressão, os corpos de prova são submetidos a uma força axial para dentro, distribuída de modo uniforme em toda a seção transversal do corpo de prova. (SOUZA, 2011), conforme a Figura 33.

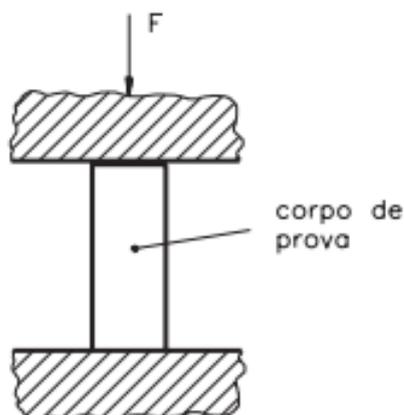


Figura 33 - Ensaio de compressão axial.

Fonte: (SOUZA, 2011).

Os esforços de compressão na construção mecânica, são aplicados principalmente em equipamentos como suportes, estruturas, bases de máquinas e entre outros.

O ensaio de compressão axial, é recomendado para aferir as características mecânicas de um determinado material, especialmente quando se trata de materiais frágeis, como ferro fundido, madeira, pedra e concreto, (SOUZA, 2011).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo serão apresentados e discutidos os resultados, obtidos através das metodologias apresentadas no capítulo 2. Com o intuito de atender o objetivo geral do presente estudo. Os resultados alcançados, serão divididos por subtópicos para facilitar a compreensão.

3.1 Avaliação das estruturas de Bambus em forma de ripas com aplicação da Resina Vegetal

Com os resultados adquiridos nos ensaios de impermeabilização, foi possível perceber o real aumento de peso das ripas, que não foram impermeabilizadas com a resina vegetal de mamona.

A finalidade deste ensaio, foi analisar a viabilidade de aplicação da resina vegetal nas ripas de bambu, com o intuito de minimizar a absorção da água, para que assim esses corpos de prova, fossem confinados no concreto, o Quadro 03 apresenta os resultados alcançados nas ripas com e sem resina.

Quadro 3 - Relação de aumento do peso devido a absorção de água.

ANÁLISE DAS RIPAS DE BAMBU COM E SEM IMPERMEABILIZANTE VEGETAL									
N°	AMOSTRA	PESO SECO (g)	PESO APÓS IMERSÃO NA ÁGUA				MÉDIA	DESVIO PADRÃO	VARIÇÃO DE PESO
			24 HORAS	48 HORAS	72 HORAS	96 HORAS			
1	Ripa sem resina	17,56	23,81	24,81	25,27	25,32	25,04	0,61	2,42%
2	Ripa sem resina	22,57	29,78	32,50	33,45	33,76	32,98	1,57	4,75%
3	Ripa sem resina	14,45	21,67	23,39	24,21	24,26	23,80	1,05	4,40%
4	Ripa sem resina	17,01	23,77	24,34	25,40	25,71	24,87	0,78	3,15%
5	Ripa sem resina	29,9	32,74	33,37	33,91	33,99	33,64	0,50	1,49%
6	Ripa sem resina	39,59	43,92	44,56	45,91	46,13	45,24	0,92	2,04%
7	Ripa sem resina	21,15	23,81	24,53	25,05	25,09	24,79	0,52	2,09%
8	Ripa sem resina	21,75	24,28	24,91	25,57	25,67	25,24	0,56	2,22%
9	Ripa com resina	31,21	31,80	31,86	31,87	31,89	31,87	0,03	0,11%
10	Ripa com resina	21,54	22,11	22,58	22,76	22,79	22,67	0,27	1,20%
11	Ripa com resina	23,34	23,69	24,05	24,28	24,30	24,17	0,25	1,02%
12	Ripa com resina	30,07	30,43	30,69	30,71	30,74	30,70	0,12	0,40%
13	Ripa com resina	46,66	47,16	47,47	47,63	47,70	47,55	0,21	0,44%
14	Ripa com resina	38,94	39,40	39,67	39,79	39,81	39,73	0,16	0,41%
15	Ripa com resina	47,16	47,59	48,01	48,23	48,25	48,12	0,27	0,55%
16	Ripa com resina	30,42	30,84	31,00	31,22	31,26	31,11	0,17	0,55%

Portanto, após os ensaios de impermeabilização, verificou-se a alteração no

peso, densidade e principalmente na coloração dos corpos de prova, conforme a Figura 34 demonstra.



Figura 34 - Corpos de Prova em ripa após imersão em água por 96 horas.

Analisando o Quadro 03, é possível somar as variações e assim verificar que as ripas de bambu com impermeabilizante, sofreram uma variação mínima de 4,68% em relação ao seu peso seco. Enquanto que ao somar as variações das ripas de bambu, que não foram impermeabilizadas, estas obtiveram uma variação de 22,56% em relação ao seu peso seco, as Figuras 34 e 35 ilustram as curvas de variações, onde nas primeiras 24 horas ocorrem a maior absorção de água nos CPs.

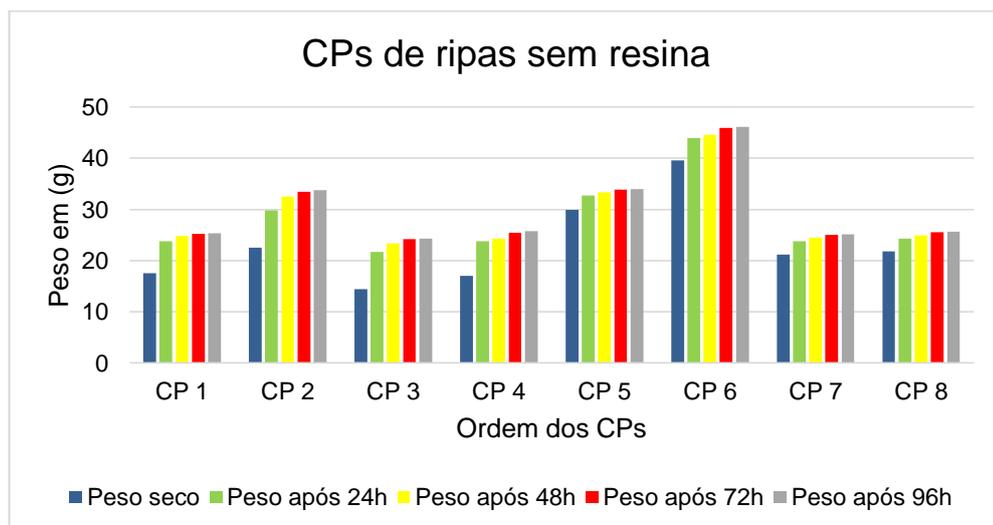


Figura 35 - Comparativo entre peso seco e peso após a imersão dos CPs sem resina vegetal.

No gráfico da Figura 35, é possível observar que depois do peso seco as amostras ganharam peso, ou seja, absorveram água do recipiente.

Uma das consequências dessa absorção de água ocasionadas pelo bambu, é

a proliferação de fungos em sua superfície, comprometendo assim suas propriedades mecânicas.

Analisando o gráfico da Figura 36, é possível notar que os corpos de prova mantêm uma linha tênue entre seus pesos, comprovando que ao aplicar a resina, os CPs não tiveram aumento de peso significativo.

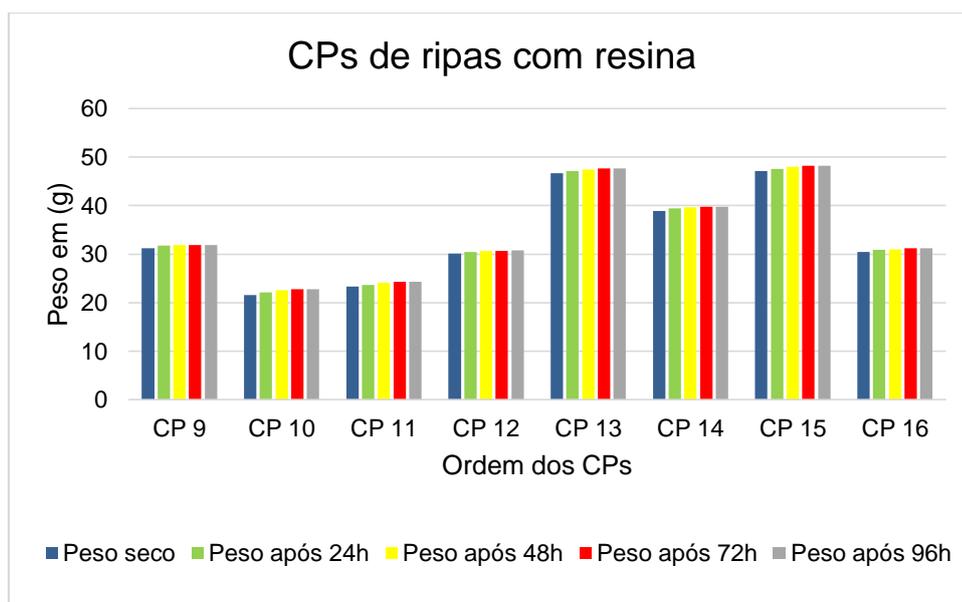


Figura 36 - Comparativo entre peso seco e peso após a imersão dos CPs com resina vegetal.

A partir dos dados apresentados no Quadro 3 e comparando-os com as Figuras 35 e 36, observa-se a importância do processo de impermeabilização das ripas de bambu, antes de serem confinadas no concreto, pois desse modo é possível evitar o fenômeno de retração no concreto, que ocorre durante o endurecimento da estrutura, conforme a NBR 12655 de 2006.

Considera-se que resina diminui, consideravelmente, a absorção de água e a proliferação de fungos no bambu, nota-se que é essencial a adesão do impermeabilizante vegetal, visto que esse cria uma barreira protetora no bambu.

3.2 Avaliação mecânica dos corpos de prova com bambu em forma cilíndrica sem concreto

Nos CPs de bambus cilíndricos não houve aplicação de concreto, pois o objetivo principal dessa metodologia, é analisar o comportamento do bambu com as cargas submetidas em suas fibras. Os resultados são apresentados na Figura 37.

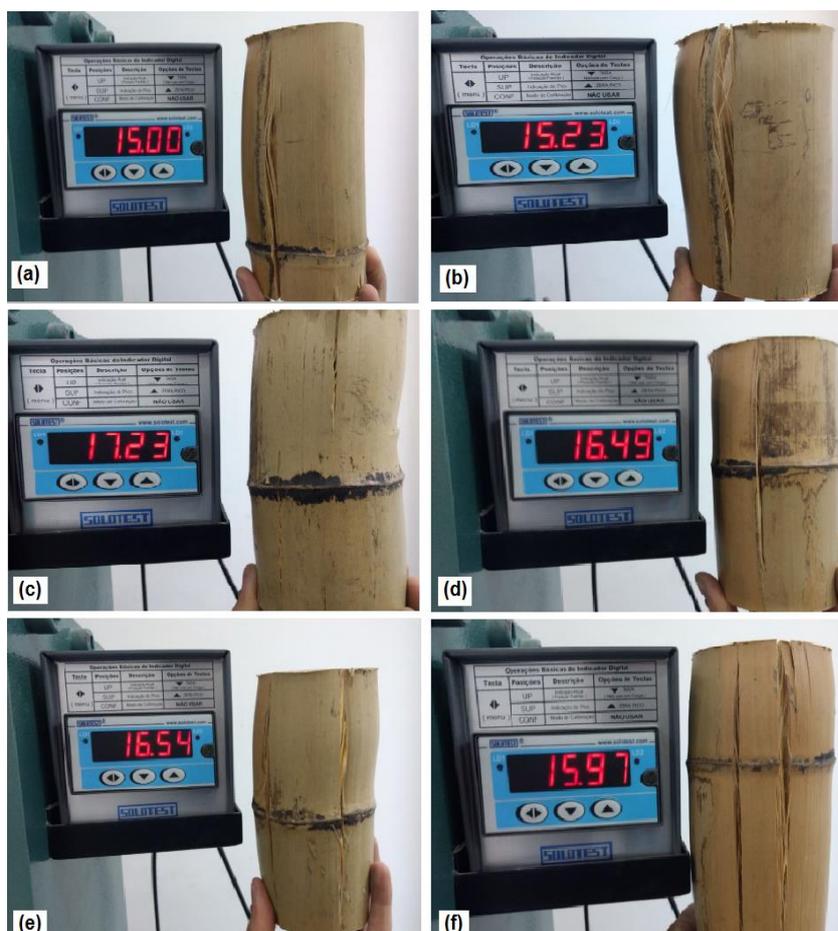


Figura 37 - Corpos de Prova após a finalização dos ensaios de compressões axiais: (a) Primeiro, (b) Segundo, (c) Terceiro, (d) Quarto, (e) Quinto, (f) Sexto CP ensaiado.

Após os ensaios de compressões axiais nos corpos de prova sem concreto, foi possível traçar um paralelo entre o bambu e o concreto de área urbana, pois os resultados adquiridos atendem ao estabelecido pela NBR 6118 de 2014, com as resistências mínimas para um concreto de classe II, com nível médio de área urbana a resistência mínima necessária de 25 MPa.

Observando a Figura 37, todos os corpos de prova sofreram uma microflambagem nas fibras, sendo estas cisalhadas perpendiculares ao eixo do colmo. Durante o processo de rupturas dos corpos de prova, foi possível visualizar o comportamento do bambu durante seu rompimento, onde ao aparecer a primeira rachadura no CP, o mesmo entrava em colapso. Percebe-se, que o bambu suporta mais cargas na compressão, pois estas ocorrem paralelas às fibras.

Ballesté, (2017), esclarece que em todos os casos, tamanho, orientação, densidade ou composição das fibras são os fatores diferenciais, nos valores de resistência mecânica. O ponto de saturação das fibras do bambu está situado entre

18% e 20%, (LÓPEZ, 2003). Observa-se que nos ensaios de compressão realizados no bambu sem concreto, as rupturas nos CPs ocorreram como uma fenda, perseguindo o sentido axial. As pressões suportadas pelos CPs, podem ser verificadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Dados dos ensaios de compressão em MPa.
CORPOS DE PROVA (0,08 X 0,16) m

Nº do corpo de prova	Força (tf)	R ² (cm)	r ² (cm)	π* (R ² - r ²) (Área cm ²)	Pressão (MPa)	Média	Desvio Padrão
a	15,00	4,0	2,0	47,12	39,79	42,64333	2,249663679
b	15,23	4,0	2,0	47,12	40,40		
c	17,23	4,0	2,0	47,12	45,70		
d	16,49	4,0	2,0	47,12	43,74		
e	16,54	4,0	2,0	47,12	43,87		
f	15,97	4,0	2,0	47,12	42,36		

Beraldo e Pereira (2016), encontraram resultados de 55 e 65 MPa para amostras cilíndricas das espécies *Phyllostachys sp* e *Phyllostachys purpuratta*, respectivamente, apesar de muito variável, em função das espécies estudadas por diferentes autores, estas são superiores ao concreto convencional de 15 a 20 MPa.

Neste estudo a curva média de tensão x deformação, situou-se na faixa de 42,64 MPa, um valor que pode ser considerado apto, para aplicação em faixas que exijam essa resistência mínima de compressão axial. Observando a Figura 38, nota-se que as cargas suportadas variaram aproximadamente de 40 a 46 MPa.

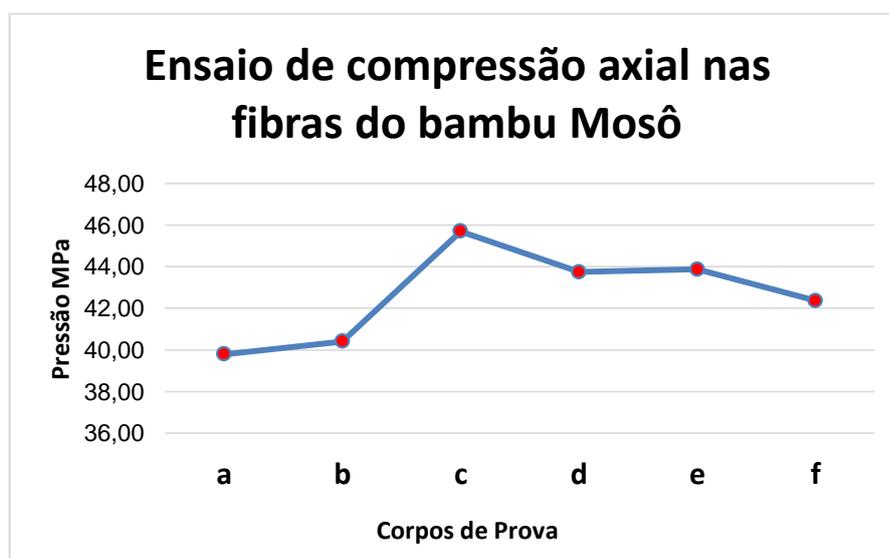


Figura 38 - Gráfico comparativo de compressão em CPs sem concreto.

Com embasamento nos resultados alcançados nos ensaios de compressões axiais, a partir das fibras, observou-se a possibilidade de utilizar o bambu como reforço estrutural no concreto, sendo este uma alternativa para o aço, pois as fibras do bambu comprovaram a eficiência deste material construtivo, que pode ser aplicado como matéria-prima única, devido sua resistência mecânica apresentada.

Analisando estaticamente a resistência nos corpos de prova, obtém-se a ruptura longitudinal-tangencial e longitudinal-radial⁵. Em carregamento de compressão axial (paralelo ao eixo das fibras), irão existir dois tipos de solicitações: a de compressão nas fibras de intradorso⁶ e tração nas fibras de extradorso⁷. Diversos estudos estruturais, indicam que a ruptura começa no sentido longitudinal das fibras, gerando uma diminuição da seção resistente, e nesse processo a tensão limite é alcançada, rompendo às fibras, conforme demonstra a Figura 39.

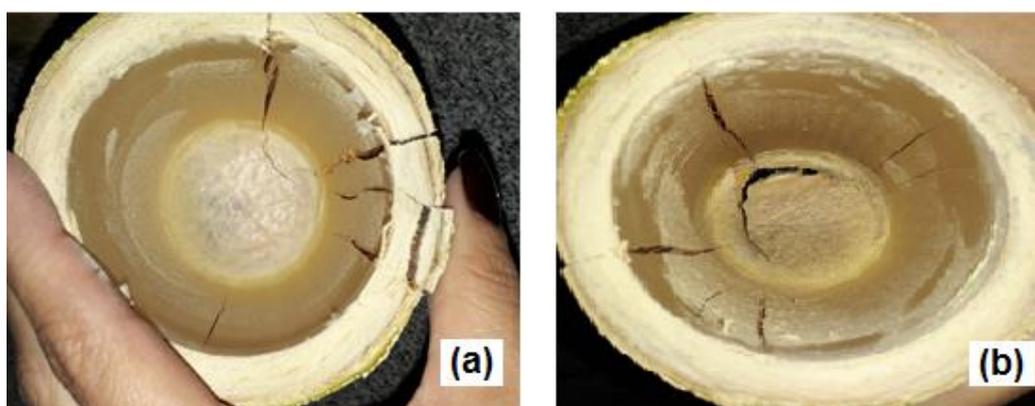


Figura 39 - Rupturas nos CPs de bambu Mosô. (a) Ruptura paralela às fibras. (b) Rompimento total do diafragma do bambu, próximo ao nó.

3.3 Avaliação dos corpos de provas com concreto

Foram avaliados trinta (30) corpos de prova, construídos com concreto e estruturas internas. As estruturas internas analisadas são: Bambu em forma (cilíndrica e ripa); Aço CA 50 (helicoidal); Concreto (padrão) e Bambu em forma de (ripa impermeabilizada com resina vegetal).

Após os 28 dias de cura do concreto, com base na NBR 5739 de 2007, realizou-

⁵ Longitudinal radial orça excêntrica aplicada no eixo central.

⁶ O intradorso é um termo arquitetônico que designa a superfície interna e inferior de um arco, abóbada ou aduela.

⁷ O extradorso é um termo utilizado em arquitetura para designar o plano superior externo convexo de um arco ou abóbada.

se os ensaios de compressão axial nos corpos de prova. Para analisar as propriedades mecânicas em cada corpo de prova (concreto + material estrutural interno), os resultados obtidos nos ensaios dos CPs são apresentados detalhadamente na Tabela 3.

Tabela 3 – Resultados dos ensaios de compressão axial nos corpos de prova.

Nº do corpo de prova	Formato da estrutura	Força (tf)	Diâmetro (mm)	$\pi \cdot d^2 / 4$ (Área mm ²)	Pressão (MPa)
CPs de bambu com concreto					
1°	BAMBU RIPA NÃO IMPERMEABILIZADA	11,85	100	7854	15,09
2°		11,96	100	7854	15,23
3°		12,07	100	7854	15,37
4°		12,35	100	7854	15,72
5°		11,99	100	7854	15,27
6°		12,02	100	7854	15,30
7° com nó	BAMBU CILÍNDRICO	12,31	100	7854	15,67
8° sem nó		12,49	100	7854	15,90
9° com nó		11,97	100	7854	15,24
10° sem nó		11,99	100	7854	15,27
11° com nó		12,01	100	7854	15,29
12° sem nó		12,08	100	7854	15,38
CPs de aço com concreto					
13°	AÇO HELICOIDAL	12,45	100	7854	15,85
14°		12,26	100	7854	15,61
15°		12,33	100	7854	15,70
16°		12,06	100	7854	15,36
17°		11,19	100	7854	14,25
18°		11,92	100	7854	15,18
CPs de concreto (padrão)					
19°	CILÍNDRICO	11,82	100	7854	15,05
20°		12,57	100	7854	16,00
21°		10,58	100	7854	13,47
22°		10,62	100	7854	13,52
23°		10,38	100	7854	13,22
24°		10,77	100	7854	13,71
CPs de bambu impermeabilizado com concreto					
25°	BAMBU RIPA IMPERMEABILIZADA	13,93	100	7854	17,74
26°		13,03	100	7854	16,59
27°		13,55	100	7854	17,25
28°		13,67	100	7854	17,41
29°		12,97	100	7854	16,51
30°		13,82	100	7854	17,60

A partir dos resultados expostos na Tabela 3, é possível observar a variação ao comparar cada estrutura interna. Com os dados experimentais, foi admissível avaliar cada estrutura individualmente, e assim traçar um paralelo final entre todos os CPs construídos com concreto. Para isso, elaborou-se a curva estatística de Gauss,

muito empregada em análises de resistência do concreto à compressão, conforme demonstra a Figura 40.

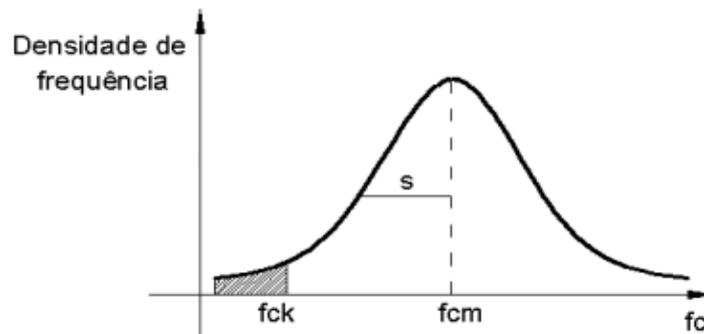


Figura 40 - Curva de Gauss.

Fonte: (LIBÂNIO, 2004).

Onde f_c : é a resistência à compressão simples; f_{cm} : é a resistência média do concreto à compressão; f_{ck} : resistência característica do concreto a compressão; s : é o desvio padrão dos CPs.

Nesta pesquisa, todos os corpos de prova serão comparados com os CPs (padrão), estes foram construídos apenas de concreto. Os dados tabelados referentes às curvas, estão disponíveis na página 95 no Apêndice A.

A primeira análise realizada, ocorreu a partir da comparação dos CPs de concreto (padrão), com os CPs de concreto que possuíam estruturas internas de ripas sem impermeabilizante, conforme Figura 41.

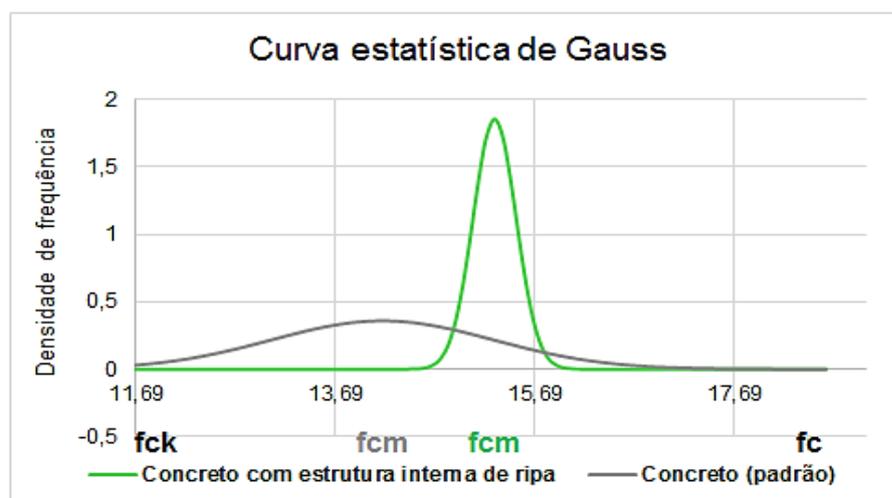


Figura 41 - Curvas de Gauss do concreto padrão em comparação com o concreto que possui estruturas internas de ripa de bambu.

Na Figura 41 a comparação entre o f_{ck} e f_{cm} dos concretos, demonstram que os CPs de concreto (padrão), não tiveram uma distribuição normal, ao compará-los

com os CPs de concreto que possui estruturas internas de ripas de bambus.

Fusco (2008) e Isaia (2007), definem o valor da resistência característica do concreto (f_{ck}), como sendo a área em que 95% dos CPs possuem $f_c \geq f_{ck}$.

O valor de f_{ck} , segundo Pinheiro (2007) pode ser obtido através da Equação 01, onde (s) é o desvio padrão e 1,65 representa a área na distribuição normal, conforme a Equação 01.

$$f_{ck} = f_{cm} - 1,65 \cdot s \quad \text{Equação 01}$$

Calculando o f_{ck} dos CPs de estruturas internas de ripas de bambus, o resultado é exposto na Equação 02, em comparativo com o f_{ck} dos CPs de concreto (padrão), que é expresso na Equação 03.

$$f_{ck} = 15,33 - (1,65 \cdot 0,214) = 14,98 \text{ MPa} \quad \text{Equação 02}$$

$$f_{ck} = 14,16 - (1,65 \cdot 1,110) = 12,33 \text{ MPa} \quad \text{Equação 03}$$

Portanto, comparando os resultados expostos, tem-se que a resistência característica do concreto com maior eficiência apresentada, são os resultados encontrados nos CPs de concreto com estruturas internas de ripas de bambu.

A Figura 42 compara o f_{ck} e f_{cm} dos corpos de prova de concreto (padrão), com os CPs de concreto com estruturas internas de bambus cilíndricos.

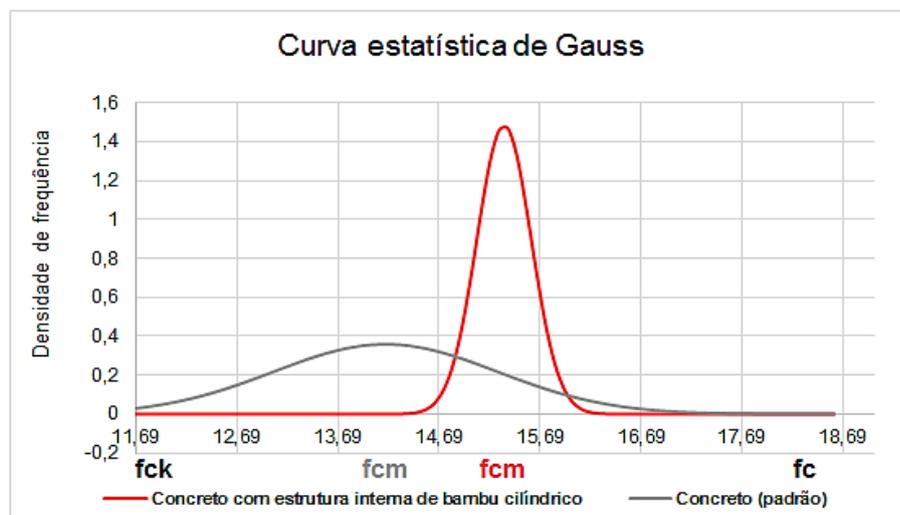


Figura 42 - Curvas de Gauss do concreto padrão em comparação com o concreto que possui estruturas internas de bambu cilíndrico.

Aplicando a Equação 01 com os dados dos CPs de concreto (padrão), em

comparativo com os dados dos CPs de concreto com estruturas internas de bambus cilíndricos, temos os resultados expressos na Equação 04.

$$f_{ck} = 15,46 - (1,65 \cdot 0,269) = 15,02 \text{ MPa}$$

Equação 04

Comparando os resultados obtidos na Equação 04 com os mencionados na Equação 03 (concreto padrão), na página 61 deste estudo, observou-se que a resistência característica do concreto com maior eficiência, encontra-se nos corpos de prova de concreto com estruturas internas de bambus cilíndricos.

A Figura 43 demonstra o f_{ck} e f_{cm} dos corpos de prova de concreto (padrão), em comparação com os CPs de estruturas internas de aço CA50, exemplificando as curvas comparativas dos materiais.

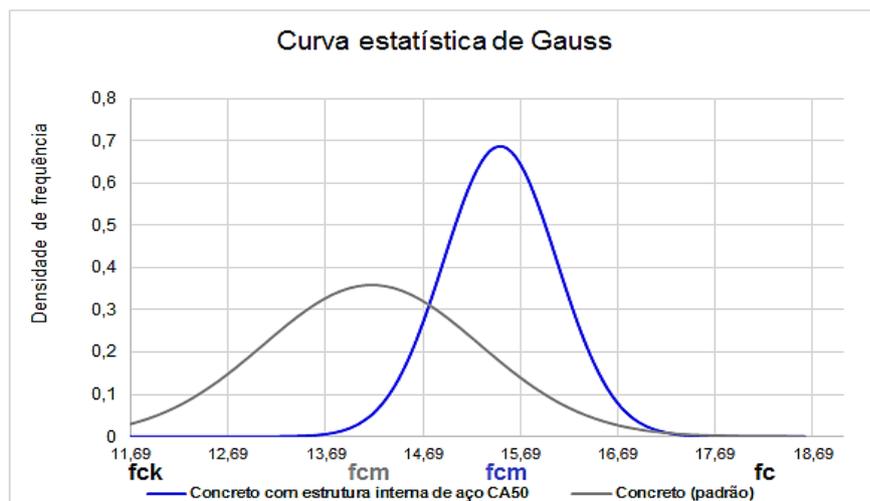


Figura 43 - Curvas de Gauss do concreto padrão em comparação com o concreto que possui estruturas internas de aço CA 50.

Portanto, aplicando a Equação 01 nos CPs de concreto com estrutura interna de aço CA 50, temos os resultados expostos na Equação 05.

$$f_{ck} = 15,32 - (1,65 \cdot 0,580) = 14,36 \text{ MPa}$$

Equação 05

Comparando os resultados obtidos na Equação 05 com os mensurados na Equação 03 (concreto padrão), que encontra-se na página 61 deste estudo, observou-se que a resistência característica do concreto com maior eficiência, foi apresentada pelos corpos de prova de concreto com estruturas internas de aço CA 50.

Finalizando as relações comparativas entre os f_{ck} e f_{cm} dos corpos de prova,

a Figura 44 evidencia curvas de Gauss dos CPs de concreto (padrão), em comparativo com os CPs de concreto que possuem estruturas internas de ripas de bambus impermeabilizadas.

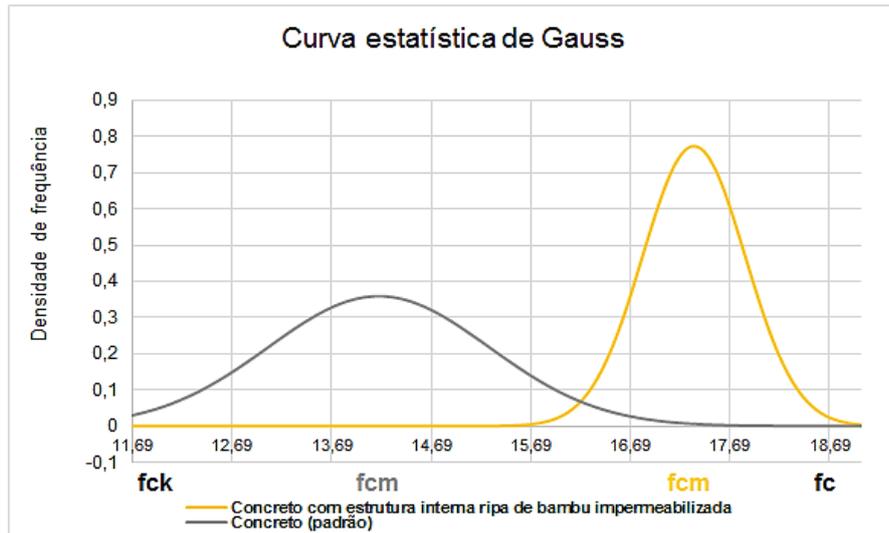


Figura 44 - Curvas de Gauss do concreto padrão em comparação com o concreto que possui estruturas internas de ripas de bambu impermeabilizadas.

Aplicando a Equação 01, com os dados dos CPs de concreto que possuem estruturas internas de ripas de bambus impermeabilizadas, tem-se os resultados expostos na Equação 06.

$$fck = 17,18 - (1,65 \cdot 0,515) = 16,33 \text{ MPa}$$

Equação 06

A partir dos resultados expostos na Equação 06 em comparação com os obtidos através da Equação 03 (concreto padrão), que se encontra na página 61 desta pesquisa, observou-se que a resistência característica do concreto com maior eficiência, estavam nos corpos de prova de concreto, que possuíam estruturas internas de ripas de bambus impermeabilizadas, com a resina vegetal.

Analisando os valores calculados de fck característicos, após aplicação das equações, notou-se que os corpos de prova que apresentaram maior resistência característica, foram os corpos de prova de concreto com estruturas internas de ripas de bambus Mosô, impermeabilizadas com a resina vegetal de mamona, sendo possível constatar esses resultados no Quadro 4.

Quadro 4 - Resultado do fck característico dos corpos de prova com concreto.

Estrutura Interna dos CPs	fck característica do concreto calculada (MPa)
Ripa de bambu	14,98
Bambu cilíndrico	15,02
Aço CA50	14,36
Concreto	12,33
Ripa de bambu impermeabilizado	16,33

Nos ensaios de compressão axial, os cálculos da tensão, deformação e do módulo de elasticidade, são necessários para compreender a deformação residual, após as descargas das forças nos corpos de prova.

Para determinar a tensão de compressão, aplica-se a Equação 07.

$$T = \frac{F}{S} \quad \text{Equação 07}$$

Sendo respectivamente: (T) a tensão de compressão em MPa; (F) a força de compressão em N e (S) a área da seção do corpo de prova em mm².

As forças de compressões utilizadas nas equações, é a média aritmética dos resultados expressos na Tabela 3, que se encontram na página 59.

Para os corpos provas com estruturas internas de bambus cilíndricos, conforme explicou-se no subcapítulo 2.3 na página 41, os CPs 8, 10 e 12 possuem nó, assim tem-se o exposto na Equação 08.

$$T = \frac{118660,47}{7854} = 15,11 \text{ MPa} \quad \text{Equação 08}$$

Aplicando-se a média aritmética nos corpos de provas, com estruturas internas de bambus cilíndricos e conforme explicou-se no subcapítulo 2.3 na página 41, os CPs 7, 9 e 11 possuem nó, então tem-se o exposto na Equação 09.

$$T = \frac{119543,06}{7854} = 15,22 \text{ MPa} \quad \text{Equação 09}$$

Aplicando-se a média aritmética nos corpos provas, com estruturas internas de

ripas de bambus, tem-se o exposto na Equação 10.

$$T = \frac{118072,07}{7854} = 15,034 \text{ MPa} \quad \text{Equação 10}$$

Aplicando-se a média aritmética nos corpos provas, que possuem estruturas internas de ripas de bambus impermeabilizadas (sem nó), tem-se o exposto na Equação 11.

$$T = \frac{132389,78}{7854} = 16,86 \text{ MPa} \quad \text{Equação 11}$$

Aplicando-se a média aritmética nos CPs com estruturas internas de aço CA 50, tem-se o exposto na Equação 12.

$$T = \frac{118072,07}{7854} = 15,034 \text{ MPa} \quad \text{Equação 12}$$

Aplicando-se o maior resultado de f_{ck} dos CPs de concreto (padrão), tem-se o exposto na Equação 13.

$$T = \frac{109049,95}{7854} = 13,88 \text{ MPa} \quad \text{Equação 13}$$

Para calcular a deformação dos corpos de prova, são necessários dados como o módulo de elasticidade do bambu, concreto e aço.

A determinação do módulo de elasticidade do CP é variável, dependendo do sensor (extensômetro), encontrar-se próximo da camada externa do colmo ou próximo de um nó, (PEREIRA, 2012).

Pesquisas sobre as propriedades físicas e mecânicas de (GHAVAMI, 1997, 2001, 2002; CULZONI, 1996; CRUZ, 2009), caracterizaram alguns tipos de bambus e contribuem estabelecendo parâmetros, para seu uso e análise.

Assim, as propriedades mecânicas de *Phyllostachys aurea*, em distintas regiões do colmo encontram-se sumarizadas no Quadro 05.

Quadro 5 - Propriedades mecânicas do bambu Mosô.

Propriedades do <i>P. Aurea</i>	Base com nó	Base sem nó	Mediana com nó	Mediana sem nó	Topo com nó	Topo sem nó	Média
Resistência à tração (MPa)	174,7	193,1	220,3	234,8	167,1	272,4	210
Módulo de elasticidade na tração (GPa)	19	18,5	16,3	20,8	15,2	23,7	18,9
Resistência ao cisalhamento paralela às fibras (MPa)	3,1	3,9	3,4	4,6	4,1	4,6	3,9
Resistência ao cisalhamento transversal às fibras (MPa)	51	44,5	47,1	46,9	37,8	44,6	45,4
Resistência à compressão (MPa)	72,6	68,6	51,3	79,86	75,5	77	70,9
Módulo de elasticidade na compressão (GPa)	24,3	21,1	22,7	25,4	22,3	33,1	24,8

Fonte: (CRUZ, 2009).

Como os corpos de prova cilíndricos (7, 9 e 11), possuem nó e foram extraídos do meio da vara, seguiu-se os dados do autor Cruz, (2009), que aponta o módulo de elasticidade na compressão para essa especificação, em 22,70 GPa. Enquanto que os corpos de prova (8, 10 e 12), não possuem nó e foram extraídos da base da vara, seguindo as especificações de Cruz, (2002), estas possuem o módulo de elasticidade na compressão em 21,10 GPa.

Para calcular a deformação nos CPs com estruturas internas de bambus, utilizou-se a Equação 14.

$$\varepsilon = \frac{T}{E} \quad \text{Equação 14}$$

ε : é a deformação;

T: é tensão de compressão (MPa);

E: é o módulo de elasticidade (MPa).

Com os dados da elasticidade do bambu *Phyllostachys aurea*, juntamente com os resultados adquiridos na Equação 09, foi possível calcular a deformação das estruturas cilíndricas de bambu com nó, conforme expressa a Equação 15.

$$\varepsilon = \frac{15,40}{22.700} = 0,000678 \times 100 = 0,0678\% \quad \text{Equação 15}$$

Isso significa que os CPs com estruturas internas de bambus com nó, sofreram uma deformação de 0,0678% que corresponde a 0,1356 mm. Por tratar-se de ensaio à compressão, essa variação ocorre no sentido do encurtamento da peça. Portanto, o comprimento final do corpo de prova é de 199,86 mm.

O mesmo cálculo de deformação, foi aplicado nos corpos de prova com estruturas cilíndricas de bambu, que não possuíam nó, e por isso possuem uma elasticidade diferente, conforme demonstra a Equação 16.

$$\varepsilon = \frac{15,52}{21.100} = 0,000735 \times 100 = 0,0735\% \quad \text{Equação 16}$$

Então, os corpos de prova com estruturas internas de bambus sem nó, sofreram uma deformação de 0,0735% que corresponde a 0,1471 mm. Por tratar-se de ensaio à compressão, essa variação ocorre no sentido do encurtamento da peça. Portanto, o comprimento final do corpo de prova é de 199,85 mm.

Aplicou-se o cálculo de deformação, nos corpos de prova que possuem estruturas internas de bambus, em formato de ripas. Essas amostras foram extraídas do meio da vara do bambu e não possuem nó. Assim, o cálculo é expresso na Equação 17.

$$\varepsilon = \frac{15,33}{22.700} = 0,000675 \times 100 = 0,0675\% \quad \text{Equação 17}$$

Os corpos de prova, que possuem estruturas internas de ripas e sem nó, sofreram uma deformação de 0,0675%, que corresponde a 0,1351 mm. Por, tratar-se de ensaio à compressão, essa variação ocorre no sentido do encurtamento da peça. Portanto, o comprimento final do corpo de prova é de 199,86 mm.

As mesmas análises e cálculos, foram realizadas nas estruturas internas de bambus impermeabilizadas, com a resina vegetal. Esses corpos de prova foram extraídos do topo e não possuem nó, então aplicou-se a Equação 18.

$$\varepsilon = \frac{17,18}{22.300} = 0,000770 \times 100 = 0,0774\% \quad \text{Equação 18}$$

Com o resultado da Equação 18, é possível analisar que os CPs com estruturas internas de bambus impermeabilizados e sem nó, sofreram uma deformação de 0,0774% que corresponde a 0,1541 mm. Por tratar-se de ensaio à compressão, essa variação ocorre no sentido do encurtamento da peça. Portanto, o comprimento final do corpo de prova é de 199,85 mm.

Segundo a NBR 6118 de 2014, na falta de ensaios ou valores fornecidos pelo fabricante, o módulo de elasticidade do aço pode ser admitido igual a 210.000 MPa, seguindo a instrução da Norma, aplicou-se a Equação 19.

$$\varepsilon = \frac{15,32}{22.100} = 0,00069 \times 100 = 0,0693\% \quad \text{Equação 19}$$

Isso significa que os CPs com estruturas internas de aço CA 50, sofreram uma deformação de 0,0693% que corresponde a 0,1386 mm. Por tratar-se de ensaio à compressão, essa variação ocorre no sentido do encurtamento da peça. Portanto, o comprimento final do corpo de prova é de 199,86 mm.

Para calcular o módulo de elasticidade para concreto de classe C 20 a C 50, a NBR 6118 de 2014 fornece a Equação 20.

$$E = \alpha_e \cdot 5600 \sqrt{f_{ck}} \quad \text{Equação 20}$$

Onde:

E: é a elasticidade (MPa);

f_{ck}: é a resistência característica (MPa);

α_e: 1,2 para basalto e diabásio;

α_e: 1,0 para granito e gnaisse;

α_e: 0,9 para calcário;

α_e: 0,7 para arenito.

Todos os corpos de prova com concreto, foram confeccionados com cimento CII F32, que possui de 90 a 94 % de clínquer em sua composição, então para definir o α_e a ser adotado, utilizou-se as características da composição do cimento, descritas pela Associação Brasileira de Cimento *Portland* (ABCP), conforme o Quadro 6 demonstra.

Quadro 6 - Composição do cimento Portland para CP II F32.

Tipo	Sigla	Classe	Composição (%)				Norma Brasileira
			Clínquer + Gesso	Escória	Pozolana	Filer	
Comum	CP-I	25	100	0	0	NBR 5.732	
		32					
		40					
	CP-IS	25	95 a 99	1 a 5			
32							
40							
Composto	CP-II-E	25	56 a 94	6 a 34	6 a 14	0 a 10	
		32					
		40					
	CP-II-Z	25	76 a 94	0	0	0 a 10	NBR 11.578
		32					
		40					
	CP-II-F	32	90 a 94	0	15 a 50	6 a 10	
		40					
Alto forno	CP-III	25	25 a 65	35 a 70	0	0 a 5	NBR 5.735
		32					
		40					
Pozolânico	CP-IV	25	45 a 85	0	15 a 50	0 a 5	NRB 5.736
		32					
Alta Resistência Inicial	CP-V	-	95 a 100	0	0	0 a 5	NBR 5.733

Fonte: (ABCP, 2002).

Segundo a ABCP (2002), o clínquer é uma mistura de calcário, argila e minério de ferro (Fe), portanto na Equação 20, aplicou-se o coeficiente α : 0,9 para calcário, conforme demonstra a Equação 21.

$$E = 0,9.5600\sqrt{20} = 22.539,565 \text{ MPa} \quad \text{Equação 21}$$

Desse modo, obteve-se o módulo de elasticidade do concreto, para o traço utilizado nos corpos de provas, deste estudo. Então, calculou-se a deformação, conforme a Equação 22.

$$\varepsilon = \frac{14,16}{22.540} = 0,000628 \times 100 = 0,0628\% \quad \text{Equação 22}$$

Com o resultado obtido na Equação 22, verificou-se que os corpos de prova de concreto (padrão), sofreram uma deformação de aproximadamente 0,0628%, que corresponde a 0,1256 mm. Por tratar-se de ensaio à compressão, essa variação ocorre no sentido do encurtamento da peça. Portanto, o comprimento final do corpo de prova é de 199,87 mm.

Observando os resultados nos corpos de prova de concreto, que possuem estruturas internas de bambus, nota-se que o bambu extraído do topo, apresentou uma maior resistência, que vai reduzindo ao chegar na base, desse modo é preferível empregar em estruturas, as partes do topo e meio de uma vara, por apresentarem maiores valores de resistência.

Com os resultados alcaçados, através das equações referenciadas nas NBRs (5739 e 6118), elaborou-se a Tabela 4, para expressar os dados calculados.

Tabela 4 – Resultado dos corpos de prova confeccionados com concreto.

CORPOS DE PROVAS COM CONCRETO						
ESTRUTURA INTERNA DO CONCRETO	MATERIAL EXTRAÍDO	Comprimento inicial (mm)	Comprimento final (mm)	Elasticidade (MPa)	Deformação (%)	Tensão de compressão (MPa)
BAMBU CILÍNDRICO (com nó)	Meio da vara	200	199,86	22.700	0,0678%	15,11
BAMBU CILÍNDRICO (sem nó)	Base da vara	200	199,85	22.100	0,0735%	15,22
BAMBU EM RIPA (sem nó)	Meio da vara	200	199,86	22.700	0,0675%	15,03
BAMBU EM RIPA IMPERMEABILIZADA (sem nó)	Topo da vara	200	199,85	22.300	0,0774%	16,86
AÇO CA50 (helicoidal)	–	200	199,86	21.000	0,0693%	15,03
CONCRETO (padrão)	–	200	199,87	22.540	0,0628%	13,88

Analisando os dados da Tabela 4, pode-se indicar que os corpos de prova que apresentaram uma maior tensão de compressão, foram os CPs com estruturas internas de ripas de bambus impermeabilizadas, que obtiveram o resultado máximo de 16,86 MPa, sendo este 9,73% mais resistente à tensão de compressão, que o segundo maior resultado apresentado nos CPs de (bambu cilíndrico sem nó).

Ao comparar o resultado máximo com o mínimo, que foi obtido nos CPs de concreto (padrão), a maior resistência encontrada, aumenta de forma mais acentuada indo de 9,73% para 17,67%. Com isso, é possível validar que dentre as estruturas internas, a confeccionada em forma de ripa impermeabilizada é a mais eficiente, ou seja, está é a estrutura interna que agrega maior resistência mecânica ao concreto.

Comparando os corpos de prova mais eficientes, existem algumas diferenças entre eles que merecem ser destacadas, como por exemplo, as peças que suportaram as máximas tensões, se tratam das estruturas em forma de ripa, que foram

impermeabilizadas e não possuem nó. Enquanto, que os corpos de provas, que ocupam o segundo lugar em relação aos resultados obtidos, possuem estruturas internas de bambu em formato cilíndrico, e estes também não possuem nó.

Portanto, sabendo que os corpos de prova com maiores resistências à compressão axial, não possuem nó em suas estruturas, permite-se considerar que o nó é um ponto fraco no bambu, ou seja, este não contribui com resistência à compressão do mesmo. Pois, as protuberâncias dos nós, que quase não possuem significância, além do papel desempenhado no crescimento da planta e por serem pontos fracos, é onde a camada superficial de sílica interrompe-se, e o colmo é mais fraco, (LÓPES, 2003; BALLESTÉ, 2017).

A resistência mecânica vê-se diminuída relativamente na região do nó, ainda assim, em termos gerais, o colmo continua apresentando valores de tensão de ruptura maior que qualquer outro valor, obtido em testes de esforços de outras direções, segundo Ballesté, (2017). Essa afirmativa pode ser visualizada nos corpos de prova ensaiados, onde os CPs cilíndricos de bambu que mesmo (com nó), obtiveram uma mesma tensão de deformação em 15,11 MPa, resultado esse maior que a tensão apresentada pelo o aço CA 50.

Outro ponto a ser observado na Tabela 4, são as deformações dos corpos de prova. Como o Brasil não possui uma NBR específica para bambu, será utilizada como base a Norma peruana (E100 de 2006), que discorre sobre construção com bambu, e específica que não é permitido a aplicação de um bambu, que apresente uma deformação superior a 0,33% no comprimento do elemento. Então, ao analisar os corpos de prova de concreto, que possuem estruturas internas, têm-se as deformações entre 0,0675 a 0,0774%, com esses resultados e baseando-se pela Norma peruana, é possível afirmar que esses corpos de prova com bambu, enquadram-se na especificação de aplicação.

Segundo Ballesté (2017), existe uma relação entre a resistência à compressão e a quantidade de fibras grossas da parede celular secundária, portanto, a área externa da seção do bambu resiste mais.

A NBR 5739 de 2007, propõe os tipos de rupturas em um corpo de prova de concreto, quando submetidos com cargas compressivas. Desse modo é possível avaliar, se os corpos de prova ensaiados nesta Dissertação, apresentaram as rupturas conforme determina a Norma, assim sendo a Figura 45 demonstra o exposto na NBR.

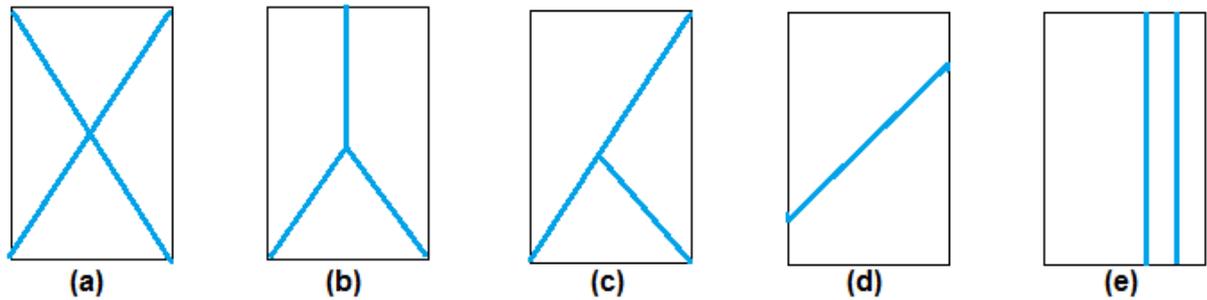


Figura 45 - Esboço dos tipos de ruptura: (a) Cônica, (b) Cônica e bipartida, (c) Cônica e cisalhada, (d) Cisalhada e (e) Colunar.

Fonte: Adaptado (NBR 5739, 2007).

Analisando o esboço da NBR 5739 na Figura 45, e comparando-os com os resultados finais apresentados nos CPs, é possível traçar um paralelo e verificar as rupturas originadas, após o ensaio de compressão axial, como demonstra a Figura 46.



Figura 46 - Tipos de rupturas nos corpos de prova. (a) Cônica e cisalhada no CP. (b) Cônica no CP. (c) Cônica e bipartida no CP. (d) Colunar no CP. (e) Cônica e bipartida no CP. (f) Cisalhada.

Ao comparar os esboços de rupturas expostos na NBR 5739, com os CPs ensaiados, pode-se observar os seguintes tipos de rupturas por CP: (a) Cônica e

cisalhada ocorreu no corpo de prova de concreto, com estrutura interna de ripa de bambu; (b) Cônica aconteceu no corpo de prova de concreto, com estrutura cilíndrica de bambu; (c) Cônica e bipartida ocorreu no corpo de prova de concreto, com estrutura interna de aço CA50; (d) Colunar aconteceu em alguns corpos de prova de concreto (padrão); (e) Cônica e bipartida ocorreu no corpo de prova de concreto, com estrutura interna de ripa impermeabilizada e (f) Cisalhada ocorreu no corpo de prova de concreto (padrão).

Ao se trabalhar com um material desprovido de Norma específica na ABNT, onde teríamos as especificações padrões de ensaios e patamares quantitativos de propriedades a serem avaliadas, faz-se necessária a realização de mais ensaios sistemáticos, para analisar com rigor todos os pontos positivos e negativos, e desse modo fornecer para a literatura, um material de procedência segura para consulta.

Analisando o comportamento dos corpos de prova, com ripas de bambu, a curva média de tensão x deformação situou-se na faixa de 15,33 MPa. É possível que esses CPs não tenham obtido uma média maior, possivelmente, devido ao fenômeno de exsudação (absorvendo a água do concreto), pois essas peças não foram impermeabilizadas, justamente para avaliar esse resultado e comportamento. Alguns dos corpos de prova rompidos, são expressos na Figura 47.

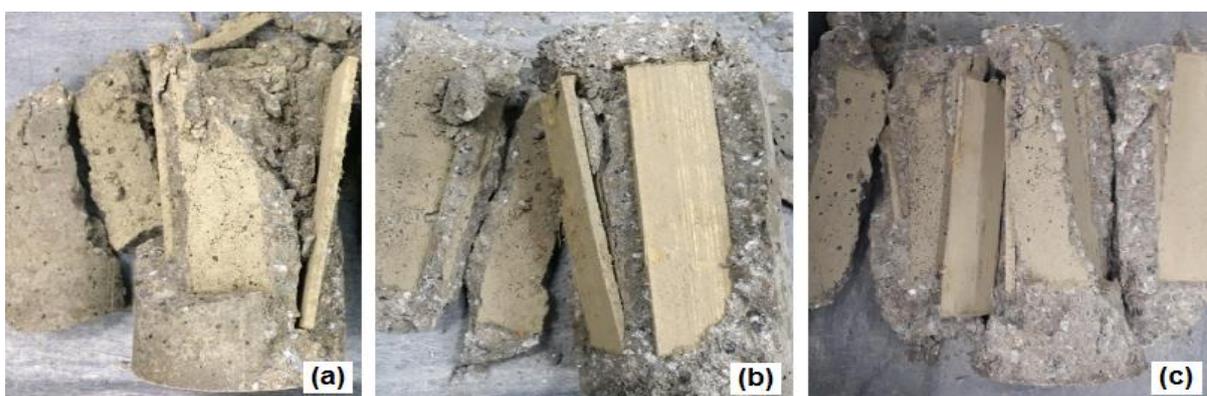


Figura 47 - Corpo de prova ensaiado para análise interna do comportamento da ripa de bambu. (a) Aspecto geral do CP, (b) Aspecto da superfície das ripas após ensaio (c) O concreto e a aderência das ripas.

Na Figura 47, é possível observar que não há aderência entre o concreto e o bambu. Como nesta estrutura não houve aplicação da resina impermeabilizante em sua superfície, isso dificultou a aderência do bambu no concreto, podendo ter alterado a resistência mecânica da fibra, bem como a qualidade do concreto.

A curva média de tensão x deformação dos corpos de prova, que possuíam

estruturas internas de bambus cilíndricos, estes com (nó), apresentaram resultados na faixa de 15,40 MPa. Esses corpos de prova de *Phyllostachys aurea*, tiveram uma ótima aderência com o concreto, como ilustra a Figura 48.



Figura 48 - Corpos de prova cilíndricos com nó, ensaiados para análise interna: (a) Aderência da estrutura cilíndrica com o concreto. (b) Demonstração da estrutura cilíndrica com nó. (c) Aspecto geral do Concreto com a estrutura de vara após o rompimento.

Contudo, durante a abertura do concreto para verificação do comportamento do bambu confinado, percebeu-se que também houve absorção da água, pois foi possível notar a umidade na vara, bem como sua coloração modificada devido a água, como ilustra a Figura 49.

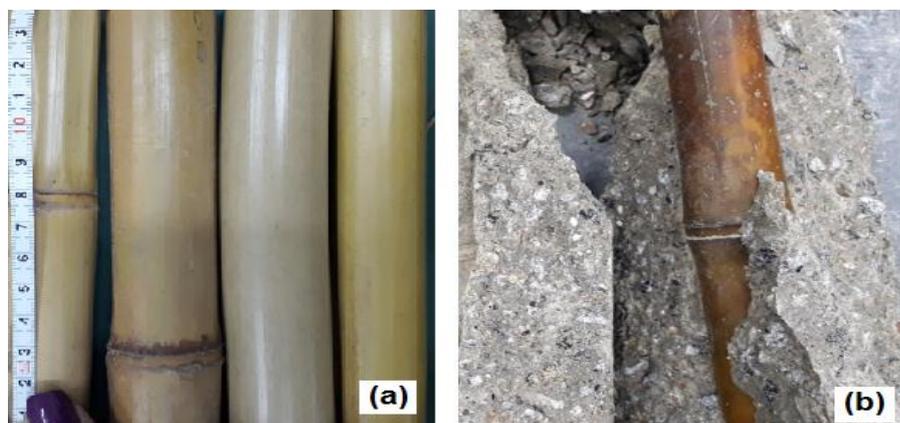


Figura 49 - Estrutura interna cilíndrica. (a) Bambu cilíndrico antes de ser confinado no concreto, com cor clara e sem umidade. (b) Bambu cilíndrico após ser confinado no concreto, com modificação da coloração e umidade.

Analisando a curva média de tensão x deformação dos corpos de prova, com estruturas internas de aço CA 50, estes obtiveram um resultado na faixa de 15,32 MPa. Sendo está relação (concreto e estrutura), muito bem estabelecida, pois a aderência do aço e concreto, é assegurada no concreto armado, por isso a armadura não se deslocou do concreto que as abrangeram, conforme Figura 50.



Figura 50 - Corpos de prova ensaiados com estruturas internas de aço CA 50: (a) estruturas do aço fixas na abertura do concreto. (b) Aderência perfeita (concreto e aço). (c) Nervuras do aço e relação de aderência.

Portanto, observamos que os corpos de prova com estruturas internas de aço CA 50, não apresentaram mobilidade na abertura do concreto. Houve uma perfeita aderência entre os mesmos, sendo necessário abrir os CPs com martelo, após as rupturas para uma melhor observação, uma vez que as nervuras do aço colaboraram com a aderência do sistema (concreto e estrutura interna). Essa união é uma determinante, em relação à capacidade de cargas nas estruturas.

Ao analisar a curva média de tensão x deformação dos corpos de prova, produzidos com concreto (padrão), obtive-se o valor médio de 14,16 MPa. Os CPs de concreto foram confeccionados para servirem de parâmetro, aos demais corpos de prova experimentais, como por exemplo, o bambu e aço. Literaturas brasileiras apontam o concreto na construção civil, como o responsável por suportar cargas de compressões axiais, como observados na Figura 51.

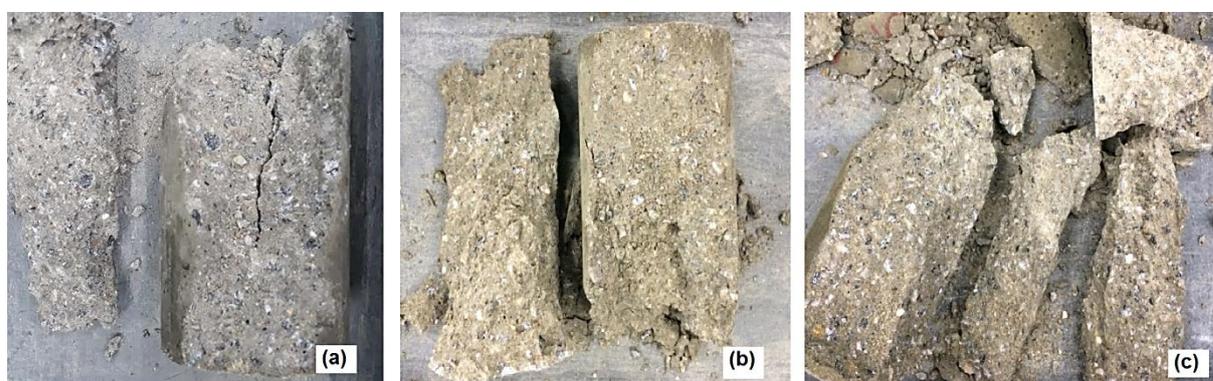


Figura 51 - Corpos de prova de concreto ensaiados: (a) Ruptura interna no CP de concreto (padrão). (b) Ausência de variação dimensional (encurtamento) após compressão. (c) O corpo de prova rompeu de cisalhada.

Portanto, a partir dos comportamentos e valores dos CPs de concreto (padrão),

é possível comparar os resultados obtidos, para com os demais CPs produzidos com diferentes estruturas internas, e assim comprova-se a melhoria na resistência do concreto, quando este possui uma estrutura interna de bambu.

Na avaliação dos corpos de prova, com estruturas internas de ripas de bambus impermeabilizadas, a curva de tensão média de tensão x deformação, situou-se na faixa de 17,18 MPa.

Os corpos de prova de concreto, com estruturas internas de ripas de bambus impermeabilizadas, tiveram uma excelente aderência no concreto, possivelmente essa união entre os materiais, é decorrente da aplicação da resina na superfície das ripas. A resina vegetal, extraída do óleo da mamona, cooperou para que as ripas de bambus não absorvessem a água do concreto, e um meio de comprovação deste fato, é que as colorações das ripas permaneceram iguais e sem umidade, como ilustra a Figura 52.



Figura 52 - Corpos de prova ensaiados com estruturas internas de ripas de bambu Mosô impermeabilizadas: (a) Aderência dos CPs com o concreto. (b) Fragmentação dos CPs para observação interna das ripas. (c) Integridade do concreto combinado as estruturas de ripas.

As ripas impermeabilizadas não absorveram a água do concreto. Sendo que a diminuição dessa água, interfere nas propriedades de resistência e durabilidade da estrutura, assim sendo, a dosagem correta de água no concreto é essencial para sua qualidade técnica, conforme (NBR 6118, 2014).

Observando os resultados apontados nos trinta (30) corpos de prova, pode-se ponderar que os CPs com estruturas internas de bambus Mosô impermeabilizadas, apresentaram resistências maiores que os corpos de provas, construídos com estruturas internas de aço e até mesmo os CPs de concreto (padrão).

Analisando o contexto do cenário mundial, a construção civil emprega

demasiadamente os materiais (aço e concreto), porém atualmente o planeta Terra necessita de materiais com propriedades mecânicas, ao passo que possam contribuir também, com a sustentabilidade, o meio ambiente e principalmente que colabore com manutenção planeta, minimizando os danos ocasionados pelo aquecimento global.

De forma geral, analisando todos os resultados apontados nas estruturas internas de bambu, constata-se que é viável e factível o emprego dessa matéria-prima. Após, demonstrarem ótima resistência mecânica em compressão axial.

A Figura 53, ilustra as curvas de dispersão em cada corpo de prova ensaiado, sendo possível visualizar que as ripas de bambus impermeabilizadas, apresentam valores superiores aos materiais mais empregados na construção civil, a citar, concreto e aço.

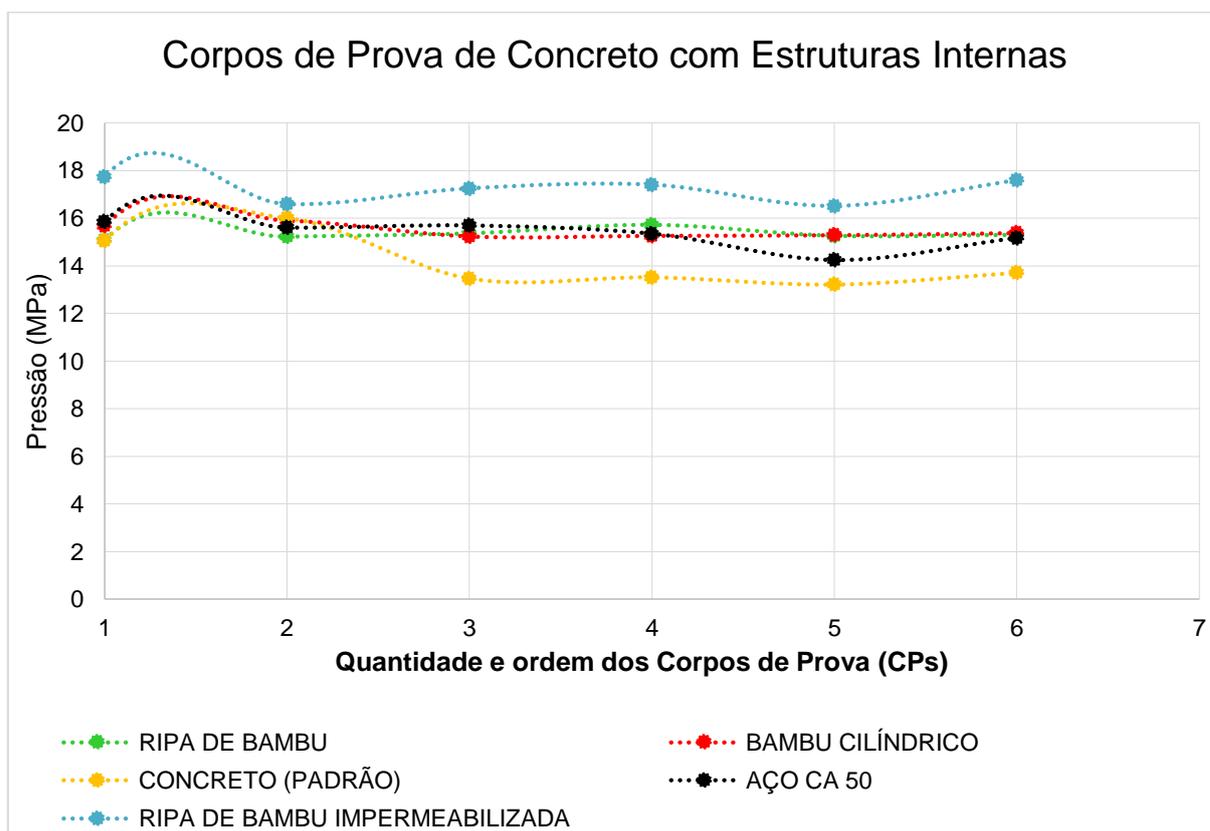


Figura 53 - Curvas de dispersão dos corpos de prova com concreto.

Sendo a junção do aço e concreto, uma estrutura resistente e já consolidada na construção civil, ainda sim, estes vêm perdendo o posto de materiais únicos, exclusivos e protagonista nas estruturas de concreto armado, principalmente nos âmbitos ambientais.

Embora o aço proporcione ganhos econômicos, devido sua ampla escala de

utilização, munido de agilidade nas construções e estruturas, este é cercado de impactos negativos para a sociedade e o meio ambiente. Nas últimas décadas intensificou-se os questionamentos acerca do aço, devido aos fatores de extração não possuírem reposição, bem como o consumo exacerbado de energia, a geração de resíduos e a poluição no meio ambiente, ambas originadas pelo rastro da produção em escala mercantil do aço.

A operação altamente poluente, procedentes da manufatura de ferro-gusa, aço e cimento, colaboram com a emissão desenfreada dos GEEs, estas indústrias necessitam de enormes contingentes de energia, para produção dos seus respectivos produtos, diferentemente do bambu, que por ser uma planta, quase não há consumo de energia em seu processamento.

Comparando a complexa cadeia siderúrgica do aço, com a cadeia produtiva do bambu, existem diversas diferenças, porém o aspecto mais relevante é que a indústria necessita, demasiadamente de recursos naturais, e conseqüentemente gera poluição para a atmosfera. Enquanto o bambu não utiliza recursos naturais, carregando consigo altos valores sustentáveis, desde o sequestro de CO₂ até a liberação de O₂ na atmosfera.

A partir do panorama de emissões de GEEs, e considerando as potencialidades do país, para contribuir para a mitigação das emissões desses gases, pode-se considerar a necessidade de mudança, principalmente no setor que mais consome insumos naturais, como é o caso da construção civil. Assim sendo, é preciso atentar-se as diversas possibilidades técnicas a serem estudadas, como é o caso do bambu.

Sabe-se que essa planta é um compósito natural, formada majoritariamente por fibras, que lhe proporcionam resistência mecânica. A busca por essa especificidade ocorre há séculos, com a finalidade de se obter uma estrutura resistente.

O século XVII foi caracterizado por trabalhos com pedras, no século XVIII ocorreu o refinamento da alvenaria, o XIX é conhecido como o auge da estrutura metálica e o século XX é visto como a era do concreto, isso deixa o século XXI a um próximo sucessor. Minha aposta é a madeira, (RIJKE, 2018).

4 CONCLUSÕES

Com a importância e relevância da construção civil, na economia brasileira e a necessidade de redução dos custos em obras, o bambu pode colaborar com essas prerrogativas. Nesse sentido, percebe-se um movimento crescente da sociedade civil, em prol da preservação do meio ambiente, onde as buscas por novas alternativas e técnicas evoluam, não apenas no sentido de minimizar os impactos ambientais, mas também para atenuar a exploração exacerbada de insumos naturais.

O bambu em forma de ripa foi avaliado quanto à absorção de água, constatando uma grande variação de peso nas ripas sem impermeabilizantes. Tal observação faz-se necessária antes das ripas serem aplicadas no concreto, para evitar o fenômeno de retração do concreto e proliferação de fungos.

Analisando os valores calculados de fck característicos após a aplicação das equações, foi possível observar que os corpos de prova com maior resistência característica, correspondem aos corpos de prova de concreto, com estrutura interna de ripa de bambu Mosô, impermeabilizadas com a resina vegetal de mamona, obtendo assim o maior resultado de fck com 16,33 MPa.

Considerando as propriedades mecânicas do bambu, em função da região a qual o corpo de provas foi extraído, a maior tensão de compressão, ocorreu no CP com estrutura interna de bambu, em formato de ripa impermeabilizada e sem nó. Essa estrutura apresentou 9,73% mais resistência, do que o segundo melhor resultado exposto. Este segundo melhor resultado, ocorreu no CP de concreto com estrutura interna de bambu cilíndrico e sem nó. Logo, é possível estimar que os nós, são prejudiciais a resistência mecânica à compressão, quesito esse avaliado na composição estrutural interna do bambu.

Com embasamento nos resultados ao longo deste estudo e os contextos ambientais apresentados, é viável a aplicação do bambu *Phyllostachys pubescens* em uso total ou parcial com outros materiais, conforme os CPs construídos de concreto gramíneo demonstraram nas tensões de compressão. Também é possível a aplicação do bambu *Phyllostachys aurea* como reforço do concreto, desde que essa planta não tenha nó, pois desse modo atinge níveis maiores de resistência à compressão axial.

Os números oriundos dos ensaios de compressões axiais, nas fibras do bambu sem concreto, obtiveram uma média de 42,64 MPa. Desse modo a resistência à compressão do bambu neste estudo, aproximou-se da faixa apontada por López

(1974), que determina a variação neste ensaio técnico de 20 a 120 MPa. Porém, é recomendado solicitar esforços compressão no eixo longitudinal do colmo, pois foram nesses pontos a obtenção dos maiores resultados.

Abordando o valor de variação entre o aço e bambu, é admissível afirmar que o objetivo principal desta Dissertação foi alcançado, pois o bambu Mosô possui resistência e características mecânicas, para ser empregado como alternativa do aço e concreto na construção civil, assim relaciona-se o cumprimento do objetivo específico, contribuindo com a divulgação de um material, que possui o efeito de reduzir os custos na construção civil, produzindo benefícios socioambientais, bem como, este estudo providencia um material de conteúdo científico, que alimente a ausência de trabalhos desenvolvidos na avaliação das características e propriedades mecânicas do bambu.

Por fim, os resultados adquiridos ao longo desta Dissertação, permitem considerar que o bambu detém resistências mecânicas, para ser empregado em pilares de forma isolada ou parcial com outros materiais, visando a mitigação dos danos ambientais e, conseqüentemente reduzindo o aquecimento global, com a minimização dos GEEs emitidos nos processos de extração e produção de aço e cimento, em suas respectivas indústrias. Desse modo é factível afirmar que o bambu coopera com a Engenharia sustentável e a manutenção do planeta Terra.

4.1 Trabalhos futuros

Essa Dissertação analisa o comportamento do bambu confinado no concreto, com a realização de ensaios de compressões axiais, aplicando as NBRs necessárias. Para continuar essa temática, faz-se necessário estudos acerca dos seguintes tópicos:

- Analisar o processo de exsudação do bambu confinado no concreto;
- Processos impermeabilizações naturais para madeiras, com objetivo de aplicação voltado para o bambu;
- Comportamento das condições estruturais do bambu no concreto;
- Construção de um protótipo real de residência, para acompanhar e analisar o bambu em uma edificação;
- Procedimentos para manter a parte externa do bambu mais rugosa.

5 VERSÃO COMPACTA

Título: CONSTRUIR COOPERANDO COM O MEIO AMBIENTE: BAMBU EM PROL DA ENGENHARIA SUSTENTÁVEL

Resumo

O planeta Terra sofre com as atitudes e agressões do Homem, que ocasionaram ao longo dos séculos feridas no Meio Ambiente, através da exploração de recursos naturais, desmatamento, poluição, contaminação do solo, ar e das águas, gerando condições climáticas adversas, aumento do aquecimento global e tantas outras mazelas. Toda ação tem uma consequência, como as sequelas deixadas pelas intervenções citadas. Nesse sentido há um movimento crescente da sociedade civil organizada, em prol da preservação do meio ambiente, buscando por alternativas e novas técnicas que não apenas minimizem os impactos ambientais, mas também atenuem a exploração exacerbada de insumos, cooperando para um desenvolvimento socioeconômico justo e equilibrado. O emprego do bambu nos diversos campos da Arquitetura e Engenharia é uma alternativa para o trajeto deste desenvolvimento, pois esta planta é um excelente sequestrador de carbono, é um material resistente, leve, versátil e com extraordinárias características mecânicas, físicas e químicas, que lhe permitem várias formas de aplicações ao natural ou processadas, com reprodução rápida em condições de baixos requisitos. A aplicação do bambu na construção civil, não carece de mão de obra técnica especializada, onde, esse fato pode ampliar a empregabilidade de enormes contingentes de pessoas, gerando emprego e renda, nessa crise econômica que afeta o Brasil. O bambu é flexível, apresenta longa durabilidade e uma ótima resistência aos principais esforços e solicitações das edificações, bem como coopera com a Arquitetura e Engenharia sustentável. Ainda existe preconceito e pouca informação quanto ao uso do material no segmento da construção civil, entretanto o maior problema é a falta de parâmetros de cálculo para que essas obras possam ser regulamentadas e, deste modo, serem melhor projetadas, desenvolvidas e difundidas pelos profissionais responsáveis.

Palavras chave: Bambu. Construção civil. Sustentável.

Title: TO BUILD COOPERATING WITH THE ENVIRONMENT: BAMBOO ON BEHALF OF SUSTAINABLE ENGINEERING

Abstract

The planet Earth suffers from the attitudes and aggressions of man, which have caused over the centuries wounds in the environment, through exploitation of natural resources, deforestation, pollution, soil contamination, air and water, generating adverse climatic conditions, increased global warming and so many other ills. Every action has a consequence, like the sequels left by the interventions mentioned. In this sense, there is a growing movement of organized civil society, in favor of preserving the environment, seeking alternatives and new techniques that not only minimize environmental impacts, but also attenuate the exacerbated exploitation of inputs, cooperating for a fair and balanced socioeconomic development. The use of bamboo in the various fields of Architecture and Engineering is an alternative to the path of this

development, as this plant is an excellent carbon sequestrator, is a resistant material, lightweight, versatile and with extraordinary mechanical, physical and chemical characteristics that allow for various forms of natural or processed applications, with fast reproduction under conditions of low requirements. The application of bamboo in construction does not lack specialized technical manpower, where this fact can increase the employability of huge contingents of people, generating jobs and income, in this economic crisis that affects Brazil. The bamboo is flexible, has long durability and excellent resistance to the main efforts and requests of the buildings, as well as cooperates with the Sustainable Architecture and Engineering. There is still prejudice and little information about the use of the material in the construction segment, however, the biggest problem is the lack of calculation parameters so that these works can be regulated and, in this way, better designed, developed and disseminated by the responsible professionals.

Keywords: Bamboo. Civil construction. Sustainable.

5.1 Introdução

O dióxido de carbono (CO₂) é um dos gases que mais originam impactos no meio ambiente, pois a emissão desenfreada desse e outros Gases do Efeito Estufa (GEEs) estão vinculados ao crescente aumento do aquecimento global, que podem ter efeitos catastróficos para o planeta Terra e conseqüentemente para a humanidade. Com isso iniciou-se a busca por materiais que possam reduzir os impactos ambientais, mas que continuem com eficiência física e mecânica.

De acordo com as Nações Unidas, (2008), “a construção civil consome 40% de toda energia, extrai 30% dos materiais do meio natural, gera 25% dos resíduos sólidos, consome 25% da água e ocupa 12% das terras”. Nesse quesito se faz necessário o uso e aplicação de materiais renováveis como o bambu, podendo ser aplicado no lugar do aço, concreto e madeira, pois possui excelentes características mecânicas na tração, flexão e compressão.

O bambu é um recurso renovável, pois seu crescimento é rápido e sua produção é anual. É um material antigo empregado nas habitações desde a colonização do Brasil, porém como material construtivo na engenharia civil e arquitetura, seu início foi a partir de 1987, mas ainda enfrenta algumas barreiras como a falta de Normas. Na Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), o bambu ainda não possui uma Norma Brasileira (NBR), é necessário um regulamento para consignar suas amplas características mecânicas e físicas em campo laboratorial, bem como suas inúmeras aplicações desde recuperação de áreas degradadas,

geração de biomassa, matéria-prima para construção civil, indústria têxtil e entre outras.

Analisando o bambu como material construtivo, são necessárias mais pesquisas sistemáticas, então o presente estudo configurou-se por meio de uma pesquisa de natureza qualitativa e quantitativa, sendo concretizada a coleta dos dados por meio de análises, ensaios e revisões bibliográficas, no intuito de examinar a característica desse material construtivo, apresentando as vantagens e desvantagens de seu emprego e suas principais áreas de aplicação.

5.2 Objetivo

Apresentar um material construtivo, que coopera com a engenharia sustentável.

5.3 Justificativa e Relevância do Tema

O bambu é uma planta que possui a capacidade de absorver a poluição do ar, solo e da água, isso ocorre porque o bambu absorve o (CO₂) da atmosférica, aspira o solo contaminado, liberando nutrientes na superfície terrestre e absorve as impurezas da água, contribuindo de forma positiva com a pegada ecológica, bem como reduzindo a utilização de materiais poluentes. Na produção do bambu, emprega-se menos energia do que na produção da madeira, do concreto e aço.

Analisando os benefícios do bambu, pode-se considerar que os aspectos ambientais dessa planta, viabilizam sua aplicação na construção civil.

As obras mundiais que empregam o bambu total ou parcialmente, em suas estruturas, comprovam a resistência da planta. Assim sendo, a aplicação estrutural do bambu precisa ser explorada, para se construir subsídios históricos, desse modo, este estudo visa colaborar com as pesquisas científicas em torno do bambu.

5.4 Histórico do bambu

As plantas são desmembradas conforme a classificação botânica, ou seja, em família, subfamília e outras categorias até aproximar-se da espécie e do gênero. Bambu é o nome popular das plantas da subfamília *Bambusoideae*, essa subfamília pertence à família das gramíneas. De acordo com Moraes (2011), existem

aproximadamente 1.250 espécies e 50 gêneros diferentes de bambu, que geralmente são encontrados com mais facilidades em regiões quentes e com fartas chuvas, ou seja, é comumente localizado em países tropicais ou subtropicais.

Materiais naturais como o bambu não são poluentes, pois não necessitam de consumo de energia e oxigênio em seu beneficiamento, sendo uma fonte renovável e de baixo custo. No Brasil as predominâncias climáticas são tropicais e subtropicais, nessas condições o bambu consegue desenvolver-se mais rápido que o eucalipto e o pinheiro. Atualmente o bambu é tradição nas culturas asiáticas como Japão, China e Indonésia, bem como nas Américas, principalmente em países como Equador e Colômbia. No Brasil é um material sem muito valor econômico, cultural e social, no geral visto como matéria-prima pouco nobre e inferior.

5.5 Técnicas para Cultivo do Bambu

O bambu adapta-se em qualquer tipo de solo, exceto os solos encharcados. É necessária uma área de no mínimo um hectare, ou seja, 10.000 m², para obtenção de brotos, mudas e colmos.

A técnica mais usual para se obter mudas com qualidade, ocorre através do método vegetativo, porém alguns especialistas consideram mais eficiente a técnica de propagação *in vitro*, porém essa técnica é pouco utilizada no Brasil, devido ao seu alto custo. Para garantir uma vara com qualidade, basta seguir os critérios da planta, conforme a Figura 54.

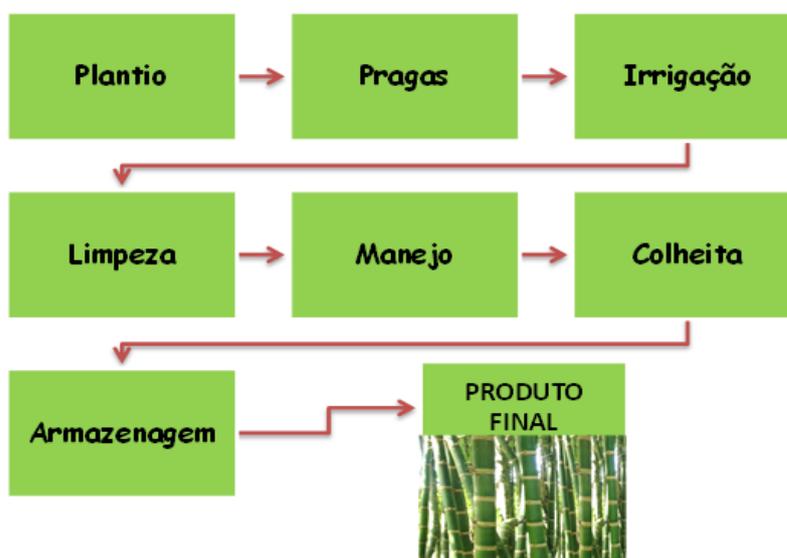


Figura 54 - Sequência de produção do Bambu.

5.6 Características do Bambu

O bambu pode ser arborecente mesmo sendo gramínea, pois algumas espécies possuem características de árvore, como por exemplo, na parte aérea possui: colmos, ramificações e folhas. Na parte subterrânea possui: raiz e rizoma, conforme demonstra a Figura 55.

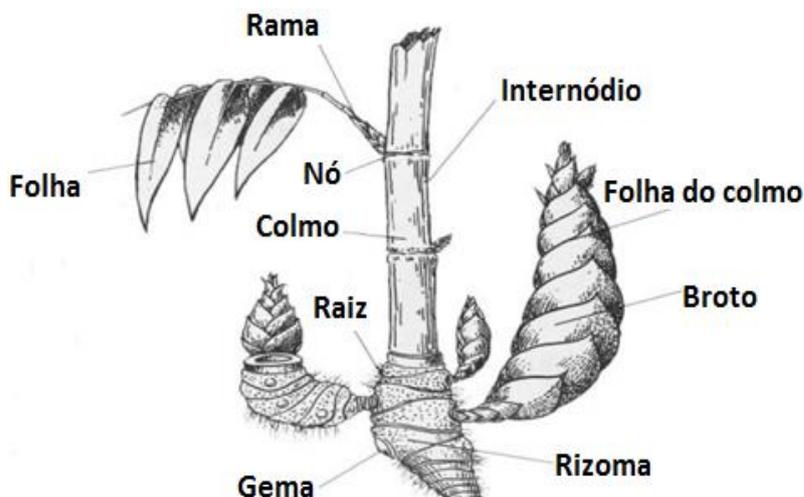


Figura 55 - Composição do Bambu.

Adaptado

Fonte: (MORAIS, 2011).

5.7 Aplicação do bambu na construção civil

Em alguns países da América Latina como Equador, Costa Rica, Peru e Colômbia, o bambu é aplicado em larga escala na construção civil. Nesses países encontram-se diversos modelos de edificações, comprovando sua potencialidade.

Uma estrutura seja de aço, madeira ou concreto precisa resistir à esforços: tração, compressão e cisalhamento, ou a ação combinada entre estas. Para que uma estrutura seja considerada eficaz, deve-se comportar de forma estável, durante a transferência de cargas entre seus elementos, para isso estas devem ser corretamente calculadas, garantindo a integridade e equilíbrio do conjunto.

As propriedades de resistências mecânicas, mais importantes no campo da engenharia são: resistência à tração, resistência à compressão, resistência ao cisalhamento, sendo essas forças sempre paralelas às fibras, Ghavami e Barbosa (2007).

Além das resistências notadas nos bambus, sua flexibilidade é uma das explicações do seu extenso emprego em construções na Ásia oriental, sendo está

uma região que é comum a ocorrência de abalos sísmicos e ocorrência de fortes ventos (furacões).

Em grandes construções de países como Equador, Colômbia e China, as espécies de bambu mais preconizadas para aplicação estrutural, são as dos gêneros *Dendrocalamus* batizado de bambu gigante, *Guadua* popular no Brasil como Taquaruçu e *Phyllostachys pubescens* conhecido como Mosô. Essas são as espécies de bambus, que proporcionam melhores características mecânicas e físicas.

5.8 Materiais e métodos

Nesta pesquisa serão abordados estudos e ensaios, no bambu *Phyllostachys pubescens*, conhecido como (Moso, Mosô ou Mosó), esse gênero é nativo da China e chegou ao Brasil durante a colonização portuguesa. Sua escolha deu-se pela facilidade na localização, além do que este gênero se habitua aos mais distintos climas e altitudes do nosso país.

Para um melhor cultivo do bambu Mosô, os solos precisam ser férteis e permeáveis, especialmente quando novos, pois dessa forma as plantas desenvolvem-se melhor. Necessita de regas semanais, e seu crescimento tem em média altura de 20 m, sendo que seus colmos podem chegar a 15 cm. A reprodução dessa espécie dá-se pela brotação de novos colmos pelo rizoma, o que interliga pode interligar muitos colmos entre si.

Na empresa Nunes Bambu localizada no estado de São Paulo, na cidade de Bertioga, foi possível adquirir 4 varas de bambu Mosô com 3 m de comprimento.

Essas varas sofreram tratamento de cura por cocção, técnica que consiste em submeter os colmos recém cortados ao aquecimento em estufa, para degradar quimicamente o amido, esse tratamento é empregado para o gênero *Phyllostachys*, como é o Mosô.

Para definir as partes a serem ensaiadas, foi necessário avaliar as varas por inteiro, pois as características da base até o topo são distintas, a Figura 56 demonstra, as partes selecionadas para o ensaio das varas.



Figura 56 - Formato cônico da vara de bambu, selecionada para ensaio de compressão.

Como não existe uma NBR para os bambus, foi necessário utilizar como base a NBR 5738:2015 – Concreto procedimento para moldagem e cura de Corpos de Prova (CP), que propõe as dimensões para CP cilíndrico, onde a altura deve ser o dobro do diâmetro ($H = 2 \varnothing$), a norma indica os valores de 10, 15, 20, 25, 30 e 45 cm, assim então ensaiou CPs com 20 cm de comprimento e diâmetro (\varnothing) de 10 cm, conforme a Figura 57.

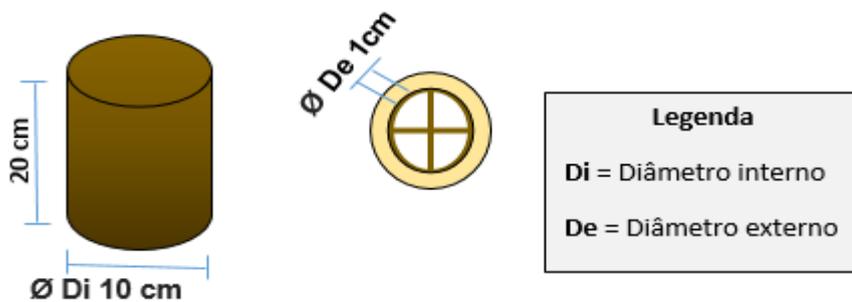


Figura 57 - Modelo de corpo de prova com (\varnothing) 10 cm.

5.9 Resultados dos ensaios de compressão axial

Os ensaios de compressões axiais, são empregados quando se almeja avaliar o comportamento de um material, submetido a grandes e permanentes deformações. Basicamente, este ensaio consiste na aplicação de uma carga compressiva uniaxial, ou seja, uma força axial para dentro, que é distribuída de maneira uniforme em toda seção transversal ($\text{Tensão} = \text{Força}/\text{Área}$). Nos ensaios foram obtidos os valores expressos nas Figuras 58 e 59.

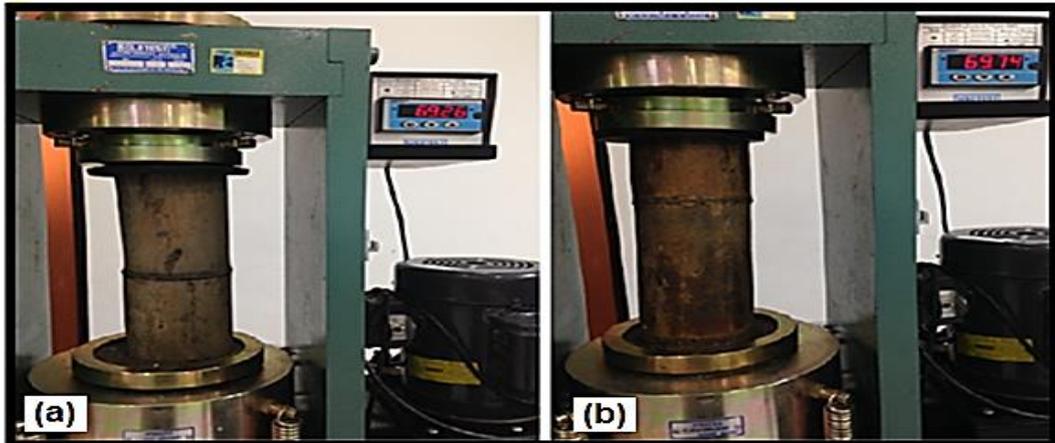


Figura 58 – Ensaio de compressão axial no bambu Mosô: (a) Corpo de prova do centro do bambu com nó. (b) Corpo de prova do topo do bambu com nó.

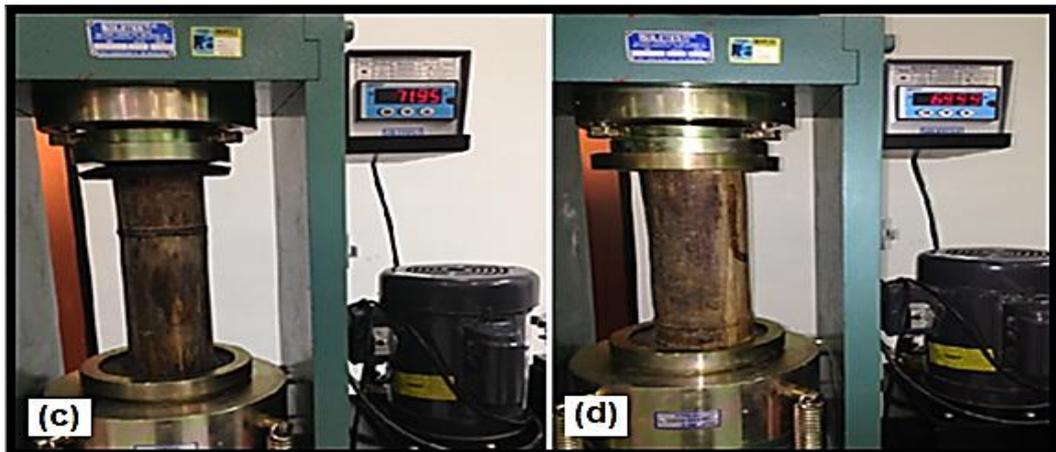


Figura 59 - Ensaio de compressão axial no bambu Mosô: (c) Corpo de prova da base do bambu com nó. (d) Corpo de prova do centro do bambu sem nó.

Os resultados obtidos nos ensaios de compressões axiais, são expressos na Tabela 5.

Tabela 5 - Resultados dos ensaios de compressão axial.

ENSAIO DE COMPRESSÃO NO BAMBU			
N° do corpo de prova	Força (tf)	Diâmetro (cm)	Pressão (MPa)
1°	69,26	10	88,18
2°	69,74	11	73,38
3°	71,95	10	91,61
4°	69,99	11	73,65

5.10 Discussão sobre os ensaios de compressão

Com os dados alcançados através dos ensaios de compressão axial, foi possível obter os valores de resistência à compressão, com estes dados elaborou-se um gráfico comparativo, conforme ilustra a Figura 60.

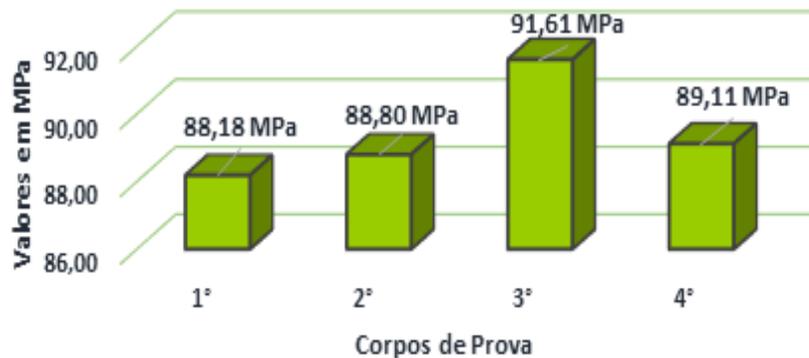


Figura 60 - Resultados dos ensaios de compressão axial.

A curva média de tensão x deformação no ensaio, situou na faixa de 89,43 MPa. Analisando os dados obtidos nos ensaios, observou-se que os bambus Mosô atingiram a resistência mínima necessária, pois segundo (LOPEZ, 1974), a resistência à compressão situa-se na faixa de 20 a 120 MPa.

Após a compressão axial, foi possível observar que durante o carregamento axial, os corpos de prova não apresentaram redução de altura, em contrapartida houve saturação nas peças de bambu, em sua maioria nos colmos e nas paredes externas, as quais podem ser visualizadas nos pontos em que os CPs romperam, conforme a Figura 61.

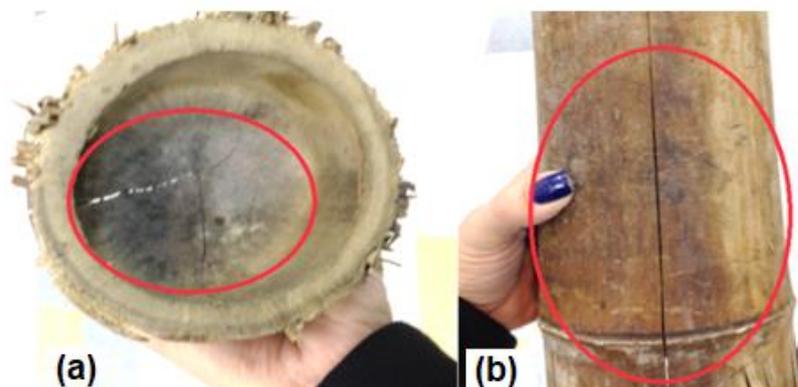


Figura 61 - Pontos de rupturas dos CPs de bambu Mosô: (a) Ruptura no nó interno do bambu. (b) Ruptura nas fibras paralelas do bambu.

Analisando estaticamente, às rupturas ocorreram de forma longitudinal-tangencial e longitudinal-radial.

No caso em carregamento de compressão axial (paralelo ao eixo das fibras), irão existir dois tipos de sollicitação: a pôr compressão nas fibras de intradorso e tração nas fibras de extradorso.

Teoricamente a ruptura de um corpo de prova submetido a compressão axial, gera uma redução na seção resistente, o que provoca a transposição da linha neutra em direção a linha tracionada, ou seja, quando a tensão limite da peça é alcançada, as fibras se rompem.

5.11 Conclusões

A alternativa de aplicação do bambu, não se aplica somente por este ser um material ecológico, mas também devido ao comportamento da planta, quando utilizada como material construtivo estrutural e de acabamento.

O estudo das características físicas e mecânicas, devem estar em primeira ordem na elaboração e execução de um projeto com bambu, para que assim obtenha-se os resultados esperados, gerando ganhos econômicos, sociais e ambientais.

Ainda que os estudos abordados nesta pesquisa não sejam conclusivos, quanto as propriedades mecânicas e físicas do bambu.

Nos últimos anos, muitas instituições e pesquisadores independentes pelo mundo afora, reforçam que o bambu possui resistência e durabilidade, para ser empregado em procedimento tradicional e contemporâneo, podendo substituir total ou parcialmente alguns materiais, notadamente os vergalhões de aço.

O emprego do bambu em escala mercantil como matéria-prima, é técnica e economicamente viável, mas requer estudos científicos sistemáticos.

Em suma é possível considerar que o bambu possui resistência mecânica, para ser empregado em algumas etapas da construção civil.

6 REFERÊNCIAS

ADAMS, C. **Bamboo Architecture and Construction with Oscar Hidalgo**. In: DESIGNER/builder magazine. New México, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (ABCP). **Guia básico de utilização do cimento Portland**. Bt- 106. 7.ed. São Paulo, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - NBR 5738 de 2015 para concreto - **Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova**. 6.p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - NBR 5739 de 2007 - Concreto: **Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos**. 238.p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - NBR 8800 de 2008 – **Projeto de estruturas de aço e de estruturas de mistas de aço e concreto de edifícios**. 247.p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - NBR 12142 de 2010 – Concreto: **Determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos**. 215.p.

ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - NBR 12655 de 2006 - **Concreto de cimento Portland** – Preparo, controle e recebimento – Procedimento. 15-20.p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - NBR 6118 de 2014 - **Projeto de estruturas de concreto** – Procedimento. 221.p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - NBR 14931 de 2014 - **Execução de estruturas de concreto** – Procedimento. 59.p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - NBR 67 de 1998 – **Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone**. 8.p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - NBR 7480 de 2007 – **Aço destinado a armaduras para estruturas de concreto armado** – Especificação. 7.p.

ARCELOR, M. **Técnicas referentes a aspectos gerais do Produto CA50 Soldável** (ArcelorMittal 50 S). 2014. p. 24.

BARBALHO, G. H. N. **Construir cooperando com o meio ambiente: bambu em prol da engenharia sustentável**. ABENGE (COBENGE), Salvador, 2018. Disponível em: http://www.abenge.org.br/sis_artigos.php. Acesso em: 20/12/2018.

BALLESTÉ, J. F. **Desempenho construtivo de estruturas de cobertura com colmos de bambu**. São Paulo, 2017. p. 2- 30.

BERALDO, L.A. e PEREIRA, R.A.M. **BAMBU DE CORPO E ALMA**. Canal 6 editoras. Bauru-São Paulo, 2016. p.52 – 252.

BRAGA, R. **Carta ao Rei D. Manoel-Pero Vaz de Caminha**. Rio de Janeiro, 2015. Editora BestBolso. 51 p.

BRAGA, A. C. G. **Estudo de pilares mistos aço-concreto com comparações entre soluções em aço e em concreto armado**. Vitória, 2006. Disponível em: <<http://livros01.livrosgratis.com.br/cp129675.pdf>> Acesso em: 07/02/2019.

CAMACHO, J. C. **A arquitetura de viagem**. Madri, 2007. Disponível em: <www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquiteturismo/01.003/1323> Acesso em: 19/03/2017.

CASTAÑO, F.; MORENO, R. **Guadua para todos cultivo y aprovechamiento**. Panamericana Formas e impresos S.A, Bogotá, 2004.

CAZACIUC, I.; SILVA, L.R.; TOGNI, M. A. **Ensaio de materiais. Aula 6 – Ensaio de compressão**. FRM/SENAI - São Paulo, 2000. Disponível em: <<https://essel.com.br/cursos/material/01/EnsaioMateriais/ensa06.pdf>> Acesso em: 13/02/2019.

CRUZ, H. **Bambu Guadua Guadua angustifolia kunth**. Gráficas OLIMPICA S.A, Pereira, Colombia, 2009.

CULZONI, R.A.M. **Características dos bambus e sua utilização como material alternativo no concreto**. Rio de Janeiro: PUC, 1986. p.205. Dissertação Mestrado.

DELGADO, S. P. **Dissertação de mestrado - O bambu como material eco eficiente: caracterização e estudos explanatórios de aplicações**. Ouro Preto, 2011. p.39.

E.100 BAMBÚ. **Norma Técnica**. Peru, 2006. Disponível em: <<file:///C:/Users/greice/Downloads/E.100Bambu.pdf>> Acesso em: 18/02/2019. p. 6 – 29.

FERREIRA, A.L.; TSAI, D.S; VISCONDI, G.F.; CUNHA, K.B.; CREMER, M.S. **Emissões de GEEs do setor de energia, processos industriais e uso de produtos**. Editora IEMA - INSTITUTO DE ENERGIA E MEIO AMBIENTE, 2016.

FUSCO, Péricles Brasiliense. **Tecnologia do concreto estrutural: tópicos aplicados**. 1 ed. São Paulo, SP: PINI, 2008.

GHAVAMI, K. **Bambu: Um material alternativo na Engenharia**. In: Revista do Instituto de Engenharia. São Paulo: Engenho Editora Técnica, 1992, n.192, 13-27 p.

GHAVAMI, K. **Ultimate load behavior of bamboo-reinforced lightweight concrete beams**. Cement and Concrete Composites, London, v.17, n.4, p.259-351, 1995.

GHAVAMI, K.; SOUZA, M. V., **Propriedades mecânicas do bambu**. Relatório interno apresentado ao PIBIC, PUC-Rio, 2000.

GIRALDO, E., y SABOGAL, A. **Una alternativa sostenible: la Guadua . Corporación Autónoma Regional del Quindío**. 2ª edición, Colombia, 2005.

GOULART, J. R.R. **Associação Brasileira de Concreto Portland (ABCP)**. São Paulo, 2010. Disponível em: <<https://www.abcp.org.br/>>. Acesso em: 07/02/2019.

ISAIA, Geraldo C. **Concreto: Ensino pesquisa e realizações**. São Paulo: IBRACON, 2005. 1v. 792 p.

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

LIBÂNIO, M.; MUZARDO, C.D.; SANTOS, P. S. **Estruturas de concreto - Características do concreto**. São Paulo, 2004. Disponível em: <file:///E:/compressão%20no%20concreto.pdf> Acesso em: 11/08/2018.

LIESE, W. **Bambu su cultivo y aplicaciones em fabricación de papel, construcción, arquitetura, ingeniería, artesanía**. Colombia: Estudios Técnicos Colombianos, 1998. 78 – 99 p.

LOPES, W. G. R.; Freire, W. J.; Ferreira, G. C. S. **Ensaio de arrancamento e de empuxamento aplicados a taliscas de bambu**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.6, n.3, p.504-510, 2002.

LÓPEZ, O. H. **Bambu su cultivo y aplicaciones en: fabricación de papel, construcción, arquitectura, ingeniería, artesanía**. Colombia: Italgraf, 1974. p. 35-44.

LÓPEZ, O. H. **Bamboo the gift of the gods**. Bogotá. 2003, p.10 -59.

MARQUES, J. **Construções em Bambu, baixo custo e alto desempenho**. Paraná, 2017. Disponível em: <<http://www.iarq.com.br/bambu/>> Acesso em: 19/03/2017.

MARÇAL, V. H. S. **“Uso do Bambu na Construção Civil”** Monografia de Projeto Final 1. Universidade de Brasília Faculdade de Tecnologia Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, 2008, p. 20-59.

MORAIS, W. W. C. **Propriedades físico-mecânicas de chapas aglomeradas produzidas com bambu, pinus e eucalipto**. 132 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.

MORESCHI, J.C. **Propriedades tecnológicas da madeira**. Curitiba: Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal, Setor de Ciências Agrárias/UFPR, p.176, 2010.

MOTOMURA, L. **Amima arquitetura, Centro de cultura max feffer**. Pardinho-SP, 2009. Disponível em: <<https://arcoweb.com.br/projetodesign/arquitetura/amima-arquitetura-centro-cultural-28-07-2009>> Acesso em: 19/03/2017.

NAÇÕES UNIDAS. **Convenção sobre a Mudança do Clima. Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças do Clima**. Unidade de Informações sobre Mudanças do Clima (PNUMA) (IUC), secretariado Permanente da Convenção. Ministério da Ciência e Tecnologia com apoio do Ministério das Relações exteriores da República Federativa do Brasil. 2008.

OKI, H. **Arquitetura em bambu, uma construção totalmente feita de bambu**. São Paulo, 2013. Disponível em: <<http://blogaecweb.com.br/arquitetura-em-bambu/>> Acesso em: 19/03/2018.

PEREIRA, E. C.; KISHI, S. **Dosagem do concreto, materiais e técnicas de construção**. Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: <<https://pt.slideshare.net/mackenzista2/dosagem-do-concreto-matec>> Acesso em: 07/02/2019.

PEREIRA, M.A.R. **Projeto bambu: introdução de espécies, manejo, caracterização e aplicações**. São Paulo, Bauru em 2012. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/106710/pereira_mar_ld_bauru.pdf?squence=1&isAllowed=y> Acesso em: 14/02/2019.

RIJKE, A. **Seminário “A madeira em construções industrializadas”**. UFBA. Bahia, 2018. Disponível em: <<http://www.secti.ba.gov.br/2018/06/1594/UFBA-e-ABAF-discutem-como-construir-de-forma-mais-sustentavel.html>> Acesso em: 11/01/2019.

RISCALA, R. **Por mais ar limpo, saiba que o bambu é um excelente exterminador de CO2**. Paraná, 2010. Disponível em: <<http://www.bonde.com.br/casa-e-decoracao/paisagismo/saiba-que-o-bambu-e-um-excelente-exterminador-de-co2-131120.html>> Acesso em: 22/10/2017.

ROSSI, F. **Aços Usados na Construção Civil: CA-50 / CA-60 / CA-25**. São Paulo, 2011. Disponível em: <<https://pedreiro.com.br/acos-construcao-civil-ca-50-ca-60/>> Acesso em: 07/02/2019.

SELMI, P. Aço Brasil: **Consumo aparente sobe 7,3% em 2018**. São Paulo, 2019. Disponível em: <<https://www.valor.com.br/empresas/6074069/aco-brasil-consumo-aparente-sobe-73-em-2018>> Acesso em: 19/02/2019.

SILVA, J. R.; BARBALHO, G.H.N. **Bambu, um material alternativo para trilhar caminhos conscientes e sustentáveis**. Revista e editora SENAC, São Paulo 2018.

SNIC - **Sindicato Nacional da Indústria do Cimento**. Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: <<http://snic.org.br/numeros-resultados-preliminares-ver.php?id=22>> Acesso em: 19/02/2019.

SOUZA, B.F. **Ensaaios destrutivos e não destrutivos**. Niquelândia, 2011. Disponível em: <<https://www.ebah.com.br/content/ABAAAej50AF/ensaios-destrutivos-nao-destrutivos-aula-05-ensaio-compressao>> Acesso em: 13/02/2019.

VÉLEZ, S. **Grow Your Own House**: Simón Vélez and Bamboo Architecture. Vitra Design Museum. Rhein, Alemanha, 2000, p 75.

YAMADA, T. R. U. **Estruturas flat foldable em Bambu Laminado Colado baseadas em técnicas de dobra e corte do origami e do kirigami**. 2016. 224 p. Tese (Doutorado em Design) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Bauru, 2016.

APÊNDICE A – DADOS DOS CPS DE CONCRETO

DADOS CURVA DE GAUSS			
Pontos	Eixo x	Concreto com estrutura interna de ripa	Concreto (padrão)
1	9,720293087	4,1494E-146	0,000120504
2	9,810037363	1,8961E-141	0,000165944
3	9,899781639	7,2777E-137	0,000227032
4	9,989525915	2,3462E-132	0,000308585
5	10,07927019	6,3527E-128	0,000416703
6	10,16901447	1,4448E-123	0,000559041
7	10,25875874	2,7599E-119	0,000745116
8	10,34850302	4,4281E-115	0,000986662
9	10,4382473	5,9673E-111	0,001298007
10	10,52799157	6,7543E-107	0,001696483
11	10,61773585	6,4213E-103	0,002202858
12	10,70748012	5,1276E-99	0,002841759
13	10,7972244	3,43902E-95	0,003642103
14	10,88696868	1,93731E-91	0,004637471
15	10,97671295	9,1665E-88	0,005866436
16	11,06645723	3,64291E-84	0,007372784
17	11,1562015	1,216E-80	0,009205614
18	11,24594578	3,40924E-77	0,011419264
19	11,33569006	8,02828E-74	0,014073028
20	11,42543433	1,58791E-70	0,017230626
21	11,51517861	2,63798E-67	0,02095939
22	11,60492288	3,68092E-64	0,025329132
23	11,69466716	4,31402E-61	0,030410674
24	11,78441144	4,24665E-58	0,036274035
25	11,87415571	3,51117E-55	0,042986272
26	11,96389999	2,43836E-52	0,050609001
27	12,05364426	1,42227E-49	0,059195655
28	12,14338854	6,96799E-47	0,068788522
29	12,23313282	2,8673E-44	0,079415671
30	12,32287709	9,91011E-42	0,091087864
31	12,41262137	2,87689E-39	0,103795592
32	12,50236564	7,0147E-37	0,117506361
33	12,59210992	1,4366E-34	0,132162404
34	12,6818542	2,47116E-32	0,147678938
35	12,77159847	3,57031E-30	0,163943149
36	12,86134275	4,33263E-28	0,180814004
37	12,95108702	4,41609E-26	0,198123019
38	13,0408313	3,78062E-24	0,215676035
39	13,13057558	2,7185E-22	0,233256054
40	13,22031985	1,64186E-20	0,250627105
41	13,31006413	8,32878E-19	0,267539082
42	13,3998084	3,54868E-17	0,28373343
43	13,48955268	1,26997E-15	0,298949523
44	13,57929696	3,81733E-14	0,312931514
45	13,66904123	9,63754E-13	0,325435419
46	13,75878551	2,04368E-11	0,336236158
47	13,84852978	3,63998E-10	0,345134277
48	13,93827406	5,44534E-09	0,35196206
49	14,02801834	6,84213E-08	0,356588793
50	14,11776261	7,22101E-07	0,358924918
51	14,20750689	6,40095E-06	0,358924918
52	14,29725116	4,76575E-05	0,356588793
53	14,38699544	0,000298029	0,35196206
54	14,47673972	0,001565398	0,345134277
55	14,56648399	0,00690608	0,336236158
56	14,65622827	0,025590482	0,325435419

DADOS CURVA DE GAUSS (continuação)			
Pontos	Eixo x	Concreto com estrutura interna de ripa	Concreto (padrão)
57	14,74597255	0,079646263	0,312931514
58	14,83571682	0,208205595	0,298949523
59	14,9254611	0,457150756	0,28373343
60	15,01520537	0,843075652	0,267539082
61	15,10494965	1,305911388	0,250627105
62	15,19469393	1,699029534	0,233256054
63	15,2844382	1,856642147	0,215676035
64	15,37418248	1,704101815	0,198123019
65	15,46392675	1,313720359	0,180814004
66	15,55367103	0,850648967	0,163943149
67	15,64341531	0,46263436	0,147678938
68	15,73315958	0,21133209	0,132162404
69	15,82290386	0,081083609	0,117506361
70	15,91264813	0,02613008	0,103795592
71	16,00239241	0,007072753	0,091087864
72	16,09213669	0,001607964	0,079415671
73	16,18188096	0,000307046	0,068788522
74	16,27162524	4,92461E-05	0,059195655
75	16,36136951	6,63407E-06	0,050609001
76	16,45111379	7,50634E-07	0,042986272
77	16,54085807	7,13372E-08	0,036274035
78	16,63060234	5,69435E-09	0,030410674
79	16,72034662	3,81779E-10	0,025329132
80	16,81009089	2,14991E-11	0,02095939
81	16,89983517	1,01688E-12	0,017230626
82	16,98957945	4,03978E-14	0,014073028
83	17,07932372	1,34799E-15	0,011419264
84	17,169068	3,77793E-17	0,009205614
85	17,25881227	8,8933E-19	0,007372784
86	17,34855655	1,75837E-20	0,005866436
87	17,43830083	2,92012E-22	0,004637471
88	17,5280451	4,07313E-24	0,003642103
89	17,61778938	4,77197E-26	0,002841759
90	17,70753365	4,69577E-28	0,002202858
91	17,79727793	3,8811E-30	0,001696483
92	17,88702221	2,69429E-32	0,001298007
93	17,97676648	1,57099E-34	0,000986662
94	18,06651076	7,69382E-37	0,000745116
95	18,15625503	3,16484E-39	0,000559041
96	18,24599931	1,09345E-41	0,000416703
97	18,33574359	3,17314E-44	0,000308585
98	18,42548786	7,73426E-47	0,000227032
99	18,51523214	1,58339E-49	0,000165944
100	18,60497641	2,72269E-52	0,000120504

	Concreto com ripa de bambu	Concreto padrão
MÉDIA	15,28520499	14,16263475
DESVIO P.	0,214871638	1,110585416
MÉDIA + 4dp	16,14469155	18,60497641
MÉDIA - 4dp	14,42571844	9,720293087
Início eixo x	9,720293087	
Fim eixo x	18,60497641	
Pontos	100	
Incremento	0,089744276	

DADOS CURVA DE GAUSS			
Pontos	Eixo x	Concreto com estrutura interna de bambu cilíndrico	Concreto (padrão)
1	9,720293087	3,74627E-95	0,000120504
2	9,810037363	3,74008E-92	0,000165944
3	9,899781639	3,34077E-89	0,000227032
4	9,989525915	2,66991E-86	0,000308585
5	10,07927019	1,90911E-83	0,000416703
6	10,16901447	1,22137E-80	0,000559041
7	10,25875874	6,99114E-78	0,000745116
8	10,34850302	3,58041E-75	0,000986662
9	10,4382473	1,64059E-72	0,001298007
10	10,52799157	6,72594E-70	0,001696483
11	10,61773585	2,46711E-67	0,002202858
12	10,70748012	8,0967E-65	0,002841759
13	10,7972244	2,37745E-62	0,003642103
14	10,88696868	6,24595E-60	0,004637471
15	10,97671295	1,46815E-57	0,005866436
16	11,06645723	3,08762E-55	0,007372784
17	11,1562015	5,80981E-53	0,009205614
18	11,24594578	9,78101E-51	0,011419264
19	11,33569006	1,47329E-48	0,014073028
20	11,42543433	1,98554E-46	0,017230626
21	11,51517861	2,39415E-44	0,02095939
22	11,60492288	2,58291E-42	0,025329132
23	11,69466716	2,49316E-40	0,030410674
24	11,78441144	2,15315E-38	0,036274035
25	11,87415571	1,66373E-36	0,042986272
26	11,96389999	1,1502E-34	0,050609001
27	12,05364426	7,11459E-33	0,059195655
28	12,14338854	3,9374E-31	0,068788522
29	12,23313282	1,94963E-29	0,079415671
30	12,32287709	8,63732E-28	0,091087864
31	12,41262137	3,42365E-26	0,103795592
32	12,50236564	1,21418E-24	0,117506361
33	12,59210992	3,85267E-23	0,132162404
34	12,6818542	1,09376E-21	0,147678938
35	12,77159847	2,77824E-20	0,163943149
36	12,86134275	6,31391E-19	0,180814004
37	12,95108702	1,28384E-17	0,198123019
38	13,0408313	2,33565E-16	0,215676035
39	13,13057558	3,80179E-15	0,233256054
40	13,22031985	5,53672E-14	0,250627105
41	13,31006413	7,21441E-13	0,267539082
42	13,3998084	8,41071E-12	0,28373343
43	13,48955268	8,77299E-11	0,298949523
44	13,57929696	8,18742E-10	0,312931514
45	13,66904123	6,83644E-09	0,325435419
46	13,75878551	5,10736E-08	0,336236158
47	13,84852978	3,41387E-07	0,345134277
48	13,93827406	2,04165E-06	0,35196206
49	14,02801834	1,09244E-05	0,356588793
50	14,11776261	5,22999E-05	0,358924918
51	14,20750689	0,00022402	0,358924918
52	14,29725116	0,000858529	0,356588793
53	14,38699544	0,002943797	0,35196206
54	14,47673972	0,009031177	0,345134277
55	14,56648399	0,024789322	0,336236158
56	14,65622827	0,060879165	0,325435419

DADOS CURVA DE GAUSS (continuação)			
Pontos	Eixo x	Concreto com estrutura interna de bambu cilíndrico	Concreto (padrão)
57	14,74597255	0,133769301	0,312931514
58	14,83571682	0,26298318	0,298949523
59	14,9254611	0,462576137	0,28373343
60	15,01520537	0,72798464	0,267539082
61	15,10494965	1,025049754	0,250627105
62	15,19469393	1,291372146	0,233256054
63	15,2844382	1,455598578	0,215676035
64	15,37418248	1,467964556	0,198123019
65	15,46392675	1,324564939	0,180814004
66	15,55367103	1,069337211	0,163943149
67	15,64341531	0,772395693	0,147678938
68	15,73315958	0,499170309	0,132162404
69	15,82290386	0,288629945	0,117506361
70	15,91264813	0,149319926	0,103795592
71	16,00239241	0,069115887	0,091087864
72	16,09213669	0,028623435	0,079415671
73	16,18188096	0,010605944	0,068788522
74	16,27162524	0,003516096	0,059195655
75	16,36136951	0,001042931	0,050609001
76	16,45111379	0,00027678	0,042986272
77	16,54085807	6,57199E-05	0,036274035
78	16,63060234	1,39619E-05	0,030410674
79	16,72034662	2,65383E-06	0,025329132
80	16,81009089	4,51323E-07	0,02095939
81	16,89983517	6,86728E-08	0,017230626
82	16,98957945	9,34902E-09	0,014073028
83	17,07932372	1,13876E-09	0,011419264
84	17,169068	1,24102E-10	0,009205614
85	17,25881227	1,21007E-11	0,007372784
86	17,34855655	1,05567E-12	0,005866436
87	17,43830083	8,24002E-14	0,004637471
88	17,5280451	5,75456E-15	0,003642103
89	17,61778938	3,59567E-16	0,002841759
90	17,70753365	2,01016E-17	0,002202858
91	17,79727793	1,00546E-18	0,001696483
92	17,88702221	4,49971E-20	0,001298007
93	17,97676648	1,80172E-21	0,000986662
94	18,06651076	6,45465E-23	0,000745116
95	18,15625503	2,06891E-24	0,000559041
96	18,24599931	5,9333E-26	0,000416703
97	18,33574359	1,52242E-27	0,000308585
98	18,42548786	3,49506E-29	0,000227032
99	18,51523214	7,17892E-31	0,000165944
100	18,60497641	1,31931E-32	0,000120504

	Concreto bambu	Concreto
MÉDIA	15,33613445	14,16263475
DESVIO P.	0,269061931	1,110585416
MÉDIA + 4dp	16,41238218	18,60497641
MÉDIA - 4dp	14,25988673	9,720293087
Início eixo x	9,720293087	
Fim eixo x	18,60497641	
Pontos	100	
Incremento	0,089744276	

DADOS CURVA DE GAUSS			
Pontos	Eixo x	Concreto com estrutura interna de aço CA50	Concreto (padrão)
1	9,720293087	2,56184E-22	0,000120504
2	9,810037363	1,17718E-21	0,000165944
3	9,899781639	5,28125E-21	0,000227032
4	9,989525915	2,31332E-20	0,000308585
5	10,07927019	9,89321E-20	0,000416703
6	10,16901447	4,13089E-19	0,000559041
7	10,25875874	1,68405E-18	0,000745116
8	10,34850302	6,70301E-18	0,000986662
9	10,4382473	2,60489E-17	0,001298007
10	10,52799157	9,88355E-17	0,001696483
11	10,61773585	3,66135E-16	0,002202858
12	10,70748012	1,32426E-15	0,002841759
13	10,7972244	4,67637E-15	0,003642103
14	10,88696868	1,61231E-14	0,004637471
15	10,97671295	5,42743E-14	0,005866436
16	11,06645723	1,78379E-13	0,007372784
17	11,1562015	5,72396E-13	0,009205614
18	11,24594578	1,7933E-12	0,011419264
19	11,33569006	5,48549E-12	0,014073028
20	11,42543433	1,63825E-11	0,017230626
21	11,51517861	4,77695E-11	0,02095939
22	11,60492288	1,35996E-10	0,025329132
23	11,69466716	3,7801E-10	0,030410674
24	11,78441144	1,02586E-09	0,036274035
25	11,87415571	2,71815E-09	0,042986272
26	11,96389999	7,03177E-09	0,050609001
27	12,05364426	1,77607E-08	0,059195655
28	12,14338854	4,37985E-08	0,068788522
29	12,23313282	1,05454E-07	0,079415671
30	12,32287709	2,47897E-07	0,091087864
31	12,41262137	5,68963E-07	0,103795592
32	12,50236564	1,27497E-06	0,117506361
33	12,59210992	2,78947E-06	0,132162404
34	12,6818542	5,95863E-06	0,147678938
35	12,77159847	1,24273E-05	0,163943149
36	12,86134275	2,53051E-05	0,180814004
37	12,95108702	5,03091E-05	0,198123019
38	13,0408313	9,76536E-05	0,215676035
39	13,13057558	0,000185069	0,233256054
40	13,22031985	0,00034244	0,250627105
41	13,31006413	0,000618642	0,267539082
42	13,3998084	0,001091184	0,28373343
43	13,48955268	0,001879148	0,298949523
44	13,57929696	0,003159571	0,312931514
45	13,66904123	0,005186801	0,325435419
46	13,75878551	0,008313335	0,336236158
47	13,84852978	0,013009337	0,345134277
48	13,93827406	0,019876471	0,35196206
49	14,02801834	0,029650199	0,356588793
50	14,11776261	0,043183733	0,358924918
51	14,20750689	0,061406871	0,358924918
52	14,29725116	0,085254632	0,356588793
53	14,38699544	0,115564174	0,35196206
54	14,47673972	0,152944084	0,345134277
55	14,56648399	0,197627042	0,336236158

DADOS CURVA DE GAUSS (continuação)			
Pontos	Eixo x	Concreto com estrutura interna de aço CA50	Concreto (padrão)
56	14,65622827	0,249324113	0,325435419
57	14,74597255	0,307104669	0,312931514
58	14,83571682	0,369328465	0,298949523
59	14,9254611	0,43365401	0,28373343
60	15,01520537	0,497139393	0,267539082
61	15,10494965	0,556438553	0,250627105
62	15,19469393	0,608079654	0,233256054
63	15,2844382	0,648795692	0,215676035
64	15,37418248	0,675864548	0,198123019
65	15,46392675	0,687409612	0,180814004
66	15,55367103	0,682614893	0,163943149
67	15,64341531	0,66182039	0,147678938
68	15,73315958	0,626482222	0,132162404
69	15,82290386	0,579004027	0,117506361
70	15,91264813	0,522466731	0,103795592
71	16,00239241	0,460298886	0,091087864
72	16,09213669	0,3959364	0,079415671
73	16,18188096	0,332518002	0,068788522
74	16,27162524	0,27265227	0,059195655
75	16,36136951	0,21827666	0,050609001
76	16,45111379	0,170612051	0,042986272
77	16,54085807	0,130201604	0,036274035
78	16,63060234	0,097012387	0,030410674
79	16,72034662	0,0705736	0,025329132
80	16,81009089	0,05012583	0,02095939
81	16,89983517	0,034760427	0,017230626
82	16,98957945	0,023534927	0,014073028
83	17,07932372	0,01555768	0,011419264
84	17,169068	0,010041094	0,009205614
85	17,25881227	0,006327344	0,007372784
86	17,34855655	0,003892836	0,005866436
87	17,43830083	0,00233838	0,004637471
88	17,5280451	0,001371412	0,003642103
89	17,61778938	0,000785282	0,002841759
90	17,70753365	0,000439023	0,002202858
91	17,79727793	0,000239636	0,001696483
92	17,88702221	0,000127709	0,001298007
93	17,97676648	6,64503E-05	0,000986662
94	18,06651076	3,37579E-05	0,000745116
95	18,15625503	1,6744E-05	0,000559041
96	18,24599931	8,10858E-06	0,000416703
97	18,33574359	3,83386E-06	0,000308585
98	18,42548786	1,76983E-06	0,000227032
99	18,51523214	7,97684E-07	0,000165944
100	18,60497641	3,51022E-07	0,000120504

	Aço	Concreto
MÉDIA	15,48255666	14,16263475
DESVIO P.	0,580056733	1,110585416
MÉDIA + 4dp	17,80278359	18,60497641
MÉDIA - 4dp	13,16232973	9,720293087
Início eixo x	9,720293087	
Fim eixo x	18,60497641	
Pontos	100	
Incremento	0,089744276	

DADOS CURVA DE GAUSS			
Pontos	Eixo x	Concreto com estrutura interna ripa de bambu impermeabilizada	Concreto (padrão)
1	9,720293087	4,2442E-48	0,000120504
2	9,817983822	6,81767E-47	0,000170659
3	9,915674557	1,05656E-45	0,000239827
4	10,01336529	1,57968E-44	0,000334429
5	10,11105603	2,27856E-43	0,000462755
6	10,20874676	3,1708E-42	0,000635385
7	10,3064375	4,25692E-41	0,000865691
8	10,40412823	5,51366E-40	0,001170384
9	10,50181897	6,88971E-39	0,001570122
10	10,5995097	8,30575E-38	0,002090153
11	10,69720044	9,65994E-37	0,002760975
12	10,79489117	1,0839E-35	0,003618982
13	10,89258191	1,17332E-34	0,004707063
14	10,99027264	1,22536E-33	0,006075097
15	11,08796338	1,23461E-32	0,007780296
16	11,18565411	1,20008E-31	0,00988732
17	11,28334485	1,12541E-30	0,012468113
18	11,38103558	1,01819E-29	0,015601361
19	11,47872632	8,88712E-29	0,019371527
20	11,57641705	7,48362E-28	0,023867387
21	11,67410779	6,07967E-27	0,029180016
22	11,77179852	4,76503E-26	0,035400207
23	11,86948925	3,60304E-25	0,042615316
24	11,96717999	2,62838E-24	0,050905563
25	12,06487072	1,8498E-23	0,060339876
26	12,16256146	1,25597E-22	0,070971374
27	12,26025219	8,22721E-22	0,082832665
28	12,35794293	5,19926E-21	0,095931159
29	12,45563366	3,16992E-20	0,110244612
30	12,5533244	1,86454E-19	0,125717197
31	12,65101513	1,05807E-18	0,142256341
32	12,74870587	5,79256E-18	0,159730631
33	12,8463966	3,05947E-17	0,177969021
34	12,94408734	1,55897E-16	0,196761554
35	13,04177807	7,66388E-16	0,215861757
36	13,13946881	3,63476E-15	0,234990768
37	13,23715954	1,66311E-14	0,253843194
38	13,33485028	7,34146E-14	0,272094571
39	13,43254101	3,12652E-13	0,289410216
40	13,53023175	1,28457E-12	0,305455163
41	13,62792248	5,0918E-12	0,319904767

DADOS CURVA DE GAUSS (continuação)			
Pontos	Eixo x	Concreto com estrutura interna ripa de bambu impermeabilizada	Concreto (padrão)
42	13,72561322	1,94716E-11	0,332455546
43	13,82330395	7,18373E-11	0,342835735
44	13,92099469	2,55691E-10	0,350815049
45	14,01868542	8,78007E-10	0,356213172
46	14,11637616	2,90869E-09	0,358906534
47	14,21406689	9,2964E-09	0,358833008
48	14,31175763	2,86648E-08	0,355994292
49	14,40944836	8,5271E-08	0,350455851
50	14,5071391	2,4472E-07	0,342344397
51	14,60482983	6,77573E-07	0,331843078
52	14,70252057	1,80992E-06	0,319184602
53	14,8002113	4,66424E-06	0,304642668
54	14,89790204	1,15963E-05	0,288522149
55	14,99559277	2,78147E-05	0,271148506
56	15,09328351	6,43645E-05	0,252856955
57	15,19097424	0,000143693	0,233981877
58	15,28866498	0,000309488	0,214846938
59	15,38635571	0,000643084	0,195756299
60	15,48404645	0,001289167	0,176987238
61	15,58173718	0,002493262	0,158784384
62	15,67942792	0,004652047	0,141355677
63	15,77711865	0,008374088	0,124870069
64	15,87480939	0,014542805	0,109456883
65	15,97250012	0,024365543	0,095206682
66	16,07019086	0,039384133	0,08217343
67	16,16788159	0,061416313	0,070377694
68	16,26557233	0,09239819	0,059810616
69	16,36326306	0,13410978	0,050438382
70	16,4609538	0,187790968	0,042206919
71	16,55864453	0,253691675	0,035046592
72	16,65633527	0,330639699	0,028876699
73	16,754026	0,415739264	0,023609617
74	16,85171674	0,504317866	0,019154462
75	16,94940747	0,59020778	0,015420222
76	17,04709821	0,666381254	0,012318304
77	17,14478894	0,72586838	0,009764518
78	17,24247967	0,762799237	0,007680515
79	17,34017041	0,773356762	0,005994729
80	17,43786114	0,756426595	0,004642889
81	17,53555188	0,713790818	0,00356818
82	17,63324261	0,649818976	0,002721102
83	17,73093335	0,570730507	0,002059124

DADOS CURVA DE GAUSS (continuação)			
Pontos	Eixo x	Concreto com estrutura interna ripa de bambu impermeabilizada	Concreto (padrão)
84	17,82862408	0,483600844	0,001546179
85	17,92631482	0,39533046	0,001152064
86	18,02400555	0,311781808	0,000851792
87	18,12169629	0,237223948	0,000624927
88	18,21938702	0,174133991	0,000454952
89	18,31707776	0,123317821	0,000328655
90	18,41476849	0,084253004	0,00023559
91	18,51245923	0,055534417	0,000167576
92	18,61014996	0,035314763	0,000118278
93	18,7078407	0,021665447	8,28398E-05
94	18,80553143	0,012823195	5,75722E-05
95	18,90322217	0,007322209	3,97032E-05
96	19,0009129	0,004033716	2,71693E-05
97	19,09860364	0,002143807	1,84489E-05
98	19,19629437	0,001099217	1,24309E-05
99	19,29398511	0,000543749	8,31142E-06
100	19,39167584	0,000259496	5,51425E-06

	Concreto de ripa impermeabilizada	Concreto
MÉDIA	17,32874968	14,16263475
DESVIO P.	0,51573154	1,110585416
MÉDIA + 4dp	19,39167584	18,60497641
MÉDIA - 4dp	15,26582352	9,720293087
Início eixo x	9,720293087	
Fim eixo x	19,39167584	
Pontos	100	
Incremento	0,097690735	

APÊNDICE B – ENSAIOS DE RIPAS IMPERMEABILIZADAS

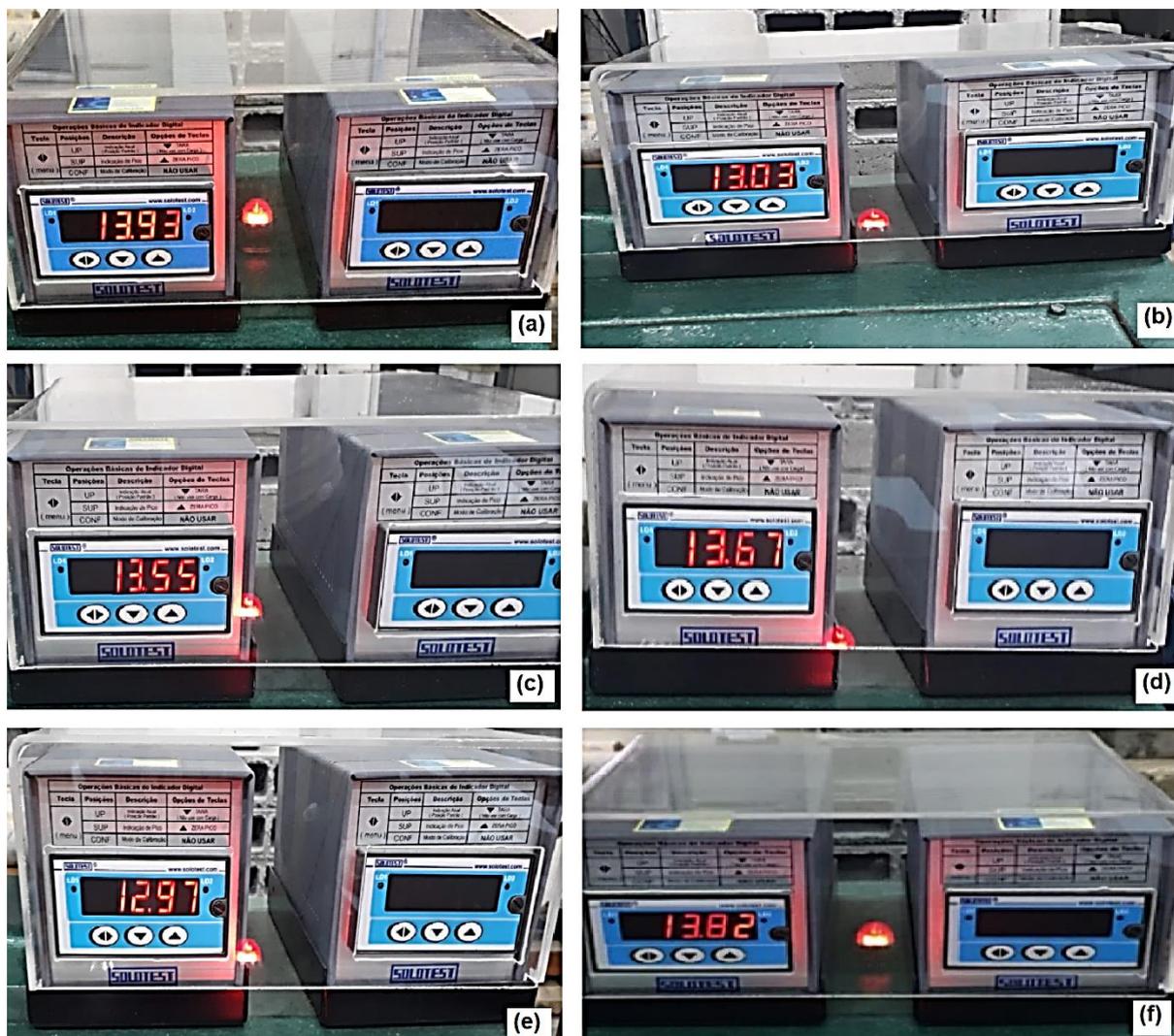


Figura 62 - Resultados dos ensaios nos CPs de concreto com estruturas de bambu revestidas com resina vegetal de mamona. (a) Primeiro CP rompido. (b) Segundo CP rompido. (c) Terceiro CP rompido. (d) Quarto CP rompido. (e) Quinto CP rompido. (f) Sexto CP rompido.

APÊNDICE C - ESTUDO EXPERIMENTAL

Materiais e métodos aplicados na confecção das formas

Construção de três vigas de concreto com: bambu e aço.

O primeiro passo é: A elaboração do projeto das três formas, com base na NBR 6118 de 2014, que determina a armadura mínima para peças estruturais com \varnothing 6,3 mm, assim sendo, definiu-se o comprimento, altura e largura respectivamente em 0,70 x 0,12 x 0,12 m, respeitando as dimensões mínimas estabelecidas na NBR 6118, conforme a Figura 63.

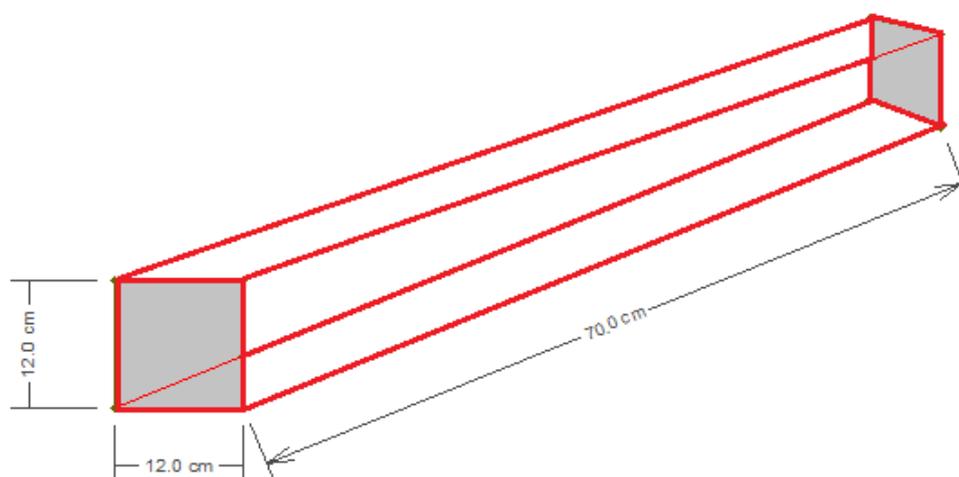


Figura 63 - Projeto da forma de concreto.

Após determinar as dimensões das formas, as mesmas foram confeccionadas com tábua de pinho de 1"x 6", ou seja, 1 polegada de espessura por 6 polegadas de largura. Para fixar cada forma, utilizou-se 16 pregos com cabeça de aço galvanizado, com as dimensões (14 x 15), ou seja, 1 ¼", totalizando usou-se 48 pregos.

Materiais e métodos aplicados na confecção das armações

Para confeccionar as armações das vigotas, usou-se como base a NBR 8800 de 2008 – Projeto de estruturas de aço e de estruturas de mistas de aço e concreto de edifícios.

Foram confeccionadas três vigas e cada uma possuirá uma armação específica, que possui a dimensão de 65 cm.

METODOLOGIA NA ARMAÇÃO DE AÇO

Para armação da viga de concreto armado, confeccionou-se uma única peça e, nesta utilizou-se cerca de três metros de aço CA50, com a bitola de 6,3 mm de massa nominal 0,25 kg/m e sendo sua seção nominal de 31,2 mm². Com as dimensões de 0,65 x 0,07 x 0,07 m.

Logo após confeccionou-se para essa armação de aço, três estribos com bitola de 6,3 mm com a medida de 0,07 x 0,07 m, nesse material realizou-se o dobramento do vergalhão conforme Tabela 6.

Tabela 6 – Normas de dobramento para aço CA 50 de 6,3mm

Dobramento do aço				
Categoria do aço	Uso no laboratório (NBR 7480/07)		Uso na obra (NBR 6118/07)	
	Diâmetro do pino		Diâmetro do pino	
	Bitola < 20 mm	Bitola ≥ 20 mm	Bitola < 20 mm	Bitola ≥ 20 mm
CA 50	3 x Ø	6 x Ø	5 x Ø	8 x Ø

Fonte: (ARCELOR, 2014).

A NBR 6118 prevê que os vergalhões sejam unidos através de luvas rosqueadas, por solda, por caldeamento e outras uniões mecânicas. Nas junções mecânicas são empregados elementos, que estabelecem a união das barras nervuradas à serem emendadas.

Para esse procedimento utilizou-se 8 eletrodos revestidos SWAW - Eletrodo vareta para bitola ≥ 6,3mm – Limite de Resistência (min) ≥ 540 MPa ou 54 Kgf/mm². Aplicou-se em todas as emendas – ER80 e 110S, seguindo as recomendações que visam executá-las com qualidade e eficiência, proporcionando a economia do material devido ao aproveitamento.

A corrente da máquina de solda, foi regulada de acordo com o diâmetro do eletrodo utilizado de 2 mm, sendo o tipo de passe único, com corrente de 80 Ampere e tensão de 220 Volts. Para cada emenda o tempo médio era de 40 segundos.

METODOLOGIA NA ARMAÇÃO DE BAMBU EM RIPAS

As ripas de bambu em armação, foram criadas no intuito de aproximar-se ao máximo de uma armação de aço.

Na armação de bambu em ripas, utilizou-se cerca de 1 metro (m) de bambu da espécie *Phyllostachys pubescens* (Mosô). Essa armação também possui as dimensões de 0,65 x 0,07 x 0,07 m.

O método adotado na construção dessas armações, foi totalmente baseado na armação de aço, de modo que as mesmas apresentassem as características mais próximas possíveis, afim de evitar o favorecimento de qualquer um dos materiais.

Ao tentar confeccionar bitolas de 6,3 mm do bambu, percebeu-se que o resultado não foi muito adequado, visto fragilidade das peças, onde o bambu ficava muito fino, e isso poderia comprometer sua resistência mecânica, então adotou-se a bitola de 8,3 mm para a armação de bambu, desse modo com uma robustez maior.

Essas peças de bambu foram cortadas com facão em formato retilíneo, respeitando os nós de cada colmo. Após o processo de corte, aplicou-se Cascorez que é uma cola madeira, formando um adesivo à base de PVA, desenvolvido para reparos e consertos de móveis em madeira MDF. Esse procedimento foi necessário para manter unidos os estribos de bambu.

Para manter as ripas uniformes nos estribos, passou-se cerca de 1,5 m de arame cobre fino, muito aplicado em circuito eletrônico, esse arame possui espessura de 0,10 mm, pois desse modo as peças não tenderiam a soltar-se.

METODOLOGIA NA ARMAÇÃO DE BAMBU EM VARA

A armação de bambu inteiro, foi pensada e utilizada no intuito de aproveitar ao máximo as características mecânicas do bambu, de modo que nesse formato haveria utilização de todas as fibras da planta, nas seções transversais e paralelas, consequentemente obtendo um aproveitamento maior de sua massa específica.

O primeiro passo foi cortar a vara de bambu Mosô, nas dimensões de 0,65 x 0,07 x 0,07 m e para essa tarefa utilizou-se uma serra de bancada, compacta 254 mm 102.000 Watts com tensão de 220 Volts. Para retirar o nó interno do bambu, utilizou-se uma serra copos de com seis dentes e profundidade de 50 mm com tensão de 220 Volts.

Após todos os procedimentos de construções das armações, as mesmas foram pesadas. A armação de bambu inteiro possui 0,10765 kg/m, a armação de ripas de bambu possui 0,09124 kg/m e a armação de aço possui 0,87125 kg/m. Ao fim as três armações ficaram conforme ilustra-se a Figura 64.



Figura 64 – As armações prontas.

Para respeitar os espaçamentos determinados pela NBR 6118, foi necessário utilizar os espaçadores plásticos de modo a assegurar o distanciamento lateral esquerdo e direito, bem como o espaçamento superior e inferior ambos com o distanciamento de 2,5 mm, e assim a armação ficou centralizada dentro do concreto, desse modo evitando a fissuração das vigas, como ilustra a Figura 65.



Figura 65 - Espaçamento entre a armação e a forma.

Após definir o tipo de ensaio, iniciou-se as medições a partir da definição do CG (Centro de Gravidade) da viga retangular. Como as vigas possuem 0,70 m de comprimento, o CG seria 0,35 m, porém é preciso levar em consideração os dois apoios. Cada apoio subtraiu da viga 0,035 m, totalizando 0,07 m, conforme a Figura 66. Assim sendo o CG real de atuação da carga estará a 0,315 m das extremidades apoiadas.

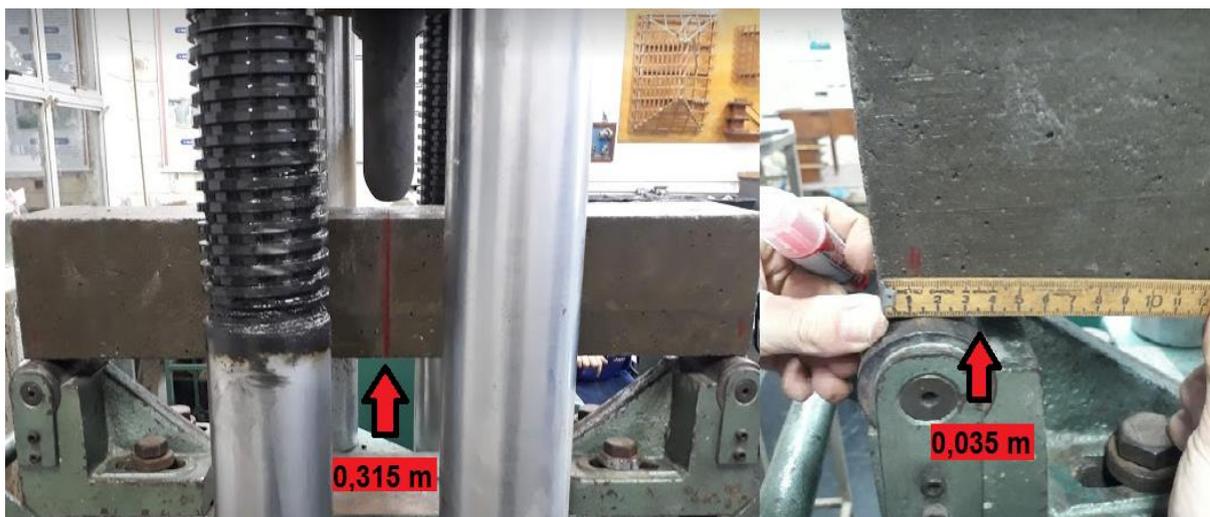


Figura 66 - Apoios da viga.

Os ensaios de flexo-compressão foram realizados nas três vigas: sendo uma de concreto armado e duas de concreto gramíneo.

Para realizar os experimentos, utilizou-se a máquina universal de ensaios, modelo: MEU-100, com capacidade máxima de 100 tf, que possui o certificado 196. À máquina encontra-se no laboratório de Engenharia Civil, na Universidade Santa Cecília, na cidade de Santos/SP.

O primeiro passo antes de realizar o ensaio, foi pesar as vigas e os dados são expressos na Tabela 7.

Tabela 7 - Pesos das três vigas.

Viga	Matéria-prima	Tipo	Volume (m ³)	Volume (l)	Peso da armadura (kg/m)	Peso final da viga (kg)
Concreto armado	Aço	CA 50	0,01008	10,08	0,87125	11,28565
Concreto gramíneo	Bambu inteiro	MOSÔ	0,01008	10,08	0,10765	10,52205
Concreto gramíneo	Bambu ripa	MOSÔ	0,01008	10,08	0,09124	10,50564

Os ensaios foram filmados e fotografados, para registros dos dados obtidos, as Figuras 67, 68 e 69 demonstram.



Figura 67 - Rompimento da viga de concreto armada.



Figura 68 - Rompimento da viga de concreto gramíneo com vara de bambu.

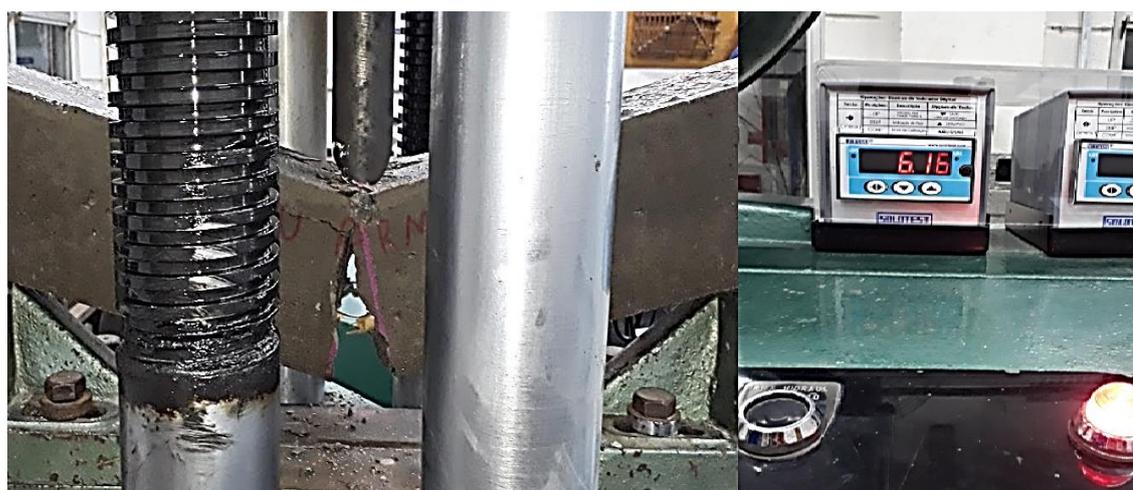


Figura 69 - Rompimento da viga de concreto gramíneo com armação de bambu.

Após os ensaios de flexão nas vigas, os resultados obtidos foram expressos na Tabela 8.

Tabela 8 - Resultados dos ensaios nas três vigas.

Viga	Matéria-prima	Valores obtidos nos ensaios (tf/m ²)
Concreto armado	Aço	7,57
Concreto gramíneo	Bambu inteiro	6,75
Concreto gramíneo	Bambu ripa	6,16

Para calcular as reações de apoio, o momento fletor máximo e as forças cortantes das três vigas, utilizou-se o programa *ftool* (*Two-dimensional Frame Analysis Tool*) na versão 4.00, essa ferramenta possui especificamente o objetivo de fornecer ao usuário, dados do comportamento estrutural de pórticos planos, vigas e etc.

O rompimento da viga de aço, ocorreu com 7,57 tf conforme a Figura 70 demonstra.

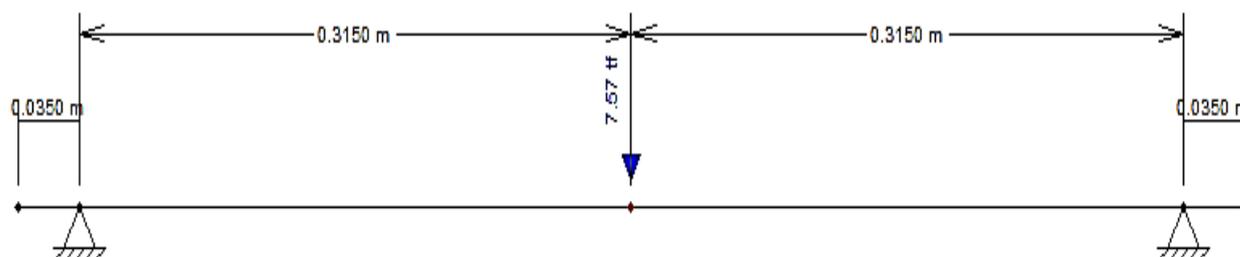


Figura 70 - Exemplificação da viga com a carga.

A flecha máxima atingida foi de 11,7 tf e possuiu as reações de apoio de 3,79 tf, conforme a Figura 71 expressa.

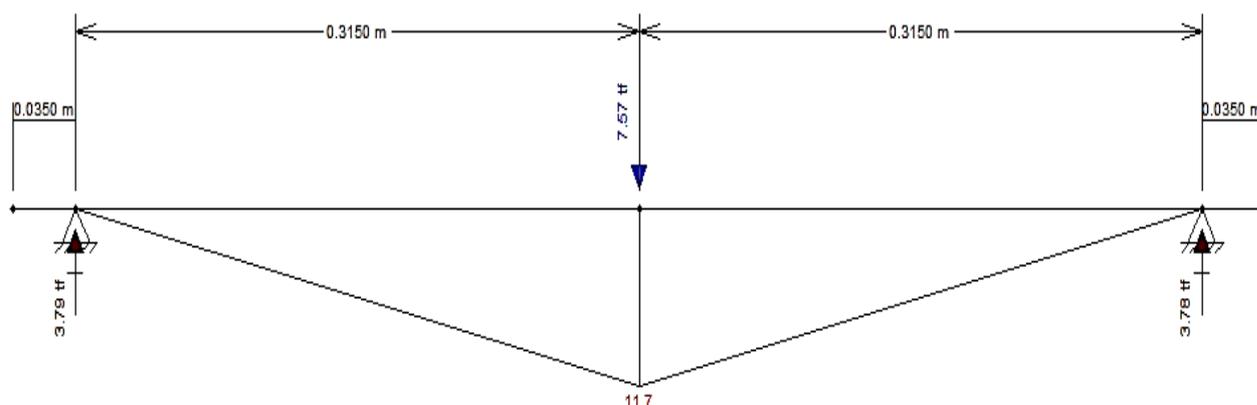


Figura 71 - Exemplificação da viga no momento fletor máximo.

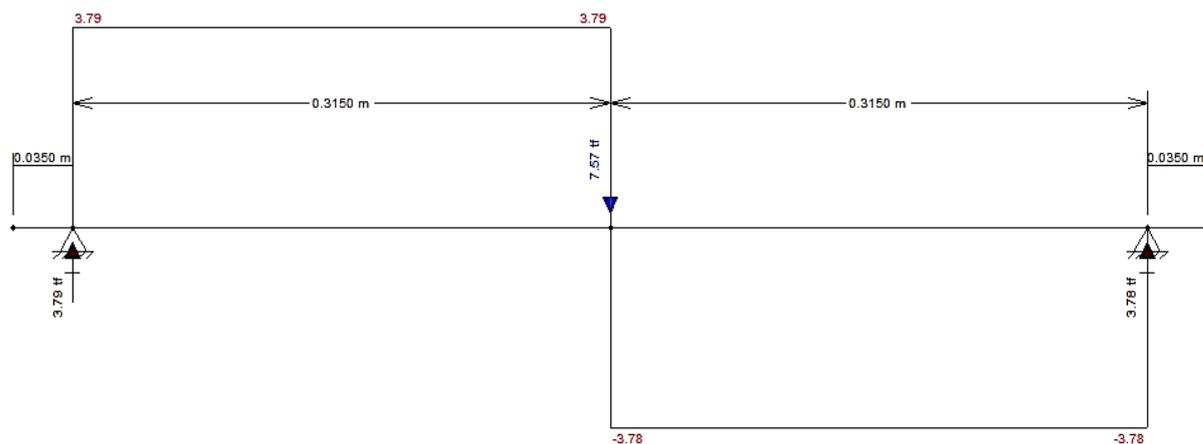


Figura 72 - Exemplificação da viga na cortante.

O rompimento da viga de bambu inteiro foi com 6,75 tf conforme a Figura 73 demonstra.

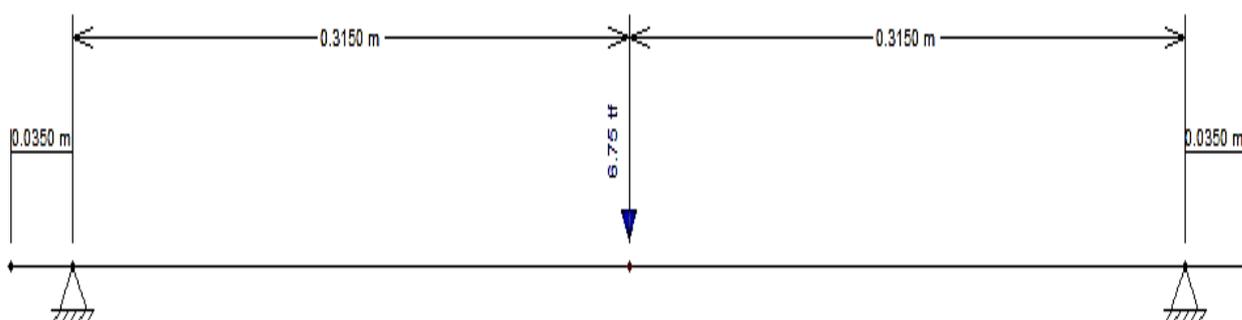


Figura 73 - Exemplificação da viga com a carga.

A flecha máxima atingida foi de 10,4 tf e possuiu as reações de apoio de 3,37 tf, conforme a Figura 74 expressa.

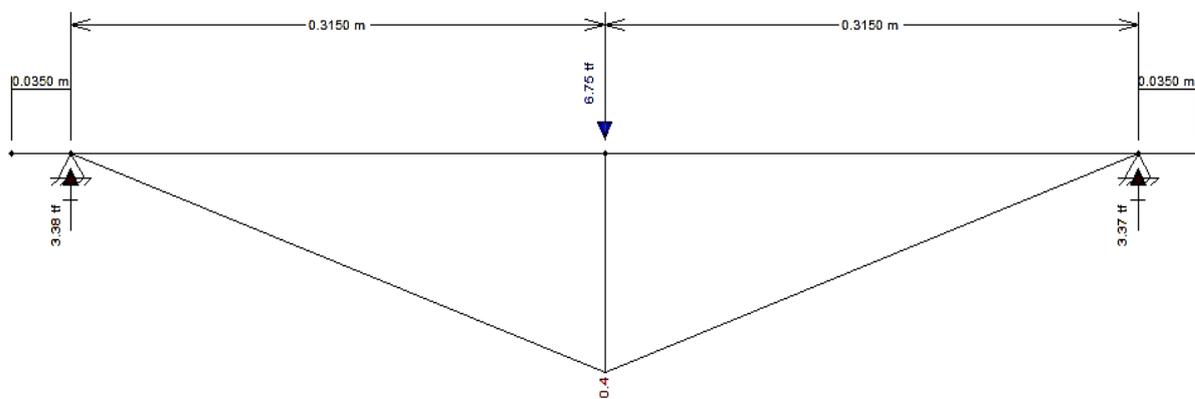


Figura 74 - Exemplificação da viga no momento fletor máximo.

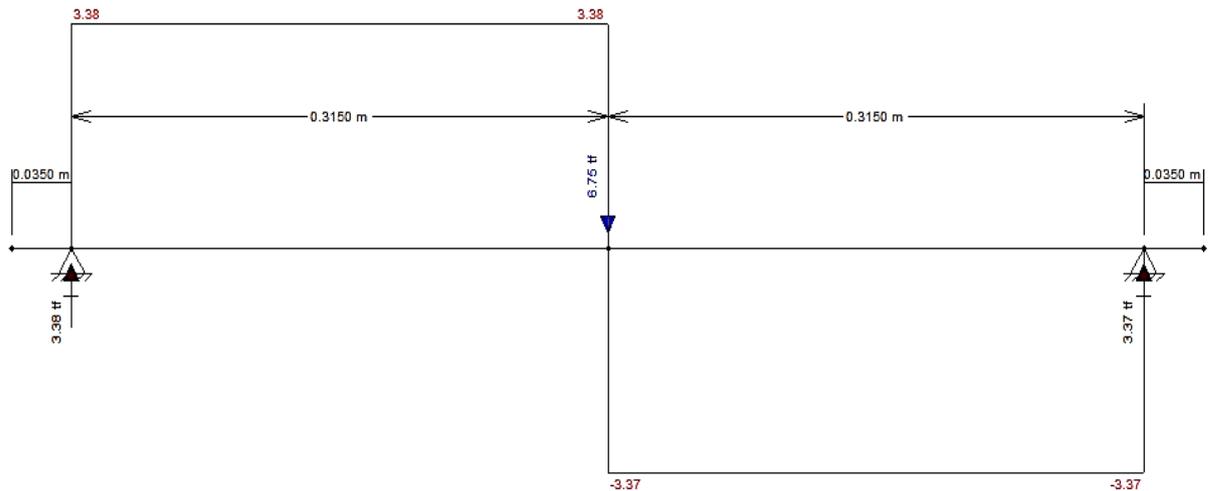


Figura 75 - Exemplificação da viga na cortante.

O rompimento da viga de armação de bambu foi com 6,16 tf conforme a Figura 76 demonstra.

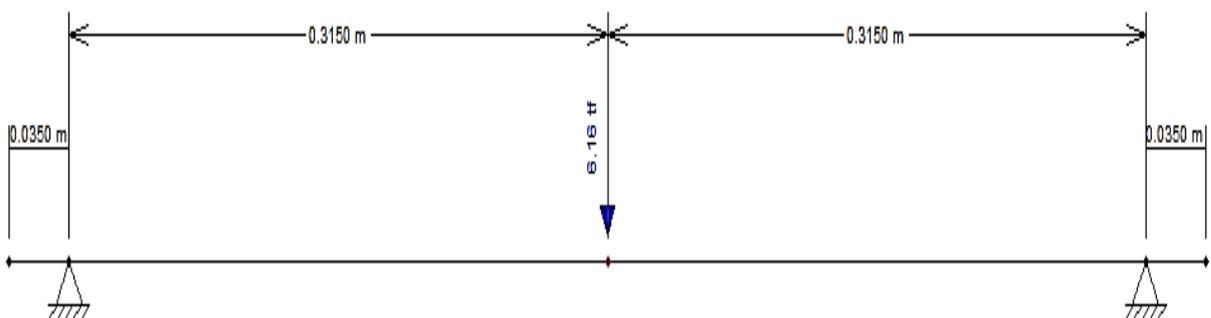


Figura 76 - Exemplificação da viga com a carga.

A flecha máxima atingida foi de 9,5 tf e possuiu as reações de apoio de 3,08 tf, conforme a Figura 77 expressa.

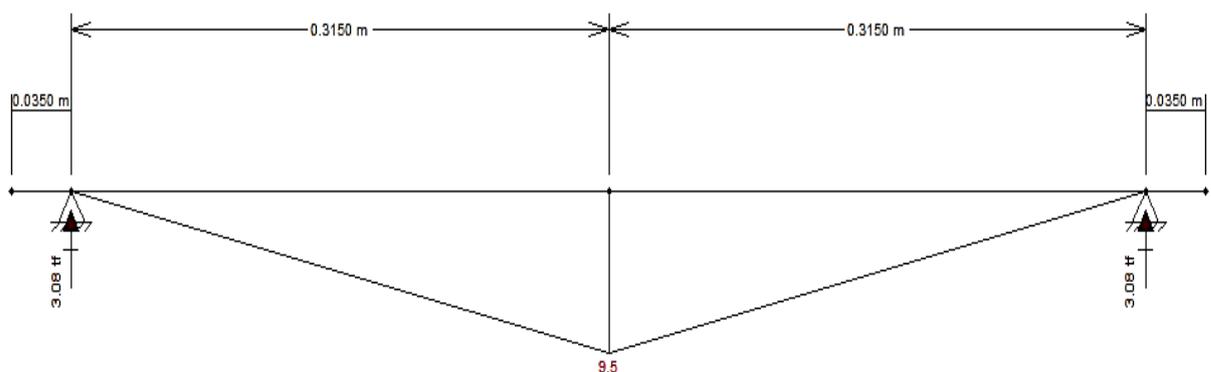


Figura 77 - Exemplificação da viga no momento fletor máximo.

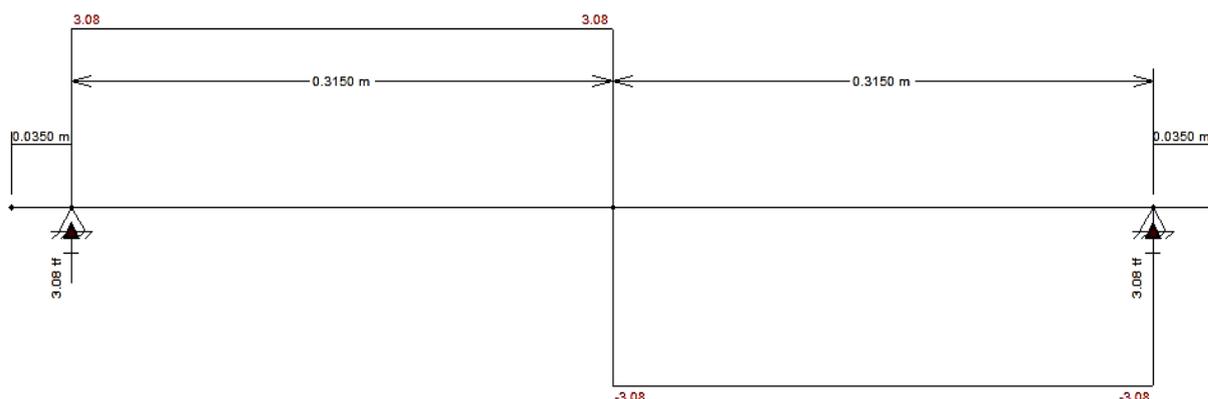


Figura 78 - Exemplificação da viga na cortante.

As propriedades mecânicas avaliadas foi a tensão de flexão, e para isso é necessário realizar algumas equações complementares, conforme será explanado.

Calculando o momento de inércia em relação ao CG no eixo x, tem-se a equação (1) como base de cálculo.

$$I_x = \frac{b \cdot h^3}{12} \quad (1)$$

Adicionando os valores reais das vigas tem que o momento de inércia em relação ao CG no eixo x é de $I_x = 3,43 \times 10^{-3} m^4$.

Calculando o momento de inércia em relação ao CG no eixo y, tem-se a equação (2) como base de cálculo.

$$I_y = \frac{b^3 \cdot h}{12} \quad (2)$$

Adicionando os valores reais das vigas, tem que o momento de inércia em relação ao CG no eixo x é de $I_y = 1,008 \times 10^{-4} m^4$.

Para descobrir a pressão de tensão de compressão, aplica-se a equação (3).

$$\sigma_c = \frac{F}{A} \quad (3)$$

Onde,

σ_c = Tensão de compressão,

F = Força aplicada,

A = Área do ponto de atuação da carga.

Assim, os valores de tensão de compressão das três vigas, estão expressos na Tabela 9.

Tabela 9 - Tensão de compressão (σ_c).

Viga	Matéria-prima	σ_c Tensão de compressão (MPa)
Concreto armado	Aço	0,2403
Concreto gramíneo	Bambu inteiro	0,2142
Concreto gramíneo	Bambu ripa	0,1955

Para calcular a tensão de tracionamento, aplica-se a equação (4).

$$\sigma_t = \frac{F}{A} \quad (4)$$

σ_t = Tensão de tracionamento,

F = Força aplicada,

A = Área total.

Com isso os valores da tensão de tracionamento, das três vigas estão expressos na Tabela 10.

Tabela 10 - σ_t Tensão de tracionamento.

Viga	Matéria-prima	σ_t Tensão de tracionamento (MPa)
Concreto armado	Aço	7,5099
Concreto gramíneo	Bambu inteiro	6,6964
Concreto gramíneo	Bambu ripa	6,1111

Ao observar os rompimentos das vigas no ato da dispersão da carga, percebe-se os deslocamentos dos pontos, e é possível visualizar também os pontos de rupturas no concreto e na armação, conforme demonstra a Figura 79.



Figura 79 - Primeira trinca na armação com ripa de bambu.

Analisando o surgimento da primeira trinca na viga de concreto gramíneo, com a armação de ripas de bambu, o ponto de rompimento foi exatamente na junção do bambu pertencente ao estribo. Percebe-se que nesse ponto a ripa desfez as fibras em formato retilíneo, pode-se considerar que a espessura da ripa do bambu não foi o suficiente, conforme a Figura 80 ilustra. Todavia, outros possíveis fatores podem ter contribuído para o resultado, necessitando de um aprofundamento maior em futuros estudos.



Figura 80 - Fibras em processo de rompimento.

Nesse caso avalia-se a possibilidade de dobrar a espessura e diâmetro da peça, para obter um resultado maior do que o apresentado.

A mesma análise do rompimento foi observada na viga de aço CA50, onde percebe-se os deslocamentos dos pontos, e é possível visualizar os pontos de rupturas no concreto e na armação, conforme demonstra a Figura 81.



Figura 81 - Primeira trinca na armação de aço CA50.

Analisando o surgimento da primeira trinca da viga de concreto armado, o ponto de rompimento foi exatamente na solda presente no estribo. Percebe-se nesse ponto que a solda foi a fraqueza dessa viga, pode-se considerar que a quantidade ou tipo de solda aplicada, não tenha sido eficiente ou adequada, nesse caso avalia-se a possibilidade de utilização de arames ou o aumento da espessura do filete de solda na união do estribo, para obter um resultado maior do que o apresentado. A Figura 82 expressa a análise.



Figura 82 - Rompimento do filete de solda.

A mesma análise do rompimento, foi observada na viga construída com a vara de bambu inteiro, onde percebe-se os deslocamentos dos pontos, e é possível visualizar os pontos de rupturas no concreto e na armação, conforme demonstra a Figura 83.



Figura 83 - Primeira trinca na armação bambu inteiro.

Analisando o surgimento da primeira trinca na viga de concreto gramíneo, confeccionada com bambu inteiro, o ponto de rompimento foi exatamente paralelo as fibras, onde o bambu não rompeu por esmagamento de forma transversal, de acordo com a Figura 84.



Figura 84 - Rompimento na fibra do bambu.

Percebe-se, nesse ponto que as fibras transversais do bambu, possuem excelentes características mecânicas ao suportarem a carga, pois o rompimento ocorreu na parte paralela as fibras, como um efeito de “descolamento” e separação das mesmas, pode-se considerar que o amido (tipo de açúcar) presente nessas fibras, tenha sido o responsável pelo rompimento, pois ainda não existe uma tecnologia que elimine 100% o amido de um bambu.

Então nesse caso avalia-se a possibilidade de extinguir ao máximo o amido presente nas fibras paralelas da vara, e assim obter um resultado maior do que o apresentado. Outra observação importante é que a resina vegetal conseguiu

impermeabilizar por dentro do bambu, porém na parte externa houve descolamento da resina. Analisando nota-se a necessidade criar uma “rugosidade” maior, tipo ponte de ancoragem camada externa do bambu, de modo a criar nervuras para que assim a resina fixe melhor, fazendo o concreto aderir melhor no bambu Mosô.