

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**

**MEIZLENNY RIBEIRO DO NASCIMENTO**

**ANÁLISE EXPERIMENTAL DE ESTRUTURAS DE CONCRETO REFORÇADO  
COM BAMBU (*BAMBUSA TULDOIDES*) DA REGIÃO DE GUARAPUAVA**

**GUARAPUAVA**

**2022**

**MEIZLENNY RIBEIRO DO NASCIMENTO**

**ANÁLISE EXPERIMENTAL DE ESTRUTURAS DE CONCRETO REFORÇADO  
COM BAMBU (*BAMBUSA TULDOIDES*) DA REGIÃO DE GUARAPUAVA**

**EXPERIMENTAL ANALYSIS OF BAMBOO-REINFORCED CONCRETE  
STRUCTURES (*BAMBUSA TULDOIDES*) FROM THE GUARAPUAVA REGION**

Trabalho de conclusão de curso de graduação  
apresentada como requisito para obtenção do título de  
Bacharel em Engenharia Civil da Universidade  
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).  
Orientador(a): Dyorgge Alves Silva

**GUARAPUAVA**

**2022**



Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

**MEIZLENNY RIBEIRO DO NASCIMENTO**

**ANÁLISE EXPERIMENTAL DO CONCRETO ARMADO COM ADIÇÃO DE BAMBU  
*BAMBUSA TULDOIDES* DA REGIÃO DE GUARAPUAVA PARA REFORÇO EM  
CONCRETO**

Trabalho de conclusão de curso de graduação  
apresentada como requisito para obtenção do título de  
Bacharel em Engenharia Civil da Universidade  
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 16/ dezembro/ 2022

---

Dyorgge Alves Silva  
Mestre em Engenharia Civil  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná- UTFPR

---

Andreza Frare  
Mestra em Engenharia Civil  
Centro Universitário Campo Real

---

Bianca Paola Comin  
Mestra em Engenharia Civil  
Universidade Estadual de Ponta Grossa

**GUARAPUAVA**

**2022**

Dedico este trabalho ao meu falecido Avô José Valmor Ribeiro pela inspiração e por amar a construção civil, e a minha família.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus que me permitiu vivenciar o sonho de estudar engenharia civil e por tudo que ele fez e faz por mim.

Aos meus pais Valdineia e José Joelson, que sempre me apoiaram em todas as minhas decisões, sempre com amor e afeto, e por me trilhar no caminho do bem e da educação, e claro por terem participado diretamente no trabalho na ajuda da montagem das treliças, dos estribos e das caixarias.

Ao meu falecido avô José Valmor, por sempre acreditar no meu potencial, e me fazer apaixonar pela engenharia civil, e por me ensinar que todo dia existe um aprendizado novo e que por fazer parte desse sonho nosso sonho, nem que tenha sido por pouco tempo.

A minha falecida avó Terezinha, por me ensinar a ser certa e sempre acreditar em coisas boas. A minha avó Daluz pelo amor e pela sua paciência.

A minha irmã Heloise por sempre acreditar em meu potencial.

Ao meu namorado Eduardo, por todo amor, paciência e compreensão ao meu estresse e choro, e pelo aprendizado que nossa relação me trouxe e pela ajuda diretamente na hora dos ensaios na universidade.

Aos meus amigos todos aqueles que fazem parte da minha vida e me ensinam todo dia a ser melhor.

Aos meus colegas de trabalho principalmente a Rhaiana e seu noivo Gabriel por me ajudarem na concretagem dos meus corpos de prova.

Aos meus chefes Elvis e Amanda pela compreensão todas as vezes que precisei sair para realizar os ensaios.

Agradeço ao meu orientador Prof. Msc. Dyorgge Alves Silva, pela sabedoria com que me guiou nesta trajetória.

Enfim, a todos os que por algum motivo contribuíram para a realização desta pesquisa.

A tarefa não é tanto ver aquilo que ninguém viu,  
mas pensar o que ninguém ainda pensou sobre  
aquilo que todo mundo vê.  
(SCHOPENHAUER; ARTHUR).

## RESUMO

NASCIMENTO, M.R. **Análise experimental de estruturas de concreto reforçado com Bambu (*Bambusa Tuldoides*) da região de Guarapuava**, 2022. 84 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Guarapuava, 2022.

O bambu tem excelentes propriedades físicas e mecânicas do ponto de vista da engenharia, assim como diversas vantagens como fácil manuseio, crescimento acelerado, baixo peso específico assim como resistência mecânica elevada. Essa pesquisa visa analisar a viabilidade da junção do bambu e do concreto como um sistema estrutural sustentável para a construção civil. O presente trabalho apresenta e faz comparações sobre as propriedades mecânicas do bambu *Bambusa tuldoides* típico da região de Guarapuava-Pr, conhecido como Bambu Taquara. Os corpos de provas foram ensaiados em tração na flexão nas vigas e ensaio de compressão no próprio material estudando suas características mecânicas. Os resultados indicam que a montagem da armação de bambu com estribos para uma melhor estabilidade da viga com o aço recozido aumentou por consequência a aderência entre o bambu e o concreto e que o material estudado tem bons resultados para propriedades mecânicas, indicando assim um potencial no uso dele, mas para que isso ocorra efetivamente são necessárias mais pesquisas envolta do bambu como material estrutural.

Palavras-chave: Bambu; Concreto Reforçado; Ensaio, Propriedades mecânicas.

## ABSTRACT

NASCIMENTO, M.R. **Experimental analysis of bamboo-reinforced concrete structures (*Bambusa Tuldoides*) from the Guarapuava region.** 2022. 84 f. Completion of course work (Bachelor of Civil Engineering) - Federal Technological University of Paraná. Guarapuava, 2022.

Bamboo has excellent physical and mechanical properties from an engineering point of view, as well as several advantages such as easy handling, accelerated growth, low specific weight as well as high mechanical resistance. This research aims to analyze the feasibility of joining bamboo and concrete as a sustainable structural system for civil construction. The present work presents and compares the mechanical properties of *Bambusa tuldoides* bamboo, typical of the region of Guarapuava-PR, known as Bambu Taquara. The specimens were tested in traction in flexion on the beams and compression test on the material itself, studying its mechanical characteristics. The results indicate that the assembly of the bamboo frame with stirrups for a better stability of the beam with the annealed steel consequently increased the adhesion between the bamboo and the concrete and that the studied material has good results for mechanical properties, thus indicating a potential in the use of it, but for this to occur effectively more research is needed around bamboo as a structural material..

Keywords: Bamboo; Reinforced Concrete; Tests, Mechanical properties.



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Distribuição do bambu pelo mundo .....	19
Figura 2- Organograma da utilização do bambu .....	19
Figura 3- Caracterização do Bambu .....	22
Figura 4- Principal distinção da constituição subterrânea dos rizomas dos bambus a) Bambus entouceirantes (Leptomorfos) b) alastrantes (Paquimorfos) .....	23
Figura 5- Seção do colmo e suas denominações.....	24
Figura 6- Paralelismo das fibras de bambu .....	25
Figura 7- Microestrutura bambu (6x6 mm).....	26
Figura 8- Resistencia e dureza comparativo de materiais.....	27
Figura 9- Absorção de água em diferentes espécies de bambu .....	31
Figura 10- Comportamento de talisca de bambu não tratada como reforço em concreto. (a) bambu em concreto fresco; (b) bambu durante a cura de concreto; (c) bambu após concreto curado.....	32
Figura 11- Estrutura do trabalho.....	34
Figura 12- Corte das peças de bambu.....	35
Figura 13- Taliscas de bambu .....	36
Figura 14- Armação com bambu com estribos de aço de $\varnothing$ 4,5 mm, amarração com arame recozido. ....	37
Figura 15- Dimensão das Vigas .....	39
Figura 16- Dimensões das taliscas de bambu .....	39
Figura 17- Dimensionamento do estribo .....	39
Figura 18- Detalhamento da viga .....	40
Figura 19- Detalhamento da viga .....	40
Figura 20- Corte BB' e AA'.....	40
Figura 21- Caixarias com bambus dentro .....	41
Figura 22- Concretagem de 1/3 da fôrma .....	41
Figura 23- Vigas de bambu finalizadas .....	41
Figura 24- Vigas de bambu desmoldados.....	42
Figura 25- Corpos de prova de bambu .....	43
Figura 26- Corpos de prova de bambu posicionados na máquina .....	43
Figura 27- Esquema de alocação do corpo de prova.....	46
Figura 28- Viga de bambu com seu centro marcado .....	46
Figura 29- Ruptura fora do terço médio .....	47
Figura 30- Viga posicionada para o ensaio.....	48
Figura 31- Concreto fresco.....	52
Figura 32- Slump test.....	52
Figura 33- Abatimento obtido.....	52
Figura 34- Colmo terciário fissurada parte externa (a) .....	58
Figura 35- Colmo terciário fissurada parte interna (a) .....	58
Figura 36- Colmo secundário fissurada parte externa (b) .....	58
Figura 37- Colmo secundário fissurada parte interna (b) .....	58
Figura 38- Colmo terciário fissurada parte externa (a) .....	59
Figura 39- Colmo terciário fissurada parte interna (a) .....	59
Figura 40- Colmo secundário fissurada parte externa (b) .....	59
Figura 41- Colmo secundário fissurada parte interna (b) .....	59
Figura 42- Corpo de prova com bambu rompido .....	63

<b>Figura 43- Corpo de prova com bambu rompido. ....</b>	<b>63</b>
<b>Figura 44- Bambu com falta de aderência ao concreto .....</b>	<b>64</b>
<b>Figura 45- Fissuramento no centro da viga reforçada com bambu.....</b>	<b>65</b>

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Relação resistência à tração e massa específica de alguns materiais .....	27
Tabela 2- Razão entre tração e massa específica .....	30
Tabela 3- Propriedades do Concreto .....	38
Tabela 4- Fatores de correção.....	44
Tabela 5- Resultados do ensaio granulométrico .....	49
Tabela 6- Resultados obtidos no ensaio granulométrico agregado graúdo .....	50
Tabela 7- Fator de correção cada CP .....	53
Tabela 8- Dados corpos de provas cilíndricos de bambu .....	53
Tabela 9- Valores corrigidos de todos os copos de prova com valor de média, desvio e coeficiente de variação de todos os copos de prova. ....	54
Tabela 10- Média, Desvio Padrão e Coeficiente de Variação de Colmos sem nó .....	54
Tabela 11- Separados em Colmos primário, secundário e terciário .....	55
Tabela 12- Resistencia a tração encontrada pela correlação da Equação 10....	56
Tabela 13- Força Máxima de ruptura a flexão nas vigas referencias e com Bambu .....	60

## LISTA DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1- Curva Granulométrica .....</b>	<b>49</b>
<b>Gráfico 2- Curva Granulométrica .....</b>	<b>51</b>
<b>Gráfico 3- Tensão em MPa e sua média. ....</b>	<b>56</b>
<b>Gráfico 4- Curva de Carga x Deslocamento CP 2- Bambu.....</b>	<b>61</b>
<b>Gráfico 5- Curva de Carga x Deslocamento CP 7- Bambu.....</b>	<b>62</b>
<b>Gráfico 6- Curva de Carga por Deslocamento de todos os corpos de prova com Bambu .....</b>	<b>62</b>

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
Coef.	Coeficiente
CP	Corpo de prova
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
Máx.	Máxima
MF	Modulo de Finura
NBR	Normas Brasileiras
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná

## LISTA DE SÍMBOLOS

$F_{ck}$	Resistencia característica
MPa	Megapascal
mm	Milímetro
$h$	Altura
$D$	Diámetro
$L$	Comprimento do vão
$F$	Força máxima
$f_{ctk,min}$	Resistência à tração mínima
$f_{ctk,max}$	Resistência à tração máxima

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>15</b>
<b>1.1</b>	<b>Justificativa</b> .....	<b>16</b>
<b>1.2</b>	<b>Objetivos</b> .....	<b>17</b>
1.2.1	Objetivos Específicos .....	17
<b>2</b>	<b>REFERÊNCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>18</b>
<b>2.1</b>	<b>Histórico do Bambu</b> .....	<b>18</b>
<b>2.2</b>	<b>Bambu como elemento estrutural</b> .....	<b>20</b>
<b>2.3</b>	<b>Estrutura do Bambu</b> .....	<b>21</b>
2.3.1	Macroestrutura .....	22
2.3.2	Microestrutura.....	24
2.3.3	Características Físicas e Mecânicas .....	26
<u>2.3.3.1</u>	<u>Umidade</u> .....	<u>28</u>
<u>2.3.3.2</u>	<u>Densidade massa específica</u> .....	<u>28</u>
<u>2.3.3.3</u>	<u>Dimensão</u> .....	<u>29</u>
<u>2.3.3.4</u>	<u>Compressão Paralela as fibras</u> .....	<u>29</u>
<u>2.3.3.5</u>	<u>Tração paralela as fibras</u> .....	<u>29</u>
<u>2.3.3.6</u>	<u>Cisalhamento</u> .....	<u>30</u>
<u>2.3.3.7</u>	<u>Valores gerais das características físicas e mecânicas</u> .....	<u>30</u>
<b>2.4</b>	<b>Concreto reforçado pelo bambu e sua complexidade</b> .....	<b>30</b>
2.4.1	Absorção de água .....	30
2.4.2	Aderência .....	32
<b>2.5</b>	<b>Vantagens e desvantagens do uso do bambu</b> .....	<b>33</b>
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>33</b>
<b>3.1</b>	<b>Materiais</b> .....	<b>34</b>
3.1.1	Bambu .....	34
3.1.2	Cimento .....	37
3.1.3	Concreto.....	37
<u>3.1.3.1</u>	<u>Ensaio Granulométrico</u> .....	<u>37</u>
3.1.3.1.1	<i>Aggregado Miúdo</i> .....	37
3.1.3.1.2	<i>Aggregado Graúdo</i> .....	37
<u>3.1.3.2</u>	<u>Dosagem do Concreto</u> .....	<u>38</u>
<b>3.2</b>	<b>Metodologia</b> .....	<b>38</b>
3.2.1	Preparação dos corpos de prova prismáticos .....	38

3.2.2	Cura dos corpos de prova .....	41
3.2.3	Ensaio e instrumentação .....	42
<u>3.2.3.1</u>	<u>Ensaio de compressão axial do bambu <i>Bambusa tuldoides</i> .....</u>	<u>42</u>
<u>3.2.3.2</u>	<u>Ensaio de tração à flexão .....</u>	<u>45</u>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>49</b>
<b>4.1</b>	<b>Materiais .....</b>	<b>49</b>
4.1.1	Ensaio Granulométricos .....	49
<u>4.1.1.1</u>	<u>Agregado Miúdo .....</u>	<u>49</u>
<u>4.1.1.2</u>	<u>Agregado Graúdo.....</u>	<u>50</u>
4.1.2	Dosagem do Concreto.....	51
<b>4.2</b>	<b>Ensaio de compressão axial .....</b>	<b>53</b>
<b>4.3</b>	<b>Ensaio da tração à flexão .....</b>	<b>60</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>66</b>
	<b>SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....</b>	<b>68</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>69</b>



## 1 INTRODUÇÃO

A preocupação com o meio ambiente tem sido tema de discussão em diversas áreas, havendo também a necessidade de encontrar soluções na engenharia civil que visem a redução do impacto na natureza, onde a indústria da construção civil produz cerca de 40% da economia mundial, temos que ela tem um consumo de madeira de cerca de 66%, assim como gera por volta de 40% dos resíduos nas cidades (HANSEN,2008).

Dado o elevado consumo de materiais não renováveis e o elevado consumo energético das construções, a necessidade de processos construtivos com menor impacto ambiental é uma das principais preocupações da atualidade. O crescimento populacional e a contínua urbanização das cidades alimentaram o desenvolvimento da indústria da construção e, portanto, a intensificação do uso de matérias-primas (SALGADO NETO, 2018).

A atual crise energética causada pelo crescimento industrial indiscriminado tem levantado preocupações crescentes sobre a gestão dos recursos energéticos disponíveis e a degradação ambiental, levando a uma busca contínua por materiais não poluentes e processos de fabricação que requerem menos energia (GHAVAMI, 2005).

Segundo estatísticas do Instituto Aço Brasil, a produção brasileira de aço bruto atingiu aproximadamente 30,2 milhões de toneladas em 2016, uma queda de 9,2% em relação a 2015, apresentando elevados custos de produção assim como grandes impactos ambientais, como emissão de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e metano (CH<sub>4</sub>) na atmosfera, contribuindo para o efeito estufa, assim como outros elementos que são liberados como óxido de enxofre (SO<sub>x</sub>) e óxido de nitrogênio (NO<sub>x</sub>), os quais reagem com a umidade podendo causar chuvas ácidas (JATOBÁ, 2013).

Para minimizar esses impactos gerados pela construção civil e para torná-la mais sustentável, se buscam alternativas construtivas menos impactantes no meio ambiente, atraindo um olhar para novas alternativas sustentáveis, que se tenha um baixo custo e consumo de energia menores. Segundo Ghavami e Toledo (1992), se torna uma exigência básica o desenvolvimento desses materiais alternativos para a construção civil.

Nessa linha de pesquisa temos o bambu, que representa uma alternativa de materiais renováveis para construção civil, tanto pelas suas propriedades físicas e

mecânicas, quanto pelo seu fácil plantio e sua rápida reprodução. Pesquisadores como Ghavami e Hombeck (1981), Beraldo *et al.* (2003), Lima Jr. (2005) e Pereira (2018), vem estudando o bambu como um complemento do concreto.

Segundo Lima Jr. *et al.* (2000), o bambu apresenta alta resistência mecânica à tração paralela as fibras, o que é uma propriedade importante para ser utilizado como reforço em estruturas de concreto. Pois o princípio básico do concreto armado é a capacidade de resistir a compressão (concreto) e a tração (aço).

### **1.1 Justificativa**

De acordo com *World Commission On Environment and Development* (1987) sustentabilidade é um termo usado para definir comportamentos humanos e atividades projetadas para atender às necessidades atuais sem prejudicar o futuro da próxima geração.

Segundo Pereira e Beraldo (2008) o bambu apresenta-se como fonte de proteção do solo e carbono na atmosfera e pode passar como regenerador ambiental reflorestamento de outras florestas. Este vegetal tem propriedades, como: baixa densidade, boa resistência, principalmente para tração, flexão e crescimento rápido. Podendo ser utilizado na indústria da construção civil como um material mais sustentável.

O bambu faz parte de uma cultura milenar, dos povos da Ásia, e é uma fonte de economia para os países desse continente. No entanto, Gaion *et al.* (2005) mostraram que o bambu é pouco conhecido e explorado na América Latina. Apesar da grande área de bambu, apenas alguns países defendem a pesquisa e desenvolvimento do bambu. O bambu tem alta resistência mecânica, inclusive tensão de tração. Há diversos estudos como Ghavami e Hombeck (1981), Beraldo *et al.* (2003), Lima Jr. (2005), Ferreira (2007), Salgado Neto (2018) e Pereira (2018), confirmando seu potencial como material alternativo na construção civil.

Segundo Ghavami (1995), uma pesquisa realizada pela Associação Brasileira de Materiais e Tecnologias Não Tradicionais (ABMTENC) sobre o consumo de energia e o impacto de materiais tradicionais e alternativos mostrou que o bambu consome menos energia, verificou-se que para o aço é necessária 50 vezes mais energia para gerar 1 metro cúbico por unidade de tensão projetada do que para o bambu.

Com a crescente demanda de tecnologias sustentáveis neste segmento, o estudo dessas espécies pode conferir à obra não somente o rótulo de construção

verde, mas também, reduzir significativamente seu custo. Além disso, o bambu pode trazer beleza, flexibilidade e leveza à uma estrutura

## **1.2 Objetivos**

Este trabalho tem como objetivo estudar o comportamento mecânico do bambu *Bambusa Tuldoides* através de ensaio de compressão, assim como analisar seu comportamento aliado ao concreto, através de ensaios de rupturas à flexão.

### **1.2.1 Objetivos Específicos**

Para o alcance do objetivo geral foram dispostos os seguintes objetivos específicos:

- Estudar as propriedades mecânicas do bambu da espécie *Bambusa Tuldoides*;
- Verificar a influência do bambu da espécie *Bambusa Tuldoides* no concreto;
- Avaliar o comportamento e a efetividade do bambu no concreto;

## 2 REFERÊNCIAL TEÓRICO

### 2.1 Histórico do Bambu

Segundo Hidalgo- López (2003), o bambu teve origem no período Cretáceo, na civilização asiática um pouco antes da era terciária, quando surgiu o homem. No oriente desde a pré-história o bambu vem sendo utilizado em prol da sociedade.

Greco & Cromberg (2010) falam que o termo bambu foi introduzido pela primeira vez pelo sueco naturalista Carlos Lineo (1707-1778), que adotou o termo mambu ou bambu. A palavra bambu se origina do idioma Marati, o qual é uma palavra de substantivo masculino (MICHAELIS, 2017).

O bambu é uma planta ancestral cada vez mais importante, é chamada de "árvore do pobre" na Índia, "amiga do povo" na China e "irmão" no Vietnã, no Ocidente, é menos reconhecido e frequentemente associado a pequenas obras. Como parte da história, sabe-se que o primeiro o filamento usado por Thomas Edson nas lâmpadas é o de bambu, e que foi usado na construção de uma das primeiras aeronaves, o modelo Demoiselle, Santos Dumont que se utilizou bambu (PEREIRA & BERALDO, 2008).

Em português, são descritos 34 nomes populares diferentes para bambu, todos vindos do Tupi-Guarani, como taquara, taboca, taquaruçu, taquari entre outros (FILGUEIRAS & SANTOS-GONÇALVES, 2007).

O bambu é uma planta que cresce principalmente nos trópicos, tem o crescimento mais rápido que qualquer outra planta, leva uma média de 3 aos 6 meses, para atingir a altura máxima, até 30 metros. Espécies conhecidas como gigantes, tem uma vitalidade particular, sendo versátil, leve, durável e manobrável, estética limpa, trabalhabilidade com ferramentas simples, essas qualidades desempenha um papel diferente na evolução da cultura humana do que qualquer outra planta (FARRELY, 1984). O autor fala que com o bambu se pode falar a ideia de “para todas as pessoas”, ou, “nunca haverá em nosso planeta flautas de prata suficiente para dar a todos, mas facilmente haverá bambu para que cada um faça sua própria flauta e toque”.

Segundo Pereira e Beraldo (2008), o bambu para os botânicos é uma das gramíneas lenhosas ou arborescentes do gênero *Bambusa*, *Arundinária*, *Dendrocálamo* os quais são distribuídos na terra, em regiões tropicais e subtropicais nos hemisférios. Por conta de serem tão dissipados pelo mundo o número exato de espécies existentes é desconhecida, sendo que a todo momento são descobertas

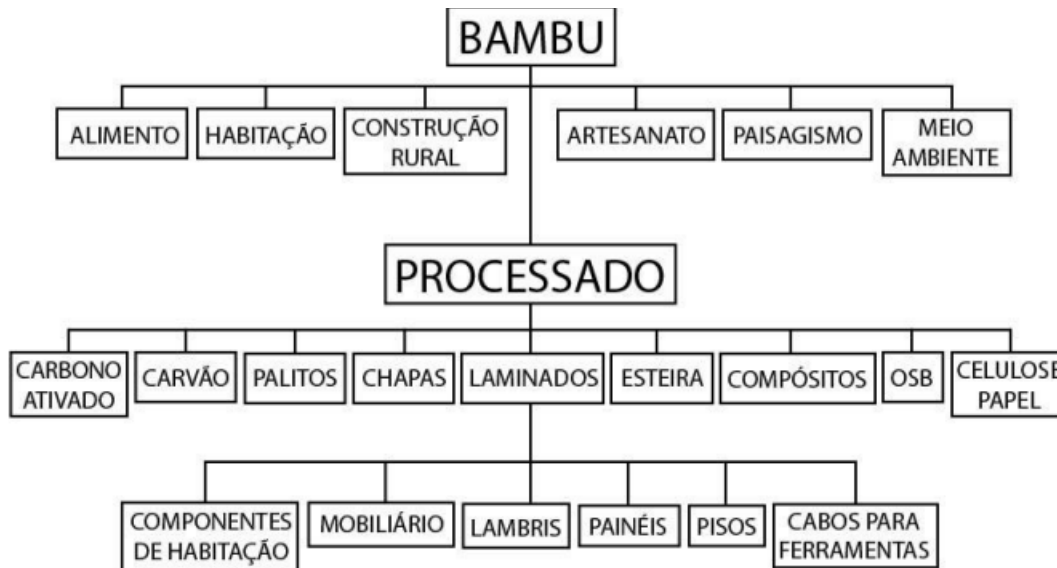
novas espécies, existem aproximadamente 1200 espécies, que são divididas em 90 gêneros, apenas na Antártida e Europa que não existe nenhuma espécie nativa devido ao frio intenso que se tem nos continentes (LONDÔNNO, 2004) (Figura 1).



**Figura 1- Distribuição do bambu pelo mundo**

Fonte: Lopez (2003).

Na Figura 2, um organograma se ilustra as variadas áreas que o bambu está inserido seja na sua forma natural ou industrializada (PEREIRA, 2006).



**Figura 2- Organograma da utilização do bambu**

Fonte: Pereira (2006)

Estima-se que o bambu seja utilizado como material de construção há mais de cinco mil anos na China e em alguns países asiáticos, para pontes e habitações. Japão, China e Índia têm os exemplos mais antigos de construção em bambu. Porque a China é famosa por suas pontes de grande extensão com cabos de bambu tensionados (SANT'ANA E VAZ FILHO, 2013).

Segundo Lopez (2003), a relação da China com o bambu remonta aos tempos pré-históricos, um dos primeiros elementos da escrita chinesa é a pintura de bambu, que consiste em duas hastes com folhas e galhos. Segundo Pereira e Beraldo (2008), o carvão de bambu foi o primeiro filamento utilizado em lâmpadas por Thomas Edison. Além disso, Alberto Santos Drummond utilizou o bambu na construção de seus primeiros aviões, como o modelo Demoiselle. Eles também argumentam que a inspiração para grandes estruturas ocidentais foi o Taj Mahal, um magnífico monumento indiano construído entre 1632 e 1653 e com uma cúpula baseada em uma estrutura de bambu que foi recentemente substituída por uma estrutura de metal.

Marçal (2016) observou que estruturas em países como Colômbia, Peru, Equador, Indonésia e Índia foram projetadas e construídas a partir de bambu roliço. Na Colômbia, por exemplo, estruturas habitadas centenárias não apresentavam doenças graves. Pereira e Beraldo (2008) relatam as capacidades dos profissionais e da força de trabalho colombiana, como o arquiteto Simón Vélez, que ganhou fama ao projetar uma igreja inteiramente de bambu.

No Brasil, além da fabricação de papel, o uso do bambu limita-se a algumas aplicações tradicionais, como artesanato, varas de pescar, fabricação de móveis e produção de brotos comestíveis (PEREIRA, 2001).

Na construção civil existem duas formas de utilização desse material, pode-se utilizar o bambu natural ou o bambu laminado. Segundo Pereira (2006), não há cultura no Brasil que utilize o bambu *in natura*, e estudos apontam para sua utilização na forma de laminado colado ou BLC (bamboo laminado colagem). Dessa forma, o material pode ser utilizado como pisos, forros, vigas, painéis e outros elementos estruturais.

## **2.2 Bambu como elemento estrutural**

O bambu tem sido alvo de muitos estudos relacionados as suas propriedades mecânicas. Isso se dá devido ao fato de não existir normas que padronizem a realização desses ensaios, fazendo com que os pesquisadores façam seus ensaios de acordo com o que é dado a ele, assim como se use aquilo que se ache mais adequado, pois o bambu um é material heterogêneo pois é natural (SALGADO NETO, 2018).

Ferreira (2002), fala que os primeiros ensaios ou estudos que utilizou o bambu como um reforço, fazendo a substituição do aço pelo bambu, se deu início no século

XX, mais especificamente em 1918, onde os chineses foram os primeiros a utilizar o bambu na construção civil. Com a Segunda Guerra Mundial, vários países como Japão e Estados Unidos incentivaram as pesquisas sobre essa substituição devido a possível dificuldade na obtenção do aço.

Antes de serem utilizados na China em 1918, os primeiros estudos foram feitos por H.K. Chow (1914), na América do Norte, nos Estados Unidos, o qual foi feito em ensaio em concretagem de pilares solicitados a flexão de pontes para linhas de trens com o bambu *Phyllostachys*, onde foram feitas mais de 200 amostras as quais apresentaram os seguintes resultados, resistência a flexão de 93,5 Mpa, resistência tração 98,6 Mpa, compressão de 38,7 Mpa e de cisalhamento de 8,0 Mpa (SALCEDO, 2001).

Lopez (2003), fala que a China tem uma relação com o bambu que vem desde os primórdios, que uma das primeiras escrita chinesa foi o desenho com bambu, com os talos com folhas e seus ramos. O mesmo autor cita que o bambu é um dos materiais mais utilizados em pesquisas que aliam o concreto com essa substituição do aço por bambu.

No Brasil um dos primeiros assuntos acerca da utilização do bambu como reforço, foi desenvolvido por Culzoni (1985), o qual fez um comparativo entre duas vigas, uma com concreto e bambu e outra com aço, todavia em seu estudo não teve nenhum parâmetro para esse dimensionamento, tanto do bambu quanto do aço (LIMA, WILLRICH E FABRO, 2005).

### **2.3 Estrutura do Bambu**

Segundo Correa (2014), o bambu é definido como eucariota (*Eukayota*), por ter um organismo com núcleo celular e uma membrana, de subcategoria do reino vegetal (*Plantae*), onde sua superdivisão é espermatófita (*Spermatophyta*) pois dá sementes, divisão angiosperma por suas sementes serem protegidas, coma classe monocotiledônea (*Liliopsida*) pois possui só umas folhas nas germinações, subclasse *Commelinidae* por seu sistema taxonômico, a ordem Poales e a família Gramíneas (*Poace*), por ser um tipo de relva, como exemplificado na Figura 3.

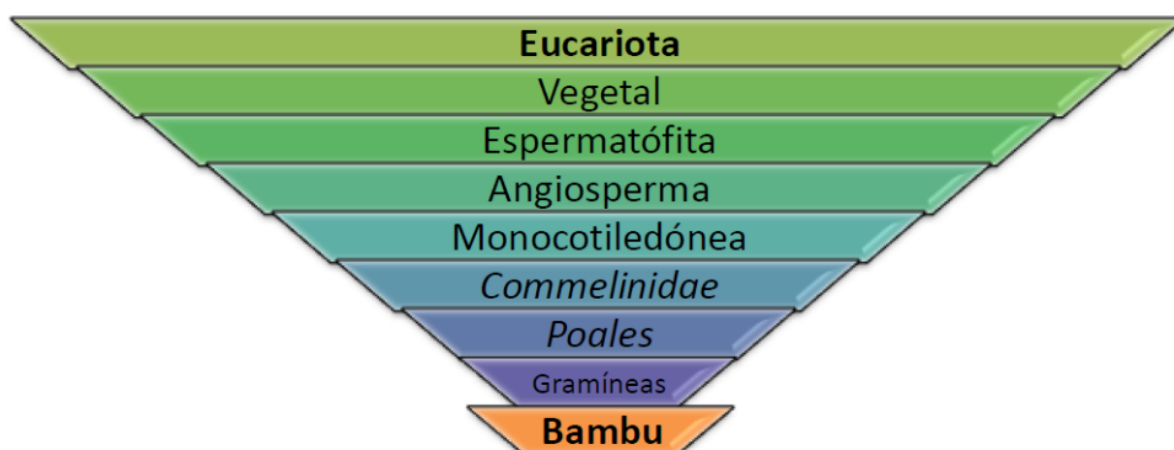


Figura 3- Caracterização do Bambu  
Fonte: Correa (2014)

Segundo Pereira e Beraldo (2008) o bambu é representante da família *Gramineae* ou *Pouceae*, subfamília *Bambusoideae*, a qual se divide em 2 categorias, uma delas *Bambuseae* que contém as espécies de maior porte, as que tem um colmo lenhoso e a segunda é a *Olyreae* que são as de menor porte, herbáceos. O mesmo autor fala que os bambus se desenvolvem naturalmente nos continentes com exceção na Europa, nas américas há cerca de 34% das espécies nativas, na Ásia 62% e 4% na Oceania. O mesmo autor ainda observa que o Brasil possui cerca de 34 gêneros onde cerca de 16 deles são considerados herbáceo (ornamental) e 18 tipo lenhoso, e que existem 232 espécies nativas de bambu, onde 172 são endêmicas.

### 2.3.1 Macroestrutura

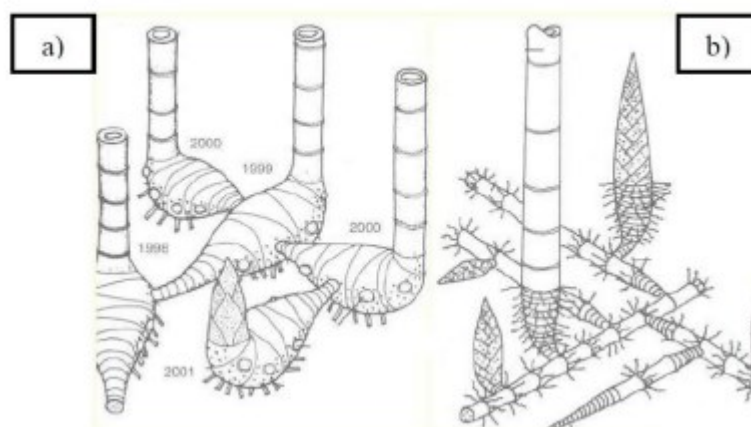
O bambu é dividido em duas categorias: lenhoso e herbáceo. As plantas lenhosas são mais altas, e a morfologia da raiz, caule, ramo e folha, caracteres, resistência e outras formas são semelhantes às das árvores. Os herbáceos, por outro lado, são menores e lembram arbustos e são mais usadas como plantas ornamentais (OHRNBERGER, apud GRECO & CROMBERG, 2010).

O bambu consiste em duas partes, uma acima do solo (caule), denominado colmo do bambu e outra abaixo do solo (rizoma e raiz). Em seu *habitat* natural, pode crescer a partir de sementes ou rizomas. Por pertencer à classe das plantas monocotiledôneas, as raízes são torrões, por isso é impossível distinguir a raiz principal de outras raízes. Sua função é manter a planta unida ao rizoma e extrair água e nutrientes do solo (HIDALGO-LÓPEZ, 1974).



Targa (2011) fala que:

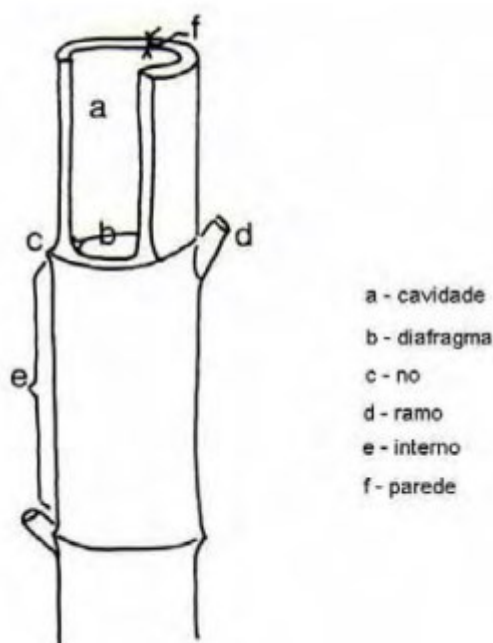
Comumente os bambus de clima tropical ou subtropical tendem a ser entouceirastes enquanto os de clima temperado tendem a ser alastrantes. Os bambus entouceirastes, chamados de leptomorfos, formam touceiras fechadas, e se propagam através do crescimento de rizomas volumosos subterrâneos como representado na Figura 4a. Já os bambus alastrantes ou paquimorfos se propagam através de rizomas delgados e compridos e formam florestas abertas alcançando assim longa distância de propagação, Figura 4b.



**Figura 4- Principal distinção da constituição subterrânea dos rizomas dos bambus a) Bambus entouceirantes (Leptomorfos) b) alastrantes (Paquimorfos)**

**Fonte: Adaptado por Targa (2011)**

Do rizoma se forma o colmo que se caracterizam por apresentar uma forma cilíndrica e por formar entrenós que nada mais é que internos ocos e separados transversalmente por diafragmas que aparecem externamente como nós, é dali que saí as folhas e os ramos, esses diafragmas são que fornecem rigidez, flexibilidade e resistência, na Figura 5 representa uma seção do colmo (JANSSEN, 1988).



**Figura 5- Seção do colmo e suas denominações**  
**Fonte: Janssen (1988)**

Os colmos apresentam variadas espessuras, alturas e diâmetros assim como sua forma de crescimento se difere uma da outra, o qual varia de acordo com a espécie, enquanto alguns são pequenos e arbustivos, outros podem atingir altura de até 30 m e diâmetro de 3 cm (PEREIRA E BERALDO, 2008).

### 2.3.2 Microestrutura

Segundo Janssen (2000) temos que o bambu é constituído de 40% de fibras, 50% de células parenquimosas e 10% de vasos. Temos que sua estrutura é um material composto de fibras longas de celulose alinhadas (GHAVAMI, 2005). Liese (1998) fala que as fibras são cerca de 60 a 70% do peso total do tecido do colmo, e que os tamanhos das fibras variam de acordo com as espécies.

O termo grã faz referência a relação ao longitudinal do colmo com o paralelismo das fibras do bambu, o qual permite uma alta resistência mecânica, permitindo assim um melhor corte no sentido tangencial. (MISKALO, 2009).

Temos que a mudança da posição das fibras, se localizam os nós, os quais deixam de ser paralelas e se misturam, fazendo uma concentração maior de fibras em vários sentidos, fazendo com que a região dos nós tenha uma maior resistência a compressão (HIDALGO-LOPEZ, 1974).

Liese (1998), fala que nos nós internos a orientação das células são axialmente o que pode dificultar a movimentação da seiva e dos nutrientes lateralmente. O mesmo autor cita que os nós produzem os diafragmas através de interconexões de feixes vasculares transversalmente, fazendo o transporte de água e de nutrientes, fazer essa movimentação de líquidos.

A Figura 6 mostra essa disposição no colmo das fibras e região de maior concentração dos nós.



**Figura 6- Paralelismo das fibras de bambu**  
**Fonte: Souza (2014)**

Segundo Janssen e Jules (2000) temos que a parte externa da parede do colmo é bem densa, e sua espessura é mais ou menos um quarto de milímetro, temos que ela contenha muita sílica que protege a planta. Temos que a Figura 7, mostra a microestrutura da parede do colmo, se observar as manchas, elas diminuem da esquerda para direita, o material entre os pontos mais escuros é chamado de parênquima, onde as fibras estão localizadas, logo esses pontos escuros são fibras de celulose conectadas a tecidos condutores.



**Figura 7- Microestrutura bambu (6x6 mm)**  
**Fonte: Janssen e Jules (2000)**

### 2.3.3 Características Físicas e Mecânicas

Liese (1998), Janssen (2000) e Hidalgo-López (2003), comentam que o bambu tem excelentes propriedades mecânicas que podem ser afetadas pelo teor de umidade do caule, essas propriedades também dependem da idade e densidade do colmo, mas dependem do teor das fibras principalmente, que é o elemento responsável pela sua resistência.

Temos que cada espécie possui características próprias, as quais dependem das condições ambientais, como onde crescem, topografia local, tipo de solo, bem como também a idade do colmo que são estudadas, ficando difícil a extrapolação de resultados obtidos entre diferentes localidades e espécies, com metodologias diferentes (HIDALGO-LÓPEZ, 2003).

Ghavami (1989), Carrasco *et al* (1995), comentam que a principal diferença do bambu com outros vegetais, que são materiais estruturais, está na sua rápida reprodução, pois após apenas dois anos e meio depois de ter brotado já possui resistência suficiente mecânica estrutural, não tendo nenhum concorrente no reino vegetal.

Hidalgo-López (2003) comenta os resultados de vários pesquisadores, e fala das partes do colmo que devem ser observadas em qualquer trabalho, pois possuem resistências diferentes. O colmo como um todo, pois a parte superior possui maior

compressão e flexão, parte central tem maiores internós tem maior tração onde a parte inferior possui menor valores de resistência. Nos internós por conta da tração transversal. E na parede do colmo, pois as resistências a tração e compressão aumentam de parte interna para a externa, devido a região mais resistência ser o terço externo e a fraca o terço interno.

O mesmo autor comenta que houve muitos erros ao considerar bambu como uma árvore, pois o bambu é uma gramínea gigante, o que muitas vezes não se leva em consideração.

Segundo Janssen (2000) faz um comparativo dos materiais na Figura 8 em relação a sua resistência e dureza, levando em conta a massa específica, o qual demonstra que o bambu é somente inferior ao aço.

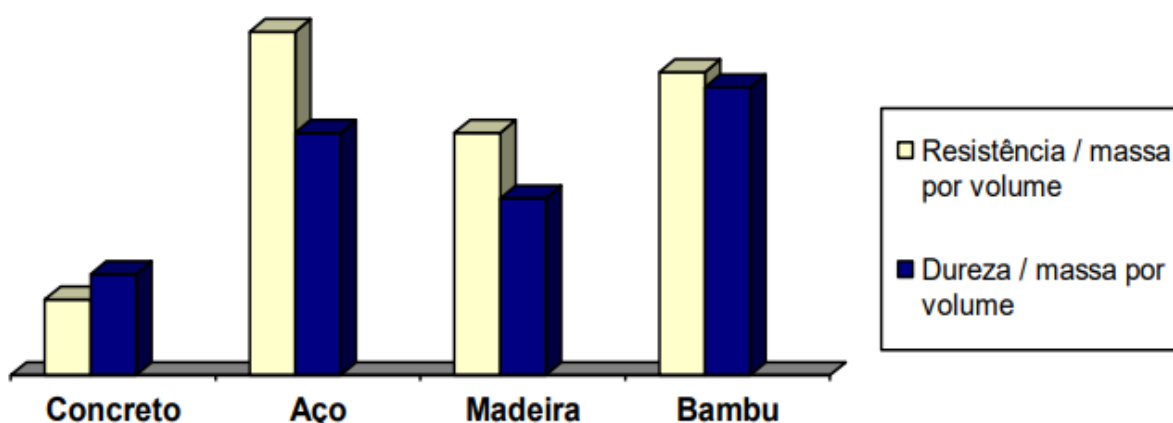


Figura 8- Resistência e dureza comparativo de materiais  
Fonte: Janssen (2000)

Ghavami (1992, *apud* FERREIRA, 2002) fala que a resistência a tração do bambu é elevada, o que a torna atrativa para sua utilização por uma substituição ao aço quando se considera a razão entre sua resistência e sua massa específica, conforme Tabela 1.

Tabela 1- Relação resistência à tração e massa específica de alguns materiais

Material	Resistência à tração (MPa)	Peso específico - P (N/mm <sup>3</sup> x 10 <sup>-2</sup> )	R= $\sigma T/P$	R/Raço
Aço CA 50	500	7,83	0,63	1
Bambu	140	0,8	1,75	2,77
Alumínio	304	2,7	1,13	1,79
Ferro fundido	281	7,2	0,39	0,62

Fonte: Adaptado Ghavami (1992, *apud* FERREIRA, 2002)

Se pode verificar que a razão entre a tensão de tração e sua massa específica fica em aproximadamente 2,77 vezes maior que a obtida para o aço CA-50, o que pode variar de espécie em espécie (SALGADO NETO, 2018).

#### 2.3.3.1 Umidade

A umidade mantida dentro do colmo varia com sua idade, espécie, estação e em qual parte do colmo se está analisando (CORREA, 2014).

Segundo Souza (2014), os brotos de um ano têm uma umidade relativa elevada, cerca de 120% a 130%, na parte inferior e superior. No entanto, o nó tem valores menores que os entrenós, essas diferenças podem chegar a 25% de água, o qual é maior na base do que o topo. Em colmos de 3 a 4 anos, a base tem o teor de umidade maior que o topo. A umidade que passa pela parede do colmo no interior é maior do que o exterior.

#### 2.3.3.2 Densidade massa específica

Liese (1998) comentou que a massa específica aparente varia de 500 e 800 kg/m<sup>3</sup>, dependendo do tamanho, número e distribuição das fibras aglomeradas ao redor dos feixes vasculares. Na parede do colmo, a massa específica aumenta de dentro para fora, pois os feixes vasculares externos são menores e mais densos com menos tecido basal, e 50% das fibras estão localizadas no terço mais externo, fazendo com que sua resistência nesse lugar seja maior. A diferença entre as camadas interna e externa dessas paredes é maior na base do colmo e menor próximo ao topo devido ao aumento da densidade do interior e à diminuição da espessura da parede, menos parênquima, mais fibras, fazendo com que essa região nodal seja densa devido aos muitos vasos e fibras, tendo uma maior compressão entre eles.

Souza (2014) fala que condições de onde os bambus estão plantados, como o solo e fatores climáticos podem favorecer ou desfavorecer esse crescimento dos colmos, onde cada vez que crescem, mas a densidade dos feixes vasculares diminui, pois há um menor número de tecido, o que diminui sua massa específica consequentemente.

### 2.3.3.3 Dimensão

Segundo Pereira e Beraldo (2008), se tem que o bambu tem variações acentuadas de sua dimensão, quando se tem uma variação do teor de umidade abaixo do seu ponto de saturação das fibras que é cerca de 20%. Ele começa retrair quando começa a secar, onde a higroscopicidade dos extrativos que estão nas células de parênquima é o um dos responsáveis pela absorção de água durante a secagem (LIESE 1987, PEREIRA E BERALDO, 2008).

### 2.3.3.4 Compressão Paralela as fibras

Segundo Pereira e Beraldo (2008), falam que pedaços de maior diâmetro dos colmos permitem amostras paralelepípedicas que permitem ensaios mais precisos. O módulo de elasticidade do bambu em relação a compressão apresenta certas dificuldades. Onde a camada interna se deforma mais que a externa, por conta dos elementos anatômicos, por conta disso o módulo de elasticidade das camadas externas apresenta valor duas a três vezes maiores. A curva de deformação da compressão tem comportamento linear, onde a faixa de compressão está entre 20 a 120 Mpa e seu módulo de elasticidade variando de 2,6 e 20 GPa.

Os ensaios podem ser realizados em dois tipos de corpos de prova, como amostras de seção retangular ou circular, onde as retangulares são encontradas em bambus com paredes mais espessas (SOUZA, 2014).

A presença dos nós influencia diretamente na resistência à compressão dos corpos de prova paralelepípedicos, quando os corpos de prova são cilíndricos a sua resistência é sempre maior (HIDALGO-LÓPEZ, 1974).

### 2.3.3.5 Tração paralela as fibras

Temos que algumas espécies de bambu podem atingir 370 Mpa, fazendo com que o bambu seja um material atrativo para substituir o aço, quando se correlaciona a razão resistência a tração e sua densidade. Na Tabela 2 pode se observar que a razão R é 2,34 vezes maior que a obtida do aço CA 50. Onde na maioria dos ensaios a resistência do bambu a tração se situa entre 40 a 215 Mpa, e seu módulo de elasticidade entre 5,5 e 18 GPa (PEREIRA E BERALDO, 2008).

Tabela 2- Razão entre tração e massa específica

Tipo do material	Resistencia em tração $\sigma_t$ (MPa)	Peso específico $\gamma$ (N/mm <sup>3</sup> x10 <sup>-1</sup> )	$R = \frac{\sigma_t}{\gamma} * 10^1$	R aço
Aço CA 50 <sup>a</sup>	500	7,83	0,64	1
Alumínio	300	2,79	1,07	1,67
Ferro Fundido	280	7,7	0,39	0,61
Bambu	120	0,8	1,5	2,34

Fonte: Pereira e Beraldo (2008)

### 2.3.3.6 Cisalhamento

Segundo Pereira (2012), quanto maior o teor de umidade do bambu, maior será a influência negativa na resistência ao cisalhamento sendo esse bem menor. O cisalhamento transversal às fibras está relacionado com no torno de 30% da resistência de flexão, em torno de 32 Mpa, o cisalhamento longitudinal é de aproximadamente 15% da sua resistência de compressão, cerca de 6,0 Mpa.

### 2.3.3.7 Valores gerais das características físicas e mecânicas

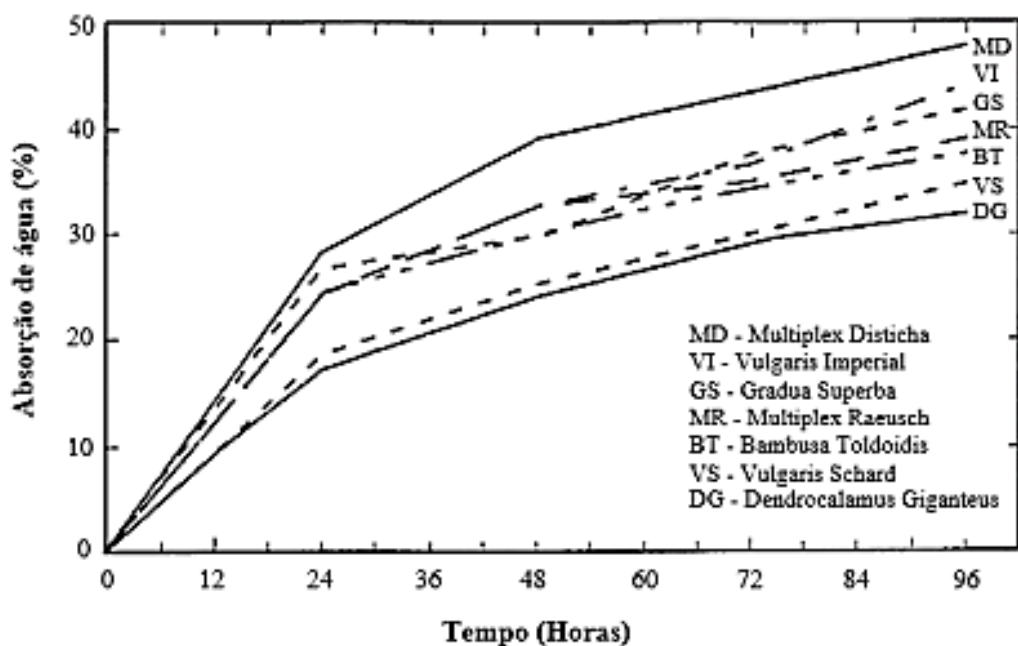
Temos que em linhas gerais Beraldo e Zoulalian (1995) apresentam os valores a seguir para as propriedades mecânicas do bambu em geral. Resistência a compressão entre 50 à 90 Mpa, resistência a tração entre 2,5 e 3,5 maior que a compressão e a resistência a flexão de 70 a 150 Mpa.

## 2.4 Concreto reforçado pelo bambu e sua complexidade

### 2.4.1 Absorção de água

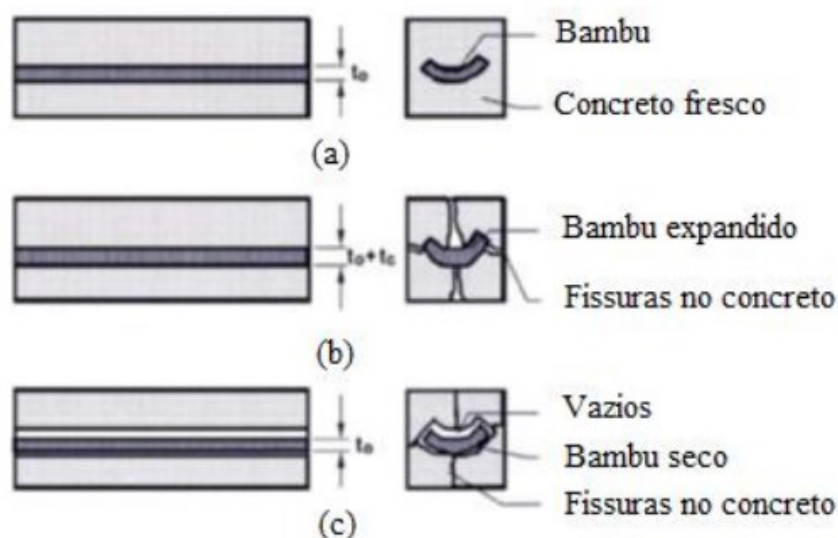
Ghavami (1995) pesquisou sobre 10 espécies de bambu e suas propriedades físicas e observou uma média da umidade de 15,9%, ele explica que uma das maiores deficiências do bambu é a absorção de água quando é usado como reforço em peças de concreto, a Figura 9, abaixo, demonstra o estudo de várias espécies submetidas a esse ensaio. Também foi constatado que a umidade altera as dimensões do bambu.





**Figura 9- Absorção de água em diferentes espécies de bambu**  
**Fonte: Adaptado Ghavami (2005)**

O autor explica que essas absorções causaram variações dimensionais transversalmente, atingindo cerca de 6% em 7 dias de imersão na água. Essa variação dimensional do bambu tratado pode provocar fissuras em um concreto curado como demonstrado na Figura 10 abaixo (GHAVAMI, 1988 e CULZONI, 1986, *apud* GHAVAMI, 2005)



**Figura 10- Comportamento de talisca de bambu não tratada como reforço em concreto. (a) bambu em concreto fresco; (b) bambu durante a cura de concreto; (c) bambu após concreto curado.**

Fonte: Ghavami (2005)

#### 2.4.2 Aderência

Czarnieski et al (2004) confirmaram em seu trabalho que a tensão de aderência de projeto entre bambu e concreto é cerca de 20% menor do que entre aço liso e concreto. Em vigas de concreto armado, foi comprovado que a adesão armadura-concreto por si só não é suficiente para resistir à força, sendo necessário formar ganchos de ancoragem nas extremidades da armadura. Diante disso, parece que a dificuldade de flexão de varas de bambu torna seu uso mais limitado ao reforço de vigas de concreto armado.

Mesquita et al (2006) explicam que os mecanismos utilizados para melhorar a aderência seria a aplicação de impermeabilizante a superfície do bambu, entretanto essas pinturas serviam muitas vezes como lubrificantes entre o bambu e o concreto, fazendo com que a maioria dos resultados fosse piores do que o bambu sem o tratamento, e nos casos que deram certo as resinas utilizadas foram as epoxídicas a cuja custam muito caro que fazem que seja inviável a utilização do bambu.

Ghavami (2005), analisou a aderência do bambu com o concreto, se utilizando os métodos de taliscas tratadas de bambu com adesivo estrutural fluído à base de resina epóxi e impermeabilizando asfáltico, com uma camada fina de areia na sua superfície e outra com areia e arame, o autor fez a observação que esses tratamentos aumentaram a força de aderência entre o bambu e o concreto, onde o primeiro método

foi o que apresentou melhores resultados, 5,29 vezes maior que as taliscas não tratadas

Ferreira (2007), realizou um estudo sobre vigas de concreto com taliscas de bambu e ficou demonstrado que a tensão de aderência máxima entre o bambu e o concreto obtidos em ensaios de arrancamento, se mostra superior ao de arrancamento com o aço liso.

Ferreira (2007) citado por Souza (2014) concluiu em seu estudo que a utilização do bambu em forma de taliscas sem estribos é viável do ponto de vista estrutural, pois aplicando a hipótese de cálculo utilizada no concreto armado com aço (Estádio II), não ocorreu ruptura última à flexão.

## **2.5 Vantagens e desvantagens do uso do bambu**

Segundo Salgado Neto (2018) o uso do bambu como material de construção é considerado uma alternativa, uma das principais características do bambu é devido ao seu rápido ciclo de crescimento, este material possui alta resistência mecânica estrutural, portanto, não há candidatos altos no reino vegetal. Além disso, esta resistência é considerada alta em comparação com a densidade relativamente baixa devido ao seu excelente desempenho quando submetido à tração. Outra vantagem está no plantio, pois o clima não prejudica seu crescimento e se desenvolve na maioria dos tipos de solo.

Colla et al (2011) comenta sobre duas grandes desvantagens de se utilizar o bambu, a primeira é sua baixa durabilidade natural devido a presença do amido em suas células, precisando de cuidados preservativos antes do seu uso, a outra seria a variação do tamanho do bambu no seu colmo quando exposto a mudanças ambientais.

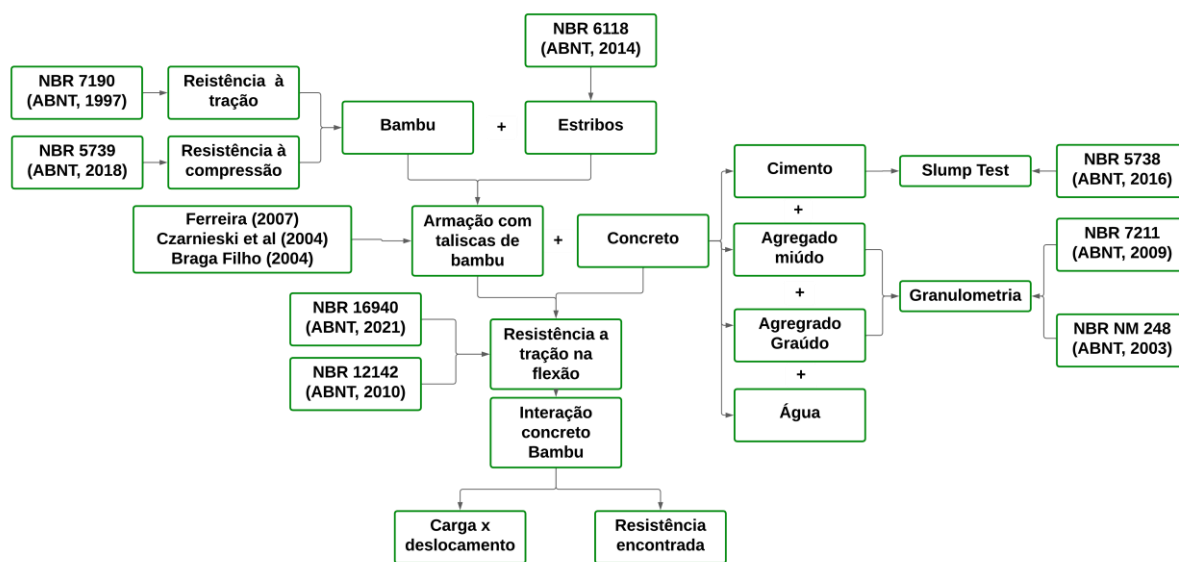
Além das desvantagens apresentadas no item anterior o qual mostra a complexidade de se trabalhar com o bambu.

## **3 MATERIAIS E MÉTODOS**

O presente estudo visa estudar o comportamento mecânico do bambu *Bambusa Tuldoides* através de ensaio de compressão, assim como analisar seu comportamento aliado ao concreto, através de ensaios de rupturas à flexão.

Utilizando-o mais especificamente como um insumo de armação no concreto, como um material de construção civil sustentável.

Tendo em vista isso a metodologia é dedicada a apresentação e abordagem experimental do estudo, exibindo ensaio de caracterização de materiais, bem como o ensaio de tração na flexão como é esquematizado na Figura 11.



**Figura 11- Estrutura do trabalho**  
Fonte: Autoria Própria

### 3.1 Materiais

#### 3.1.1 Bambu

A espécie de bambu utilizada para confecção do trabalho do foi *Bambusa tuldoides* conhecido como Bambu Taquara ou somente Taquara, com sua origem na América do Sul e em especial encontrada no Brasil, de um modo geral os bambus taquaras são plantas que tem são grandes tendo em média tem 12m de altura, com crescimento longitudinal é de 1,2 m/ano, o diâmetro médio dos colmos na base é de 6 cm e a temperatura mínima que a espécie suporta é de 9° C. e tem um porte robusto comparado com outras espécies da família (PEDRANGELO et al, 2022).

Os colmos foram colhidos no assentamento São Pedro na zona rural, no Distrito do Guaiará, na cidade de Guarapuava, no estado do Paraná, crescem de forma espontânea, conforme foi se passando os anos a quantidade aumentou por conta de seus rizomas se espalhando, os colmos coletados tinham em média 18 metros de comprimento.

O clima encontrado na região é moderado, subtropical e úmido, com invernos com geadas e fortes ventos, tem uma temperatura média anual de 16,8° e a média máxima de 36° e a mínima de 6,8°, com solo de formação geral sendo constituída de mais rochas vulcânicas, basalto e riodacitos (PREFEITURA DE GUARAPUAVA, 2010).

O Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 2006), fala que a região onde foi feita a colheita dos colmos é latossolos brunos distróficos. Eles são bem intemperizados e evoluídos, são solos bem argilosos, geralmente profundos, mas na região em estudo são encontrados com menor profundidade.

Para a retirada dos colmos se utilizou um facão, foi cortado logo abaixo do primeiro nó do colmo, após isso foram cortadas em peças com auxílio de um serrote em frações de 1,00m (Figura 12).



**Figura 12- Corte das peças de bambu**  
**Fonte: Autoria própria (2022)**

Depois das peças cortadas, se cortou as taliscas de seção transversal média de 10 mmx 20 mm, se baseando em pesquisas e metodologias já realizadas com taliscas de bambu como Ferreira (2007), Czarnieski et al (2004) e Braga Filho (2004), se utilizando o facão, foram cortadas inicialmente com comprimento de 55 centímetros conforme a Figura 13.



**Figura 13- Taliscas de bambu**  
**Fonte: Aatoria própria (2022)**

Se baseando em Pereira (2007) as lâminas então foram secas *in natura* ao ar, ao abrigo de luz solar e umidade por um período de aproximadamente um mês e meio, não ocorrendo retração nas peças.

Após a secagem, foram montadas as armações das vigas com bambu para a concretagem conforme a Figura 12, onde foi feita sua confecção com estribos de aço CA50 com diâmetro de  $\varnothing 5$  mm, conforme recomenda a NBR 6118 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2014), a qual ressalta que o  $\varnothing t$  que constitui os estribos deve ser igual ou superior a  $\varnothing 5$  mm, não ultrapassando um décimo do valor da largura da viga ( $b_w$ ), conforme item 18.3.3.2 “Elementos estruturais armados com estribos”. Os mesmos foram amarrados com arrame recozido, para maior estabilidade da armação da viga montada, conforme Figura 14.



**Figura 14- Armação com bambu com estribos de aço de  $\varnothing$  4,5 mm, amarração com arame recozido.**

**Fonte: Autoria própria (2022)**

### 3.1.2 Cimento

O cimento utilizado foi CPV ARI (Alta Resistencia Inicial), o qual pode atingir altas resistências já nos primeiros dias de aplicação, a resistência à compressão é de 25 MPa segundo o fabricante assim como sua resistência a tração é de 3 MPa.

### 3.1.3 Concreto

#### 3.1.3.1 Ensaio Granulométricos

Para se classificar os agregados que foram utilizados para a confecção do concreto, se utilizou a NBR 7211 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2009) e NBR NM 248 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2003), as quais regem como deve ser feita a determinação da composição granulométrica, que é a proporção das massas de grãos de tamanhos distintos os quais constituem o agregado. Os agregados foram secos em estufa a uma temperatura de 105°C por 24 horas.

##### 3.1.3.1.1 *Agregado Miúdo*

Para a pesquisa em análise se utilizou areia de origem quartzosa. Para efeito de caracterização foi determinado sua composição granulométrica seguindo as recomendações da NBR 7211 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2009) e NBR NM 248 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2003).

##### 3.1.3.1.2 *Agregado Graúdo*

Para a confecção deste trabalho a pedra britada, agregado graúdo de origem basáltica e de maior abundância, proveniente de mineração local. Para efeito de caracterização foi determinado sua composição granulométrica seguindo as recomendações da NBR 7211 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2009) e NBR NM 248 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2003).

### 3.1.3.2 Dosagem do Concreto

O traço usado para esse ensaio foi calculado para atingir uma resistência a compressão característica de 18 MPa em 7 dias, representa um teor de água/cimento (a/c) de 0,6 e proporção de 1:2,3:3,3, se utilizando o método de dosagem IPT/EPUSP (HELENE e TERZIAN, 1992), o mesmo encontrado em trabalhos semelhantes como Ferreira (2007) e Salgado Neto (2018), Tabela 3 demonstra as propriedades do concreto produzido.

**Tabela 3- Propriedades do Concreto**

<b>Traço Unitário</b>	<b>a/c</b>	<b>Abatimento do Cone</b>	<b>f<sub>ck</sub></b>
1:2,3:3,3	0,6	10+/- 2 cm	18MPa

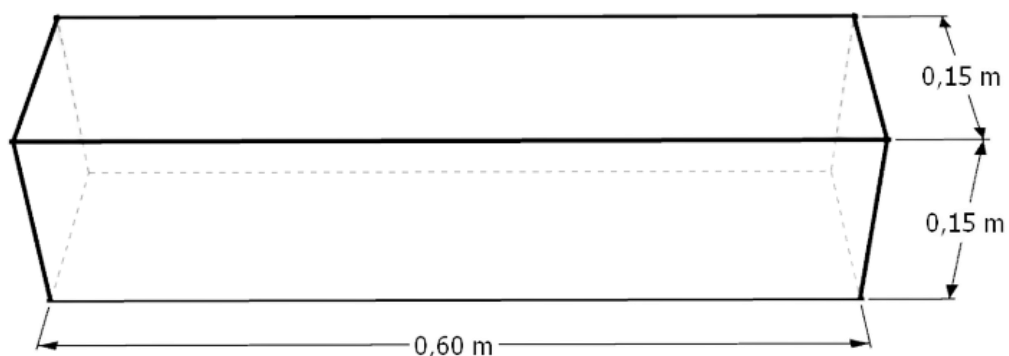
**Fonte: Autoria Própria (2022)**

## 3.2 Metodologia

### 3.2.1 Preparação dos corpos de prova prismáticos

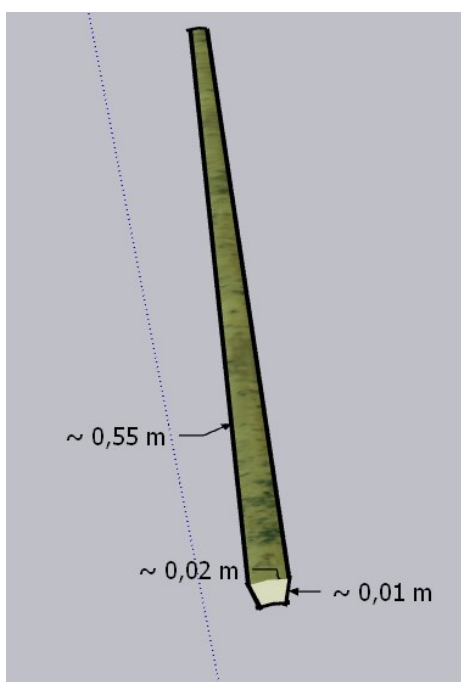
Os corpos de provas foram confeccionados se baseando na pesquisa de Pereira (2018) e nas NBR 5738 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2016) e NBR 16940 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2021), devido à ausência de normas relacionadas ao bambu-concreto, as dimensões foram padronizadas e se encontram na Figura 15, deixou-se um cobrimento entorno da armação de 2 centímetros, foram confeccionadas 7 vigas com bambu e 1 viga de referência em concreto simples para o trabalho.



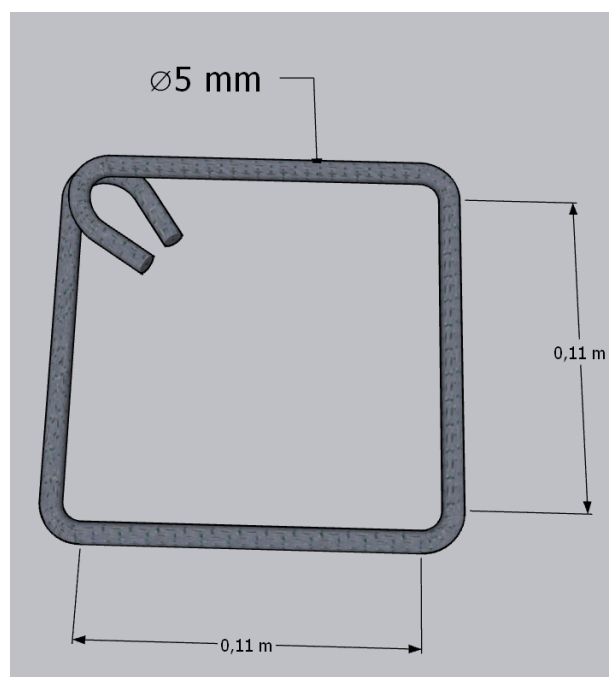


**Figura 15- Dimensão das Vigas**  
**Fonte: Autoria própria (2022)**

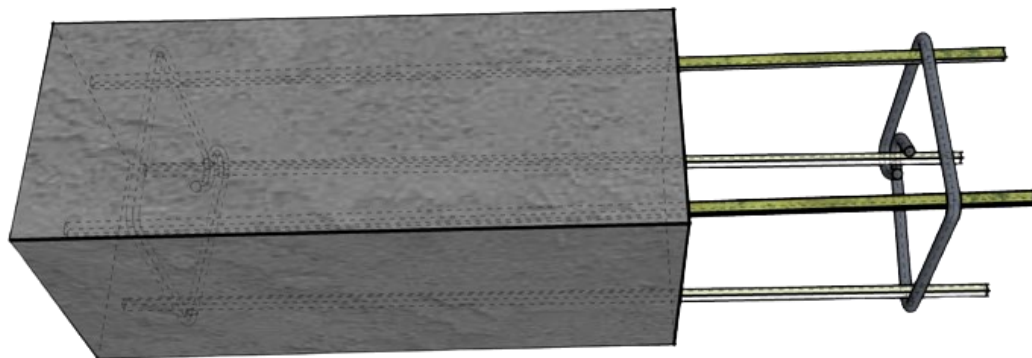
As barras de bambu foram confeccionadas com 55 centímetros de comprimento e sua seção transversal média de 10 mmx 20 mm conforme mostra Figura 18, cada uma das lâminas varia um pouco devido ao bambu não ser totalmente regular. Figura 16, 17, 18 e 19 se encontra o dimensionamento das vigas armadas com bambu.



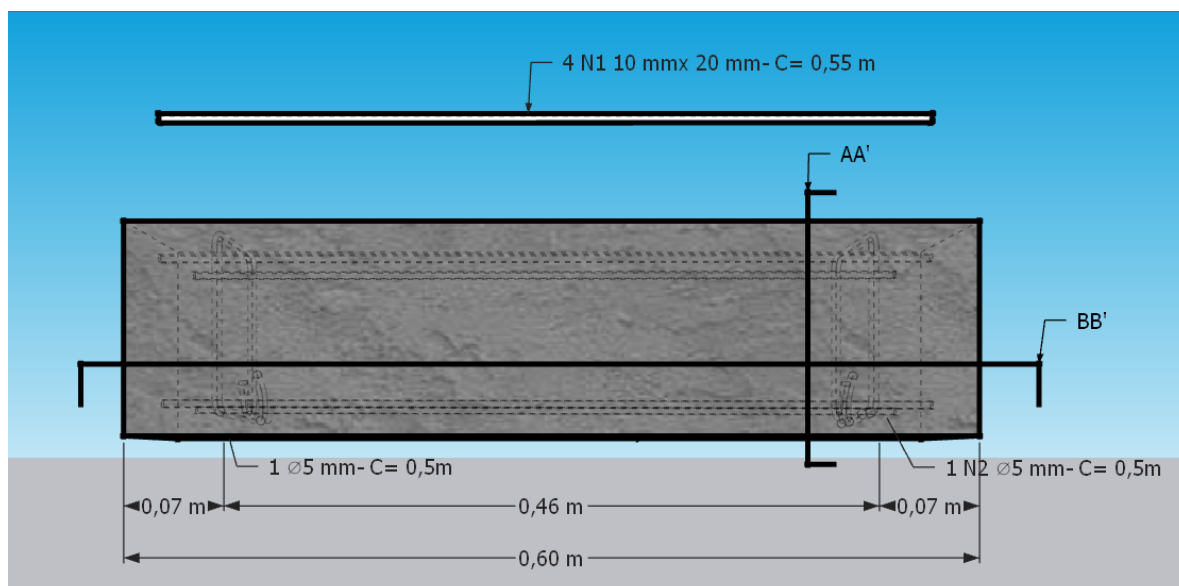
**Figura 16- Dimensões das taliscas de bambu**  
**Fonte: Autoria própria (2022)**



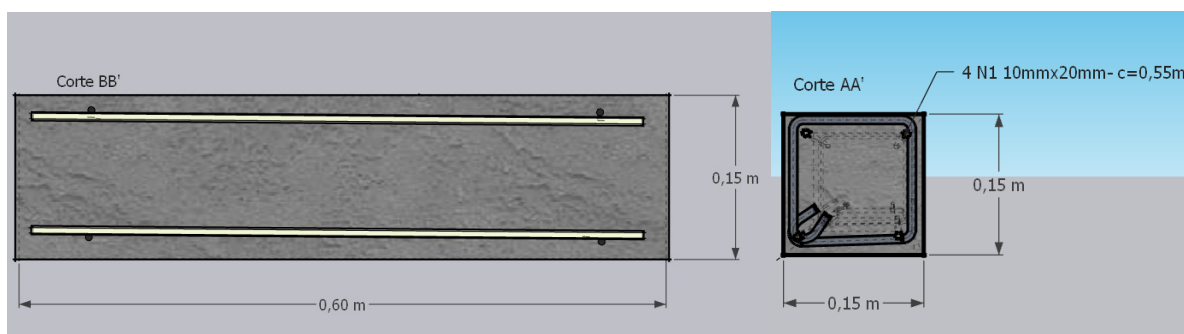
**Figura 17- Dimensionamento do estribo**  
**Fonte: Autoria própria (2022)**



**Figura 18- Detalhamento da viga**  
**Fonte: Autoria Própria (2022)**



**Figura 19- Detalhamento da viga**  
**Fonte: Autoria Própria (2022)**



**Figura 20- Corte BB' e AA'**  
**Fonte: Autoria Própria (2022)**

Como uma forma de garantir o posicionamento das taliscas de bambu no concreto, se utilizou o estribo para uma melhor fixação, como uma solução. Além disto, como visto em outros trabalhos como Pereira (2018), o bambu tende a flutuar em vez de desempenhar a função de armadura, ou como visto em outros trabalhos de outros pesquisadores como Braga Filho (2004) que ele descolasse por completo do concreto devido ao amido que se encontra nele.

Após passar desmoldante foram alocadas as armações de bambu dentro de suas respectivas fôrmas, nos ensaios se utilizou o bambu *in natura* secas ao ar apenas, pois os ensaios possuem uma curta duração.

A cada um terço da concretagem das fôrmas, foi feita a vibração com o vibrador por imersão do concreto para um melhor adensamento, como mostra nas Figuras 21 e 22. Na Figura 23 se tem a finalização das vigas.



**Figura 21- Caixarias com bambus dentro**  
Fonte: Autoria própria (2022)



**Figura 22- Concretagem de 1/3 da fôrma**  
Fonte: Autoria própria (2022)



**Figura 23- Vigas de bambu finalizadas**  
Fonte: Autoria própria (2022)

### 3.2.2 Cura dos corpos de prova

Os corpos de prova foram deformados um dia após sua concretagem, e foram deixados no laboratório de materiais para sua cura úmida. Figura 24 mostra corpos de prova já desmoldados, logo após isso foram armazenados em um local sem intempéries.



**Figura 24- Vigas de bambu desmoldados**  
Fonte: Autoria própria

### 3.2.3 Ensaios e instrumentação

#### 3.2.3.1 Ensaio de compressão axial do bambu *Bambusa tuldoides*

Na compressão axial com uma velocidade de aplicação de deslocamento de 0,2 milímetros por segundo, irá ser ensaiado o próprio material bambu *Bambusa tuldoides*, devido à falta de normas para a elaboração teve que se adaptar a normas existentes para a realização dos ensaios, se estudou a possibilidade da NBR 7190 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1997), porém verificando o formato dos colmos do bambu não se faz possível a utilização dessa norma por conta do formato e espessuras das paredes.

Por conta se seguiu as recomendações da NBR 5739 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2018) e onde a norma fala que o indicado para cada corpo de prova é que o CP deve ser cortado com uma proporção 1 diâmetro para 2 de altura, Figura 25 mostra os corpos de provas cilíndricos, a área interna e externa de cada corpo de prova foi medida com um paquímetro.



**Figura 25- Corpos de prova de bambu**  
**Fonte: Aatoria própria (2022)**

Na Figura 25 é possível observar os corpos de provas, metade com um nó no meio e outra metade sem nó para conseguir visualizar a diferença entre os dois tipos de corpos de prova, foi utilizada a máquina Emic DL30000F na Figura 26 é possível observar o corpo de prova na máquina. Foram realizados esse ensaio com objetivo de verificar se a presença de nós interfere ou não na resistência encontrada no final.



**Figura 26- Corpos de prova de bambu posicionados na máquina**  
**Fonte: Aatoria própria (2022)**

De acordo com a NBR 5739 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2018), a resistência a compressão de corpos de prova cilíndricos deve ser calculada através da Equação 1.

$$f_c = \frac{4 \cdot F}{\pi \cdot D^2}$$

Equação 1

Onde:

$f_c$  é a resistência a compressão, (MPa);

$F$  é a força máxima alcançada, em (N);

$D$  é o diâmetro médio do corpo de prova (mm).

Mas como foram ensaiados corpos de prova cilíndricos vazados e a norma aplica essa equação em corpos de prova cilíndricos cheios, se fara necessário a utilização da Equação 2, que se baseia na área de um corpo cilíndrico oco.

$$f_c = \frac{F}{(A_t - A_i)}$$

Equação 2

Onde

- $f_c$  é a resistência a compressão, (MPa);
- $F$  é a força máxima alcançada, em (N);
- $A_t$  é a área total do bambu, (mm);
- $A_i$  é a área interna do bambu, (mm).

Temos que pela NBR 5739 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2018) a relação h/D menor que 1,94, se deve multiplicar a força pelo fator de correção pré-estabelecido conforme Tabela 4.

**Tabela 4- Fatores de correção**

Relação h/D	Fator de correção
2,0	1
1,75	0,98
1,5	0,96
1,25	0,93
1,0	0,87

Fonte: NBR 5739 (2022)

Para uma melhor análise do trabalho foram definidas resistências médias à compressão  $f_{cm}$  e a resistência característica à compressão  $f_{ck}$  a qual pode ser encontrada pela Equação 3.

$$f_{ck} = f_{cm} - 1,645 * S$$

Equação 3

Onde temos que S é o desvio padrão das resistências encontradas conforme Equação 4:

$$S = \sqrt{\sum_{i=1}^n (f_{ci} - f_{cm})^2 / (n - 1)}$$

Equação 4

Sendo  $f_{ci}$  valores genéricos obtidos em n corpos de prova.

Para se ter um panorama melhor sobre a pesquisa assim foram definidas resistências médias a tração através da adaptação da NBR 7190 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1997) item 6.3.3, que permite adotar as relações entre resistência a compressão paralela as fibras ( $f_{c,0}$ ) com a resistência a tração paralela as fibras ( $f_{t,0}$ ) pela Equação 5, se tendo para resistência de esforços normais um coeficiente de variação de 18% e para esforços tangenciais um coeficiente de variação de 28%.

$$\frac{f_{c,0k}}{f_{t,0k}} = 0,77$$

Equação 5

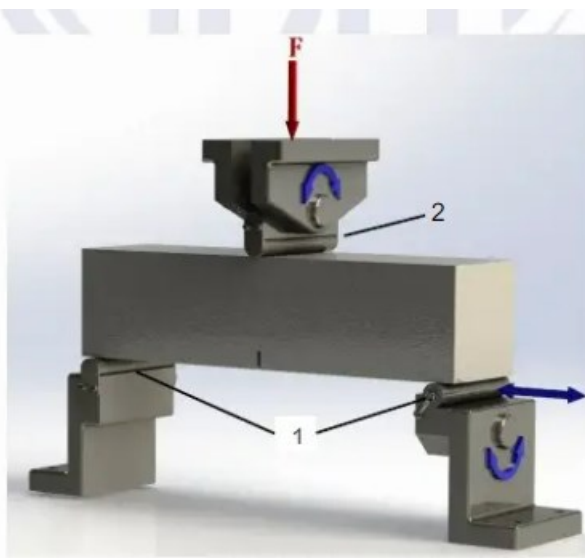
### 3.2.3.2 Ensaio de tração à flexão

Esse ensaio é realizado com a aplicação de uma carga concentrada em um ponto previamente determinado, ou seja, essa carga vai desde zero até o rompimento do corpo de prova que está sendo analisado. Se adotou um esquema estática para viga com apoio simples com uma força concentrada no centro do vão, conforme modelo indicado na NBR 16940 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2021).

Justifica-se o uso desse ensaio devido a disponibilidade de equipamentos no laboratório havendo a necessidade de adaptação, uma vez que segundo Pereira (2018), Braga Filho (2004), se deve utilizar a NBR 12142 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2010).

Foram ensaiadas até seu rompimento com uma velocidade de deslocamento de 0,2 milímetros por segundo, nas sete vigas de concreto armado com bambu ensaiados na máquina Emic DL30000F, caracterizadas pela presença de uma armação de bambu no sentido longitudinal das vigas com estribos de aço, com um vão livre de 500 mm e foram ensaiadas 2 vigas de referência com o mesmo traço adotado, sem armadura.

A Figura 27 retirada da norma ilustra como se deve ser esquematicamente o processo para o acoplamento da viga, à máquina.



**Figura 27- Esquema de alocação do corpo de prova**  
Fonte: NBR 16940 (2021)

Onde:

1. Roletes de suporte;
2. Roletes de aplicação de carga.

Para se garantir as centralizações as vigas foram medidas e marcadas em seus centros de vão livre como mostra Figura 28.



**Figura 28- Viga de bambu com seu centro marcado**  
Fonte: Autoria própria (2022)

Devido à falta de normas para a elaboração do trabalho também se utilizou a NBR 12142 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2010) a qual fala que a resistência a tração na flexão é calculada de acordo com a Equação 6:



$$f_{ct,f} = \frac{F \cdot \ell}{b \cdot d^2}$$

Equação 6

Caso sua ruptura aconteça fora do terço médio segundo a norma com distância não sendo maior que 5% de  $\ell$  conforme Figura 29, se calcula a resistência à tração na flexão pela Equação 7:

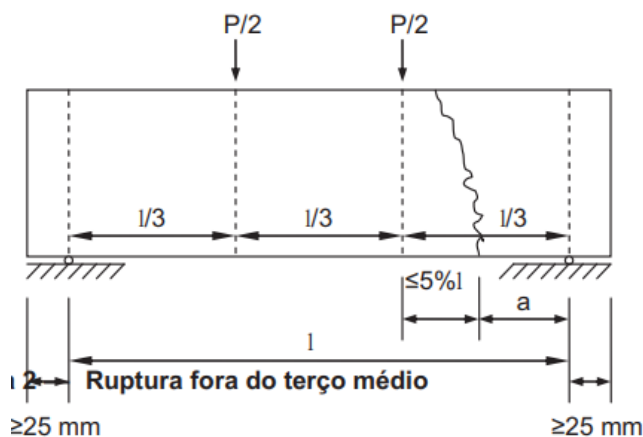


Figura 29- Ruptura fora do terço médio

Fonte: NBR 12142 (2010)

$$f_{ct,f} = \frac{F \cdot a}{b \cdot d^2}$$

Equação 7

Onde:

- $f_{ct,f}$  é a resistência à tração na flexão, expressa em megapascals (MPa);
- $F$  é a força máxima registrada na máquina de ensaio, expressa em newtons (N);
- $\ell$  é a dimensão do vão entre apoios, expressa em milímetros (mm);
- $b$  é a largura média do corpo de prova, expressa em milímetros (mm);
- $d$  é a altura média do corpo de prova, expressa em milímetros (mm);
- $a$  é a distância média entre a linha de ruptura na face tracionada e a linha correspondente ao apoio mais próximo, em milímetros (mm).

A Figura 30 é demonstrada a viga e todos os equipamentos necessários posicionados para a realização do ensaio.



**Figura 30- Viga posicionada para o ensaio**  
**Fonte: Autoria Própria (2022)**

CEB/90 (1993) resistência à tração na flexão é denominada de módulo de ruptura, para vigas de seção quadrada se tem as seguintes Equações 8 e 9:

$$f_{ctm} = 0,60 * f_{ct,fl}, \text{ para } h = 100mm$$

Equação 8

$$f_{ctm} = 0,67 * f_{ct,fl}, \text{ para } h = 150mm$$

Equação 9

Onde temos que:

- $f_{ctm}$  é o valor médio da resistência à tração;
- $f_{ct,fl}$  é a resistência média a tração na flexão;

## 4 RESULTADOS

### 4.1 Materiais

#### 4.1.1 Ensaio Granulométricos

##### 4.1.1.1 Agregado Miúdo

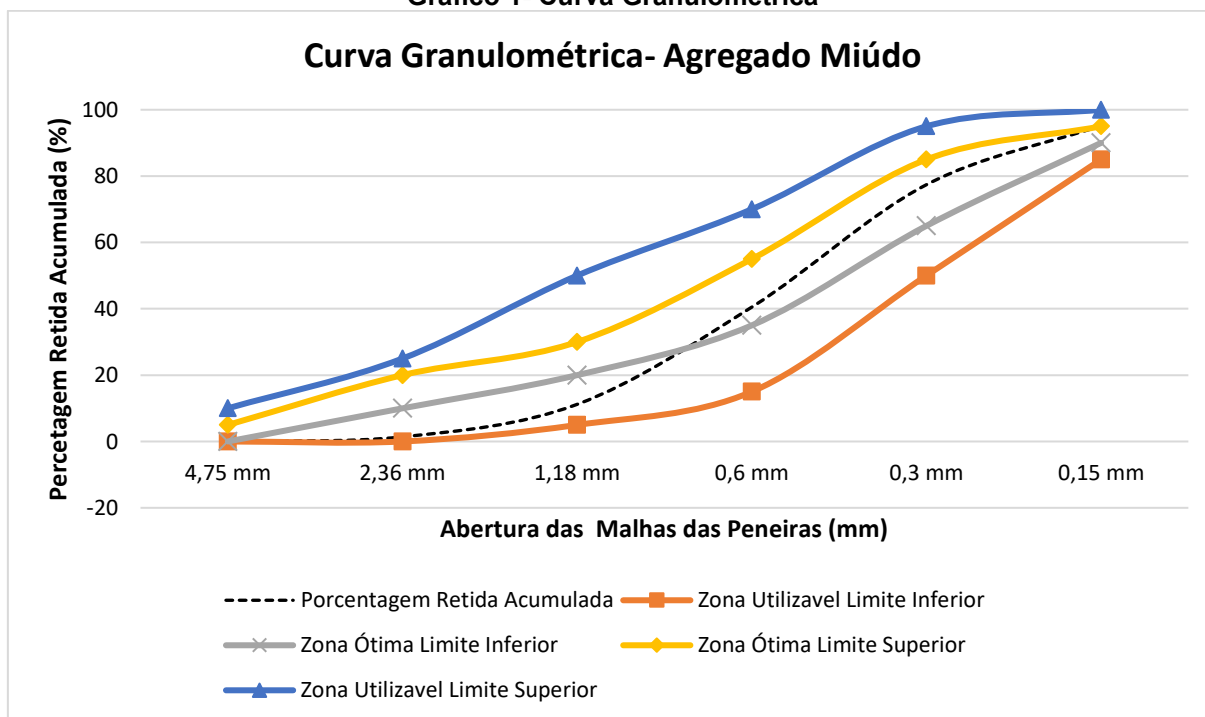
se obteve os seguintes resultados demonstrados na Tabela 5 e no Gráfico 1, o qual demonstra a curva granulométrica encontrada seguindo as diretrizes do item 5.1.1 da norma.

**Tabela 5- Resultados do ensaio granulométrico**

Peneira (mm)	Peso Retido (g)	% Retida	% Retida Acumulada
4,75 mm	1	0,1	0,1
2,36 mm	13	1,3	1,4
1,18 mm	98	9,8	11,2
0,6 mm	293	29,3	40,5
0,3 mm	369	36,9	77,4
0,15 mm	178	17,8	95,2
0,075 mm	40	4,0	99,2
Fundo	8	0,8	100
Total	100	100%	

Fonte: Autoria própria (2022)

**Gráfico 1- Curva Granulométrica**



Fonte: Autoria Própria (2022)

Se observando através da curva granulométrica podemos observar que o agregado miúdo se encontra entre a zona utilizável e a zona ótima do limite inferior,

ou seja pode ser considerado um material fino, através dos cálculos obtemos que MF deu 1,902 que é menor que 2,4 logo o agregado miúdo é nomeado como areia fina.

Pode se afirmar que a partir do ensaio foi determinado que o módulo de finura o qual se encontra na zona ótima varia de 2,20 a 2,90 segundo NBR 7211 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2009) e o diâmetro máximo característico do agregado é de 2,4 mm.

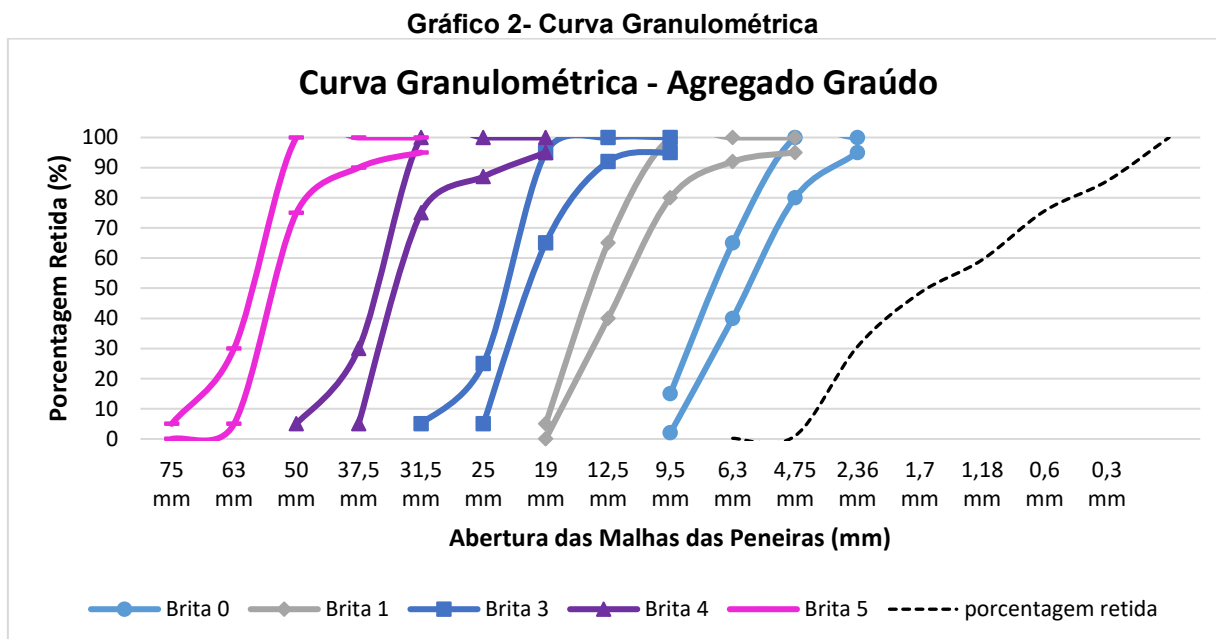
#### 4.1.1.2 Agregado Graúdo

A Tabela 6 demonstra os resultados obtidos e no Gráfico 2 obtém o traçado da curva a qual foi comparada com a NBR 7211 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2009) item 6.1.1, a qual fala sobre os limites, para classificação do agregado graúdo.

**Tabela 6- Resultados obtidos no ensaio granulométrico agregado graúdo**

<b>Peneira (mm)</b>	<b>Peso Retido (g)</b>	<b>% Retida</b>	<b>% Retida Acumulada</b>
<b>6,70 mm</b>	2	0,2	0,2
<b>4,75 mm</b>	8	0,8	1,0
<b>2,36 mm</b>	296	29,6	30,6
<b>1,7 mm</b>	178	17,8	48,4
<b>1,18 mm</b>	110	11,0	59,4
<b>0,6 mm</b>	162	16,2	75,6
<b>0,3 mm</b>	99	9,9	85,5
<b>Fundo</b>	145	14,5	100
<b>Total</b>	100	100%	

**Fonte: Autoria própria (2022)**



Para se observar a dimensão máxima (DMC), se deve olhar a coluna de % retida acumulada. Olhando a abertura da peneira e observando-se o valor é 5% maior que sua abertura de cima para baixo, logo DMC, é igual a peneira que está acima, segundo NBR 7211 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2009).

Temos que o primeiro valor maior que 5% são na peneira 2,36 mm, adotando a medida superior temos 4,75 mm o qual é menor que 9,5 mm, podendo considerar o agregado brita 0 ou pedrisco, com DMD.

#### 4.1.2 Dosagem do Concreto

O aspecto do concreto fresco se encontra Figura 31, a fim de avaliar a consistência realizou-se o *Slump test* de 10+/- 2 cm, se utilizando a NBR 8953 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2015) seguindo Tabela 2 da NBR a qual fala sobre as classes de consistência, a qual o *Slump test* escolhido se encontra na S100 que se aplica “Elementos estruturais, com lançamento convencional do concreto” e para a execução do ensaio na NM 67 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1998).



**Figura 31- Concreto fresco**  
**Fonte: Autoria própria (2022)**

A moldagem dos corpos de prova seguiu recomendações da NBR 5738 (Associação Brasileira de Normas Técnica, 2016), conforme mostra as Figuras 32 e 33.



**Figura 32- Slump test**  
**Fonte: Autoria própria (2022)**



**Figura 33- Abatimento obtido**  
**Fonte: Autoria própria (2022).**

Conforme o ressaltado se encontrou um abatimento de 12 cm como o esperado e visto em trabalhos nos quais a metodologia está baseada como Pereira (2018), Ferreira (2007) e Salgado Neto (2018).

#### 4.2 Ensaio de compressão axial

Foi feito fator de correção para cada corpo de prova como mostra a Tabela 7, levando em consideração a proporção já mencionada de 1:2 (h/D) da NBR 5739 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2018)

**Tabela 7- Fator de correção cada CP**

Colmos	CP	h (mm)	D (mm)	h/D	Fator de correção
Primário sem nó	I	50	40	1,25	0,93
	II	65	40	1,5	0,96
Primário com nó	I	50	30	1,25	0,93
	II	40	35	1	0,87
Secundário sem nó	I	50	45	1	0,87
	II	80	50	1,5	0,96
Secundário com nó	I	50	50	1	0,87
	II	75	50	1,5	0,96
Terciário sem nó	I	75	50	1	0,87
	II	45	50	1,5	0,96
Terciário com nó	I	75	50	1,5	0,96
	II	75	50	1,5	0,96

Fonte: Autoria própria (2022)

Nesta pesquisa se percebeu a capacidade do *Bambusa tuldoides* de resistir a esforços de compressão axial paralelo a suas fibras, na Tabela 8 temos os resultados das forças resultante em cada um.

**Tabela 8-Dados corpos de provas cilíndricos de bambu**

Colmos	CP	Força Máx. (Kgf)	Área externa (mm)	Área Interna (mm)
Primário sem nó	I	3857,59	1256,63706	706,858347
	II	3643,40	1256,63706	706,858347
Primário com nó	I	3891,52	706,858347	314,159265
	II	3125,94	962,11275	490,873852
Secundário sem nó	I	5131,08	1590,43128	962,11275
	II	5506,45	1963,49541	1256,63706
Secundário com nó	I	5468,28	1963,49541	1256,63706
	II	5569,01	1963,49541	1256,63706
Terciário sem nó	I	4641,20	1963,49541	1256,63706
	II	4229,78	1963,49541	1256,63706
Terciário com nó	I	5119,42	1963,49541	1256,63706
	II	5740,79	1963,49541	1256,63706

Fonte: Autoria própria (2022)

Na Tabela 9 podemos ver Força máxima corrigida em Newtons, área total real e a resistência a compressão dos corpos de prova pela Equação 4 já descrita.

**Tabela 9- Valores corrigidos de todos os copos de prova com valor de média, desvio e coeficiente de variação de todos os copos de prova.**

Colmos	CP	Força Máx. Corrigida (N)	Área Total Real (mm <sup>2</sup> )	Tensão (MPa)
Primário sem nó	I	35183,19	549,78	64,00
	II	34301,59	549,78	62,39
Primário com nó	I	35492,65	392,70	90,38
	II	26670,8	471,24	56,60
Secundário sem nó	I	43778,84	628,32	69,68
	II	51841,68	706,86	73,34
Secundário com nó	I	46655,86	706,86	66,00
	II	52430,67	706,86	74,17
Terciário sem nó	I	39599,14	706,86	56,02
	II	39822,19	706,86	56,34
Terciário com nó	I	48197,91	706,86	68,19
	II	54047,93	706,86	76,46
<b>Média</b>		42335,2	628,32	67,80
<b>Desvio Padrão</b>		8561,48	111,07	10,01
<b>Coeficiente de Variação</b>		20,22%	17,68%	14,77%

Fonte: Autoria própria (2022)

Na Tabela 10, se encontra o resultado encontrada da média, desvio padrão e do coeficiente de variação separados em colmos com nó e sem nó.

**Tabela 10- Média, Desvio Padrão e Coeficiente de Variação de Colmos sem nó**

Colmos	CP	Força Máx. Corrigida (N)	Área Total Real (mm <sup>2</sup> )	Tensão (MPa)
Primário sem nó	I	35183,1882	549,78	64,00
	II	34301,5908	549,78	62,39
Secundário sem nó	I	43778,8364	628,32	69,68
	II	51841,6849	706,86	73,34
Terciário sem nó	I	39599,1361	706,86	56,02
	II	39822,1944	706,86	56,34
<b>Média</b>		40754,43847	641,41	63,63
<b>Desvio Padrão</b>		6433,60	77,22	6,98
<b>Coeficiente de Variação</b>		15,79%	12,04%	10,97%
Primário com nó	I	35492,6471	392,70	90,38
	II	26670,8014	471,24	56,60



Secundário com nó	I	46655,8571	706,86	66,00
	II	52430,6698	706,86	74,17
Terciário com nó	I	48197,9059	706,86	68,19
	II	54047,9304	706,86	76,46
<b>Média</b>		71,96758523	615,23	71,97
<b>Desvio Padrão</b>		11,40	144,11	144,11
<b>Coefficiente de Variação</b>		15,85%	23,42%	200,24%

Fonte: Autoria Própria (2022)

Nas Tabela 11 foram separados em colmos primários, secundários e terciários para uma melhor análise em cada parte do bambu a sua resistência.

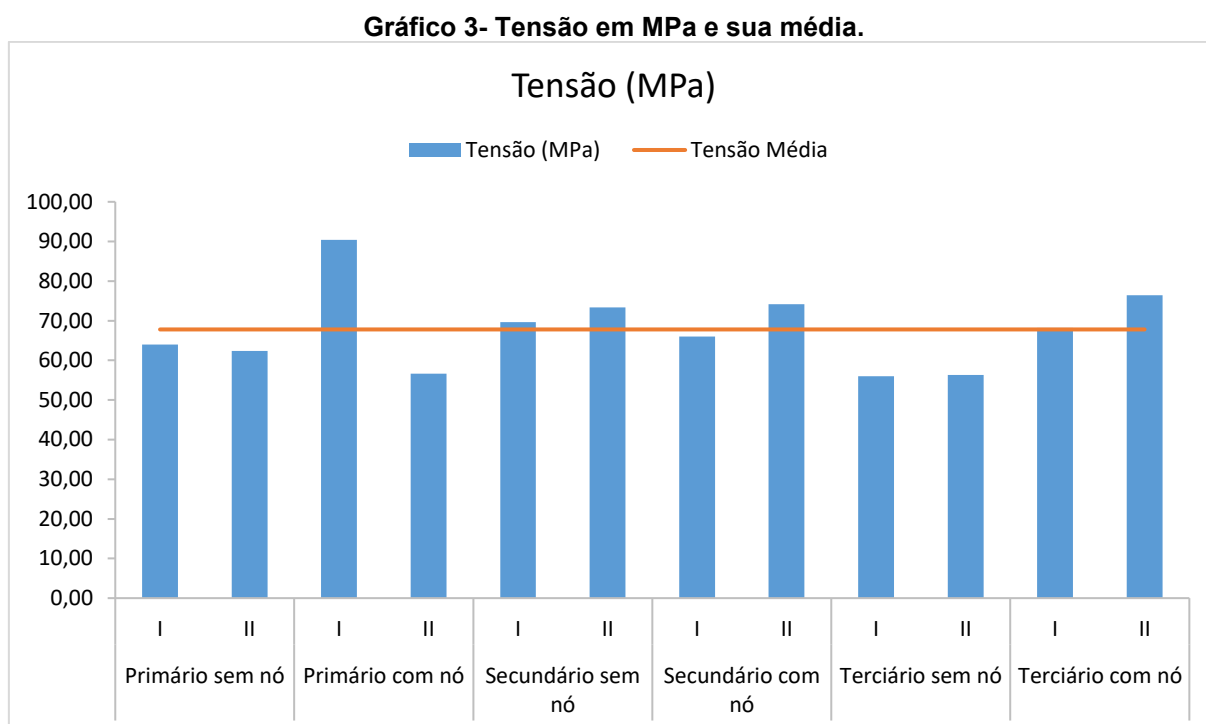
Tabela 11- Separados em Colmos primário, secundário e terciário

Colmos	CP	Força Máx. Corrigida (N)	Área Total Real (mm <sup>2</sup> )	Tensão (MPa)
Primário com nó	I	35492,6471	392,70	90,38
	II	26670,8014	471,24	56,60
Primário sem nó	I	35183,1882	549,78	64,00
	II	34301,5908	549,78	62,39
<b>Média</b>		32912,05688	490,87	68,34
<b>Desvio Padrão</b>		4191,32	75,20	15,03
<b>Coefficiente de Variação</b>		12,73%	15,32%	22,00%
Secundário sem nó	I	43778,8364	628,32	69,68
	II	51841,6849	706,86	73,34
Secundário com nó	I	46655,8571	706,86	66,00
	II	52430,6698	706,86	74,17
<b>Média</b>		48676,76205	687,22	70,80
<b>Desvio Padrão</b>		4170,62	39,27	3,75
<b>Coefficiente de Variação</b>		8,57%	5,71%	5,29%
Terciário sem nó	I	39599,1361	706,86	56,02
	II	39822,1944	706,86	56,34
Terciário com nó	I	48197,9059	706,86	68,19
	II	54047,9304	706,86	76,46
<b>Média</b>		45416,7917	706,86	64,25
<b>Desvio Padrão</b>		7008,94	0,00	9,92
<b>Coefficiente de Variação</b>		15,43%	0,00%	15,43%

Fonte: Autoria Própria (2022)

Os resultados encontrados na Tabela 9 mostram que o bambu estudado nessa pesquisa tem uma tensão de ruptura na compressão de aproximadamente de

64,25 MPa, temos que  $F_{ck}$  é de 47,93 MPa, em média, onde essa propriedade pode apresentar uma certa dispersão na ordem de uns 16%, com coeficiente de variação de 14,77% possui uma baixa dispersão o que equivale a dizer que os dados são homogêneos, no Gráfico 3 é possível observar com mais facilidade as tensões encontradas e sua média.



**Fonte: Autoria Própria (2022)**

Segundo Krause et al (2016) as faixas de fibras do bambu, tem uma geometria resistente à tração, mas quando são associadas em seu todo, proporcionam um reforço na compressão devido a essa composição celulósica cristalina mais resistente, no entanto quando são submetidos a compressão se tem um rearranjo.

Se observando a Tabela 10 pode se dizer que a presença do nó teve um aumento significativo de 13,10% mostrando que os colmos com nó são mais resistentes, fazendo uma análise na Tabela 11 pode se dizer que o colmo que possui maior resistência seria o colmo secundário que comparado com o primário possui um aumento de 3,59% de resistência e comparando com o colmo terciário houve um aumento de 10,19%.

Temos que a resistência a  $f_{t,0}$  tração se utilizando da Equação 5, se encontra na Tabela 12.

**Tabela 12- Resistencia a tração encontrada pela correlação da Equação 10.**

Colmos	CP		

		<b>Tensão a Compressão (MPa)</b>	<b>Tensão a Tração (MPa)</b>
<b>Primário sem nó</b>	I	64,00	83,11062429
	II	62,39	81,0280926
<b>Primário com nó</b>	I	90,38	117,3782904
	II	56,60	73,50285506
<b>Secundário sem nó</b>	I	69,68	90,48854818
	II	73,34	95,24802792
<b>Secundário com nó</b>	I	66,00	85,72017636
	II	74,17	96,33016182
<b>Terciário sem nó</b>	I	56,02	72,75495818
	II	56,34	73,16478013
<b>Terciário com nó</b>	I	68,19	88,55336182
	II	76,46	99,30153299
<b>Média</b>		67,80	88,05
<b>Desvio Padrão</b>		10,01	13,00
<b>Coefficiente de Variação</b>		14,77%	14,77%

**Fonte: Autoria Própria (2022)**

Se observando a Tabela 12 observações que sua resistência a tração média é de 88,05MPa, o que corresponde a 37,04% a mais de resistência quando comparamos com a resistência a compressão com um coeficiente de variação de 14,77%, o que comparando com outros trabalhos como Pereira (2018), Ferreira (2007) e Salgado Neto (2018), nos mostra como uma verdade a qual fala que a resistência a tração paralela as fibras do bambu sempre é maior que sua resistência a compressão paralela as fibras.

Fazendo uma análise sobre as formas de ruptura dos colmos com nó e sem nó se observou que houve uma diferença no modo de ruptura dos corpos de prova, os sem nó romperam na linha paralela as fibras abrindo o CP por completo, já os que apresentavam nó criaram fissuras na parede do nó, sem romper por completo o CP. Podemos analisar a partir disso o seu aumento em relação a resistência a compressão, ressaltando que o nó auxilia para que o rompimento não aconteça por inteiro no CP.

Nas Figuras 34, 35, 36 e 37, é possível observando a ruptura do corpo sem nó.



**Figura 34- Colmo terciário fissurada parte externa (a)**

**Fonte: Autoria própria (2022)**



**Figura 35- Colmo terciário fissurada parte interna (a)**

**Fonte: Autoria própria (2022)**



**Figura 36- Colmo secundário fissurada parte externa (b)**

**Fonte: Autoria própria (2022)**



**Figura 37- Colmo secundário fissurada parte interna (b)**

**Fonte: Autoria própria (2022)**

Nas Figuras 38, 39, 40 e 41, é possível estar observando a ruptura do corpo com nó.

Fonte: Autoria própria (2022)



Figura 38- Colmo terciário fissurada parte externa (a)



Figura 39- Colmo terciário fissurada parte interna (a)

Fonte: Autoria própria (2022)



Figura 40- Colmo secundário fissurada parte externa (b)

Fonte: Autoria própria (2022)



Figura 41- Colmo secundário fissurada parte interna (b)

Fonte: Autoria própria (2022)

### 4.3 Ensaio da tração à flexão

Como todas as vigas fissuraram em seu centro não será necessária a utilização da Equação 3.

Foi utilizado dois corpos de prova prismático como referência que são feitos somente de concreto simples, os quais serviram para mostrar qual seria seu desempenho juntamente com o concreto, para o projeto ambos foram feitos com o mesmo traço dos outros corpos de provas prismáticos, os valores encontrados no ensaio de tração na flexão foram de força máxima de ruptura dos corpos de prova de referência e com bambu que se encontram na Tabela 13.

**Tabela 13- Força Máxima de ruptura a flexão nas vigas referencias e com Bambu**

Corpo de Prova	Largura (mm)	Altura (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Força Máx. (N)	Tensão
CP1- REF	150	150	22500	19559,59	2,90
CP2-REF	150	150	22500	18874,89	2,80
<b>Média</b>					2,85
<b>Desvio padrão</b>					0,07
<b>Coefficiente de Variação</b>					0,03
CP 1- Bambu	150,2	150	22530	25268	3,74
CP 2- Bambu	150	150,03	22504,5	24177	3,58
CP 3- Bambu	150	150	22500	20017	2,97
CP 4- Bambu	150,1	150	22515	17282	2,56
CP5- Bambu	150,01	150,05	22509	19726	2,92
CP6- Bambu	150	150	22500	20475	3,03
CP7- Bambu	150,02	150,04	22509	15265	2,26
<b>Média</b>					3,01
<b>Desvio padrão</b>					0,52
<b>Coefficiente de Variação</b>					0,17

Fonte: Autoria própria (2022)

Sua tração característica dos corpos de prova referência, variando 2,52% de um corpo de prova para outro. Observando a Tabela 14 os corpos de prova com bambu podemos concluir que as resistências médias das vigas com e sem bambu ficaram próximas umas das outras, sendo que as com bambu tiveram acréscimo 5,98% de resistência, mesmo o ganho não sendo significativo, notou-se durante o ensaio que bambu se rompia ao meio e analisando pesquisas anteriores como de Pereira (2018), isso não ocorria o bambu conferia a viga comportamento elasto-

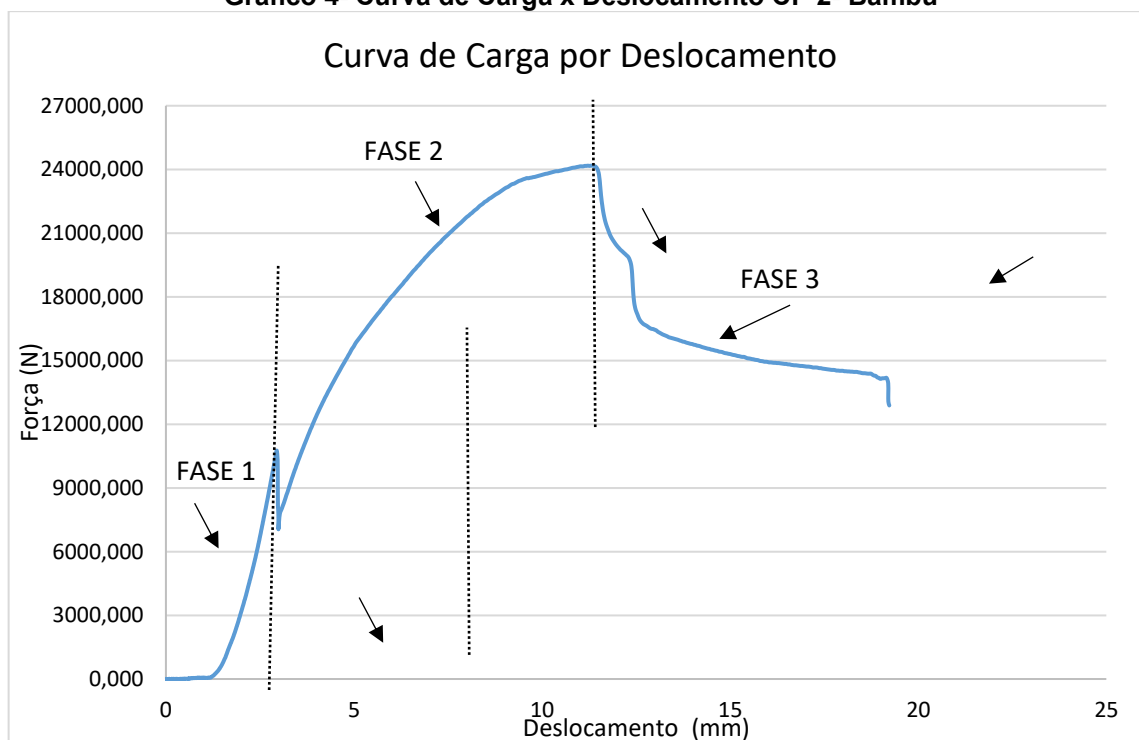
plástico que nada mais é que quando o material não tem aderência suficiente na peça saindo por inteiro do concreto, ou seja o bambu acabou flutuando nessa pesquisa citada.

Tendo os valores encontrados nos ensaios é possível montar uma curva de carga por deslocamento para cada uma das vigas. No eixo das abcissas se encontram os valores de deformação em mm, e no eixo das ordenadas o valor da carga aplicada.

As curvas podem ser divididas em 3 partes, onde na primeira ocorre a fase 1 seguindo a lei de Hooke, na segunda ainda segue a Lei de Hooke onde apenas a armadura se deslocou dentro da estrutura e na terceira fase ocorre o rompimento.

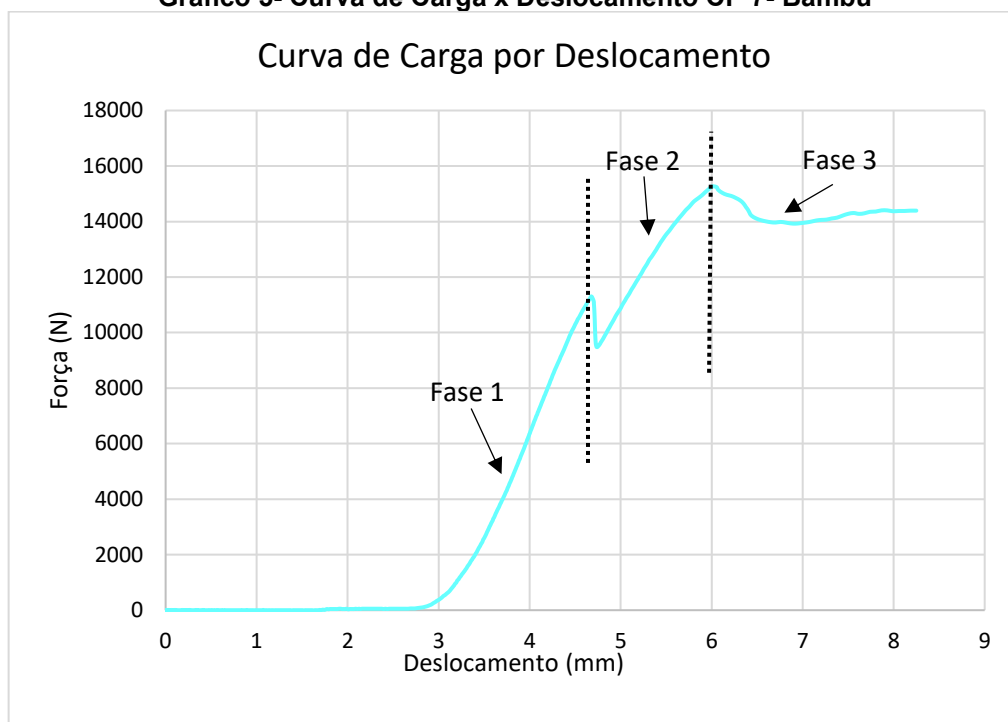
No Gráfico 4 e 5 é demonstrado o comportamento das vigas de bambu apresentando seu diagrama de força por deslocamento das vigas, e onde ocorre cada fase, usando como exemplo o CP 2- Bambu e CP 7- Bambu.

**Gráfico 4- Curva de Carga x Deslocamento CP 2- Bambu**



Fonte: Aatoria Própria (2022)

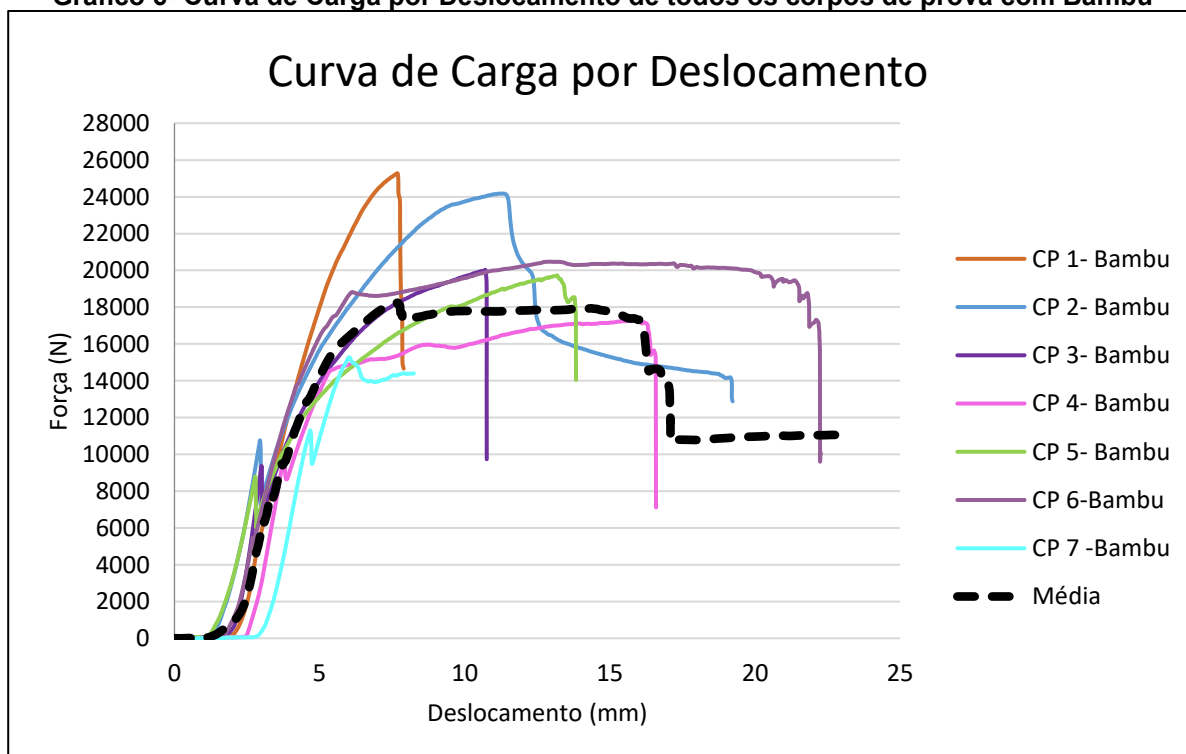
Gráfico 5- Curva de Carga x Deslocamento CP 7- Bambu



Fonte: Autoria Própria (2022)

No Gráfico 6 se encontra a curva de todos os corpos de prova.

Gráfico 6- Curva de Carga por Deslocamento de todos os corpos de prova com Bambu



Fonte: Autoria própria (2022)



Obtemos por meio da Equação 9 que  $f_{ctm}$  na tração na flexão média é igual a 2,016MPa. Como pode observar através das Figuras 42 e 43, o bambu nos ensaios tende a se romper ao meio, se quebrando por completo.



**Figura 42- Corpo de prova com bambu rompido**

**Fonte: Aatoria própria (2022)**



**Figura 43- Corpo de prova com bambu rompido.**

**Fonte: Aatoria própria (2022)**

Durante a realização dos ensaios notou que o CP 7- Bambu conferiu o comportamento elasto-plástico como mostra Figura 44, no qual o bambu se solta inteiro, notou-se que parte desse problema se dá por conta da aderência entre o bambu e o concreto, pois o bambu possui muito amido em sua composição o que acaba virando uma película envolta do bambu, fazendo com que a aderência não seja eficaz.



**Figura 44- Bambu com falta de aderência ao concreto**  
**Fonte: Autoria própria (2022)**

O rompimento dos corpos de prova todos se deram em seu centro, por cisalhamento, todos em seu terço médio como mostra na Figura 45, comparando com outros resultados como Pereira (2018) a ruptura em seu centro ocorre dentro do terço médio como ocorreu na pesquisa atual.

Fazendo uma comparação entre os resultados obtidos e de pesquisas como Pereira (2018) se notou a diferença quanto a ruptura do bambu, pois na pesquisa citada houve uma dificuldade no rompimento, então optaram por fazer a retirada dos CP quando o concreto estivesse comprometido.



**Figura 45- Fissuramento no centro da viga reforçada com bambu.  
Fonte: Autoria própria (2022)**

## 5 CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou uma série de informações sobre as propriedades do bambu mostrando tratar-se de um material de origem vegetal que tem um potencial gigantesco para conseguir ser implantado em outras construções. Existem várias espécies de bambu e muitas delas já estão sendo adequadas para o uso na engenharia, nesse trabalho em específico foi utilizado bambu nativo da região de Guarapuava-PR chamado de Bambu Taquara (*bambusa tuldoides*).

A primeira conclusão que deve ser ressaltada é que o bambu é uma alternativa viável de construção devido à sua natureza renovável, ao seu rápido crescimento, custo de produção baixa e alta resistência mecânica, o que o torna uma alternativa viável para a construção civil.

Os resultados que foram observados e obtidos para o Bambu Taquara (*bambusa tuldoides*) da região de Guarapuava- PR, ainda não são tão atrativos quando se imaginava mostrando que as vigas com adição de bambu tiveram um aumento de apenas 5,38% na sua resistência à tração na flexão, Durante os ensaios foi possível notar dois comportamentos nos conjuntos de bambu com o concreto, um deles foi sua ruptura por inteiro e outro foi o comportamento elasto-plástico o qual o bambu não se rompia e saia por inteiro da viga, o qual demonstra um comportamento ruim para uma viga.

No que se aplica aos resultados da pesquisa de compressão se obtém que há uma alta resistência a compressão em média de 64,25 MPa do bambu típico da região, a presença do nó teve um aumento significativo de 13,10% na resistência a compressão, seguindo a mesma linha de raciocínio pode se concluir que para essa pesquisa o colmo que possui maior resistência seria o colmo secundário que comparado com o primário possui um aumento de 3,59% de resistência e comparando com o colmo terciário houve um aumento de 10,19%.

Se observando os resultados da correlação entre a resistência a compressão e sua resistência a tração paralela as fibras, obtemos que o Bambu Taquara teve um aumento de 37,04% de sua resistência a tração quando comparado com sua resistência a compressão com uma tensão média a tração de 88,05 MPa.

Tendo em vista os resultados obtidos conclui-se que a metodologia aplicada se deu por satisfatória a qual permitiu avaliar e comparar a aderência do concreto com

o bambu e suas propriedades mecânicas, tornando-se assim um material alternativo e viável no ramo da construção olhando do ponto de vista sustentável e econômico.

Já olhando do ponto vista técnico se deve ser feitas outras pesquisas a volta do assunto para buscar alternativas que demonstrem um alta diferença de resistência a flexão na tração, levando em conta resultados encontrados nessa pesquisa se obtém uma elevada resistência ao esforço de compressão e tração paralela as suas fibras, podendo ser usado como um aliado para o concreto, mas para que isso aconteça de uma forma mais eficiente se devem ser feitas pesquisas mais voltadas para esse desempenho na parte estrutural de uma edificação, visto que não existem normas que regem esses ensaios voltados para bambu apenas pesquisas bases.

## SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

É de grande importância o estudo acerca do bambu com a interação entre concreto de bambu, para que este comece a ser usado com mais frequência como um material estrutural.

Fazer um estudo acerca de sua microestrutura e quais tipos de tratamentos são mais eficazes quanto a aderência entre o bambu e o concreto.

Avaliar a possibilidade de utilização de outras formas de impermeabilização para o bambu, sendo possibilidades fazer o lixamento da peça para fazer com que o bambu e concreto tenham uma aderência melhor devido ao atrito, assim como fazer a utilização de métodos como mergulho do bambu na água durante alguns períodos para fazer essa retirada do amido de sua estrutura assim como outros métodos.

Melhorar a pesquisa com novas técnicas de incremento de aderência e fazer um comparativo entre vigas armadas com aço liso e vigas armadas com bambu para uma melhor comparação entre os corpos de prova e suas resistências a tração e compressão.

## REFERÊNCIAS

ARMANDEI, M.; DARWISH, I. F.; GHAVAMI, K. Experimental study on variation of mechanical properties of a cantilever beam of bamboo. *Construction and Building Materials*. Vol. 101 (2015) p. 784–790.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1987). NBR 7217: Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1998). NBR NM 67: Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro: ABNT, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2018). NBR 5739: Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2015). NBR 8953: Concreto para fins estruturais — Classificação pela massa específica, por grupos de resistência consistência. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2014). NBR 6118: Concreto – Projeto de estruturas de concreto — Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2021). NBR 16940: Concreto reforçado com fibras - Determinação das resistências à tração na flexão (limite de proporcionalidade e resistências residuais) - Método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2016). NBR 5738: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1997). NBR 7190: Madeira

– Projetos de estruturas de madeira. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2018). NBR 5739: Concreto –Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2008). NBR 8522: Concreto – Determinação do módulo estático de elasticidade à compressão. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2010). NBR 12142: Determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. NBR 6118. Rio de Janeiro. 2014.

BERALDO, A. L. Bambucreto – o uso do bambu como reforço do concreto. In: Anais do XIX CONBEA – Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, Piracicaba, SP, 1987.

BERALDO, A. L.; ZOULALIAN, A. Bambu-Material alternativo para construções rurais. In: V ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA.EBRAMEM. 1995. Belo Horizonte, MG 2 v.

BERALDO, A. L.; AZZINI, A.; GHAVAMI, K.; PEREIRA, M. A. R. Bambu: características e aplicações. In: FREIRE, W. J. e BERALDO, A. L. (Edit.). Tecnologias e Materiais Alternativos de Construção. Editora da Unicamp, 2003.

BERALDO, A. L.; PEREIRA, M. A. R. Bambu de corpo e alma. Bauru: Canal6, 2008. 240 p.

BRAGA FILHO, A. C.; LIMA JÚNIOR, H. C.; BARBOSA, N. P.; WILLRICH, F. L. Comportamento estrutural de vigas de concreto reforçadas com ripas de bambu



cravejadas de pinos. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. v.14, n.10, p.1115–1122, 2010.

CARRASCO, E. V. M.; MOREIRA, L. E.; XAVIER, P. V. Bambu laminado e colado. In: Anais do VEBRAMEM – Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira, Belo Horizonte, MG, 1995.

CEOTTO, L. H. A Construção Civil e o Meio ambiente: 1ª parte. Notícias da Construção, ed. 51 e 52, São Paulo, SP, 2008.

COLLA, W. A.; BERALDO, A. L.; BRITO, J. O. Effects of thermal treatment on the physicochemical characteristics of giant bamboo. Cerne. Vol. 17, n. 3, (2011) p. 361-367.

Comité Euro-International du Béton. CEB-FIP Model Code 1990. Lausanne, 1993.

CORREA, Marcio A. P. Utilização de Bambu na Construção. 2014. 107f. Tese de Mestrado – Faculdade de Engenharia Universidade do Porto, Porto, 2014.

CULZONI, R. A. M. Características dos bambus e sua utilização como material alternativo no concreto. Dissertação de Mestrado. Pontifícia Universidade Católica. Rio de Janeiro, RJ, 1985

CZARNIESKI, Cleber J. et al. Vigas de concreto reforçadas com bambu *Dendrocalamus giganteus*. I: análise experimental. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. Campina Grande, v.9, n.4, out/dez. 2005.

CZARNIESKI C. J.; MESQUITA, L P.; BRAGA FILHO, A. C; WILLRICH, F. L ; LIMA JR., H. C. E BARBOSA, N. P.: "Avaliação da aderência bambu-concreto". XXXI Jornadas Sudamericana de Ingeniería Estructural. Maio, 2004.

EMBRAPA, Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 5. ed. Brasília, DF, 2018. 355 p.

FARRELY, D. The Book of Bamboo. Sierra Club Books, São Francisco, 1984.

FERREIRA, Gisleiva C. dos S. Vigas de concreto armadas com taliscas de bambu *Dendrocalamus giganteus*. 2007. 195 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.

FERREIRA, G. C. S. Vigas de concreto armadas com bambu. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Pós-Graduação da Faculdade de Engenharia Civil, UNICAMP, Campinas, 2002

FILGUEIRAS, T.S.; SANTOS-GONÇALVES A.P. Tupi guarani: fonte de informações sobre bambus nativos do Brasil. *Heringeriana*, Brasília. v.1, n.1, p.35-41, 2007. Checklist of the basal grasses and bamboos in Brazil. *Bamboo Science and Culture; The Journal of the American Bamboo Society*. v.18(1): p.7-18, 2004

GAION, C. P.; PASCHOARELLI, L. C.; PEREIRA, M. A. R. O Bambu como Matéria prima para o Desenho Industrial: um estudo de caso. In: 3º Congresso Internacional de pesquisa em design. Rio de Janeiro. 2005

GHAVAMI, K; HOMBEECK, R. V. Application of bamboo as a construction material. Part I-Mechanical Properties and water repelente treatment of bamboo Part II-Bamboo reinforced concrete beams. In: Latin American Symposium, Rational Organization of Building Applied to Low-cost Housing, 1982, São Paulo, Rational Organization of Building Applied to Low-cost Housing. São Paulo: IPT, v. 1.p.49-65, 1981.

GHAVAMI, K.; TOLEDO FILHO, R. D.: "Desenvolvimento de Materials de Construcao de Baixo Consumo de Energia Usando Fibras Naturais, Terra e Bambu". *Revista Engenharia Agricola*. Publicacao Sociedade Brasileira de Engenharia Agricola, Vol.2, p. 1-19,1992.

GHAVAMI, K.: "Application of Bamboo as low cost energy material in Civil Engineering". Third CIB/RILEM Symposium for Low Income Housing, Mexico City, 1989, pp 526-523.

GHAVAMI, K. A volta do velho e forte bambu. Revista Globo Ciência. 1995.

GHAVAMI, K. Bambu, um Material Alternativo na Engenharia. Revista Engenharia. Construção Civil. Pesquisa Engenho. Editora Técnica Ltda, São Paulo, No. 492. p. 23-27, 1992.

GHAVAMI, Khosrow. Bamboo as reinforcement in structural concrete elements. Departamento de Engenharia Civil. Universidade Pontifícia Católica. Rio de Janeiro. 2003

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

GIL, Antônio Carlos. Como elaborar projetos de pesquisa. 4. Ed. – São Paulo: Atls, 2002. iências positivas.

GRECO, T.M; CROMBERG M. Bambu - cultivo e manejo. Florianópolis – SC: Editora Insular. 2010, 183p.

HANSEN, Sandro. Gestão Socioambiental: meio ambiente na Construção Civil. Florianópolis: SENAI/SC, 2008.

HELENE, P.R.L.; TERZIAN, P. Manual de Dosagem e Controle do Concreto. São Paulo: Pini; Brasília: SENAI, 1992. 349p

HIDALGO-LÓPEZ, O. Bambú: su cultivo y aplicaciones en: fabricación de papel, construcción, Arquitectura, Ingeniería, Artesanía. Colômbia: Estudios Tecnicos Colombianos Ltda., 1974. 318p.

HIDALGO-LÓPEZ, O. Manual de construcción com bambú: construcción rural. 1.ed. Bogotá: Estudios Técnicos Colombianos Ltda, 1981.

HIDALGO-LÓPEZ, O. Bamboo: The gift of the gods. Colombia: D'Vinni Ltda, Part 4. 2003. p. 142-153

H.K. Chow. Bamboo as a material for reinforcing concrete. Massachusetts Institute of Technology. (1914)

ISO/TC165 N314 - International Organization for Standardization. Determination of Physical and Mechanical properties of bamboo, 20 pp., 1999.

JATOBA, Ivana. IMPACTOS AMBIENTAIS DAS SIDERÚRGICAS. *In*: IMPACTOS AMBIENTAIS DAS SIDERÚRGICAS. Bahia, 24 out. 2013. Disponível em: <http://www.universojatoba.com.br/sustentabilidade/consumo-consciente/impactos-ambientais-das-siderurgicas#:~:text=As%20sider%C3%BArgicas%2C%20no%20processo%20de,altamente%20nocivos%20aos%20ecossistemas%20locais>. Acesso em: 15 dez. 2022.

JANSSEN, J. J. Building with bamboo. Intermediate Tecnology Publications. (1988)

JANSSEN, J. J. Building with bamboo. Londres: Intermediate Technology Publications, 1995. 60 p.

JANSSEN, JULES J. A. Designing and building with bamboo. International Network for bamboo and Rattan (INBAR). Technical report no 20. Beijing. China. 2000.

KRAUSE, J. Q.; DE ANDRADE SILVA, F.; GHAVAMI, K.; GOMES, O. F. M.; TOLEDO FILHO, R. D. On the influence of *Dendrocalamus giganteus* bamboo microstructure on its mechanical behavior. *Construction & Building Materials*, v. 127, p. 199-209, 2016.

LAKATOS, E. M., & MARCONI, M. d. (2003). *Fundamentos de Metodologia Científica*. São Paulo:

LIESE, Walter. Anatomy and properties of bamboo. *In*: Rao, A.N.; Dhanarajan, G.; Sastry, C.B. ed., *Recent Research on Bamboo*, 1987. Proceedings of 99 the International Bamboo Workshop, Hangzhou, China, 6-14 October 1985. Chinese

Academy of Forestry, Beijing, China; International Development Research Centre, Ottawa, Canada. p.196

LIMA JÚNIOR, H. C.; WILLRICH, F. L.; FABRO, G. Vigas de concreto reforçadas com bambu *Dendrocalamus giganteus*. II: Modelagem e critérios de dimensionamento. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. v.9, n.4, p.652-659, 2005.

LIMA Jr. et al.: "Características Mecânicas do Bambu *Dendrocalamus giganteus*: Análise Teórica e Experimental". *Sustainable Construction into the next Millenium: Environmentally Friendly and Innovative Cement based Materials*. Proceedings of the International Conference. Joao Pessoa, Brasil, 2000. p. 395-406.

LONDOÑO, X. La Subtribu *Guaduinae* de América. SIMPOSIO INTERNACIONAL GUADUA; Pereira, Colômbia, 2004.

LOPEZ, O. H. Bamboo: the gift of the God's. D'vinni Ltda., Bogotá, Colômbia, 2003.

MARÇAL, V. H. S. Bambu pode suportar carga superior à do próprio aço. AECweb. Revista digital. <https://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/bambu-podesuportar-carga-superior-a-do-proprio-aco.html>. Acesso em 28/10/2022.

MESQUITA, L. P.; CZARNIESKI, C. J.; BRAGA FILHO, A. C.; WILLRICH, F. L.; LIMA JÚNIOR, H. C.; BARBOSA, N. P. Determinação da tensão de aderência do bambu-concreto. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. v.10, n.2, p.505–516, 2006.

MICHAELIS, UOL Dicionário; Moderno Dicionário da Língua Portuguesa, © 2017 Editora Melhoramentos Ltda.; UOL 2017.

MISKALO, Eugenio P. Avaliação do potencial de utilização de bambu (*Dendrocalamus giganteus*) na produção de painéis de partículas orientadas. 2009. 130 f. Dissertação (Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais) - Departamento de Pesquisa e Pós-Graduação, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2009

OHRNBERGER, Dieter. The bamboos of the world: annotated nomenclature and literature of the species and the higher and lower taxa. Elsevier, 1999.

PEDRANGELO, Alessandra C. S., RUFATO, Diegle B.; MOREIRAS, Sergio T. F. Bambusa Tuldoides: análise de viabilidade da produção de compósitos de fibras de bambu e acetato de polivinila. 20 f. Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental-UNISUL. Maringá, PR (2022).

PREFEITURA DE GUARAPUAVA. Sobre Guarapuava. Guarapuava, PR, 2010. Disponível em: <https://www.guarapuava.pr.gov.br/conheca-guarapuava/sobre-guarapuava/>. Acesso em: 5 dez. 2022.

PEREIRA, M. A. R. Bambu: espécies, características e aplicações. Departamento de Engenharia Mecânica/Unesp. Apostila, Bauru, SP, 2001

PEREIRA, M. A. R. Bambu: manejo e produção do bambu gigante (*Dendrocalamus giganteus*) cultivado na Unesp/Campus de Bauru e determinação de suas características físicas e de resistência mecânica. Relatório Fapesp, 2006.

PEREIRA, MA dos R. Projeto Bambu: Introdução de espécies, manejo, caracterização e aplicação. Bauru: UNESP, 2012.

PEREIRA, B. O. Estudo de concretos com adição de bambu. 2018. 67 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2018.

PEREIRA, M. A. R. Viabilidade da utilização do bambu para fins de irrigação: Aspectos técnicos. Dissertação Mestrado. Botucatu: UNESP, 1992. 104p.

PEREIRA, M. A. R.; BERALDO A. L. Bambu de corpo e alma. 2º ed. Bauru, São Paulo, Editora Canal 6, 2008.

PEREIRA, M. A. R.; BERALDO A. L. Bambu de corpo e alma. Bauru, Editora Canal 6, 2007. PINHEIRO, L. M.; MUZARDO, C. D. Aderência e ancoragem – Capítulo 10. Departamento de Engenharia de Estruturas – EESC – USP. São Paulo, 2003.

SALCEDO, L. O. G. Uso del bambu em el concreto reforzado. Palmira: Impresora Feriva S.A. ISBN: 958-8095-13-1. 2001, p. 43.

SALGADO NETO, F. S. Análise Mecânica e Microestrutural da Interação do Bambu com o Concreto. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, Belém, Pará, Brasil, 2018.

SANT'ANA, R.; VAZ FILHO, H. Bambu na Arquitetura: Potencial Construtivo e Suas Vantagens Econômicas. Uberlândia, MG, 2013.

SOUZA, A. M. Os Diversos Usos do Bambu na Construção Civil. 2014. 100 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2014.

TAN, T.; RAHBAR, N.; ALLAMEH, S. M.; KWOFIE, S.; DISSMORE, D.; GHAVAMI, K.; SOBOYEJO, W. O. Mechanical properties of functionally graded hierarchical bamboo structures. Acta Biomaterialia. Vol. 7. n.º 10 (2011). p. 3796-3803.

TARGA, Gabriel N. e. Compósito reforçado por laminado de bambu com matriz de poliuretano e epóxi: desenvolvimento, produção e caracterização mecânica. 2011. 106 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia dos Materiais, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

XIAOBO, Li. Physical, chemical, and mechanical properties of bamboo and its utilization potential for fiberboard manufacturing. 2004. 76 f. Tese (Mestre em Ciências) – Graduate Faculty of the Louisiana State University and Agriculture and Mechanical College, School of Renewable Natural Resources, 2004.

WORLD COMISSION ON ENVIRONMENTAND DEVELOPMENT, 1987, Berlin. World  
Comission On Environmentand Development. **SPECIAL WORKING SESSION.**  
Berlin, 1987.