

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

MATHEUS MENDES DE ALMEIDA

**ANÁLISE COMPARATIVA DA ADERÊNCIA DO BAMBU NO  
CONCRETO**

CAMPO MOURÃO

2021

MATHEUS MENDES DE ALMEIDA

## **ANÁLISE COMPARATIVA DA ADERÊNCIA DO BAMBU NO CONCRETO**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação apresentado à Disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso Superior em Engenharia Civil do Departamento Acadêmico de Construção Civil – DACOC - da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, para obtenção do título de bacharel em engenharia civil.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup>. Dr. Fabiana Goia Rosa de Oliveira

CAMPO MOURÃO

2021



---

## TERMO DE APROVAÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso

### ANÁLISE COMPARATIVA DA ADERÊNCIA DO BAMBU NO CONCRETO

por

**Matheus Mendes de Almeida**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado às 19h30min do dia 05 de maio de 2021 como requisito parcial para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL, pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

**Prof. Dr. Jorge Luis Nunes de Góes**

( UTFPR )

**Prof. Dr. Ronaldo Rigobello**

( UTFPR )

**Profª. Drª. Fabiana Goia Rosa de Oliveira**

(UTFPR)

***Orientadora***

Responsável pelo TCC: **Prof. Me. Valdomiro Lubachevski Kurta**

Coordenador do Curso de Engenharia Civil:

**Prof. Dr(a). Paula Cristina de Souza**

*A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso.*

## AGRADECIMENTOS

Interessante pensar em tudo o que se passou ao longo dessa jornada até o momento que escrevo estas palavras. Para mim, não se trata apenas de uma monografia, mas uma grande conquista de ter chego até aqui. Nessa jornada, o primeiro personagem com quem me deparo é Deus, por seu espírito estar sempre presente em minha vida, tanto nos momentos ruins e bons. Agradeço por sempre estar por perto e iluminar a estrada, e sempre acender e manter a luz acesa em minha aventura.

À toda minha família, primordialmente aos meus grandes pais, Sandra e Luiz, minha base e meus heróis. Deles que provem toda minha educação, minha bondade, dignidade e todos os valores necessários para se viver em sociedade e harmonia. Sempre solícitos, amorosos e batalhadores, para que nunca faltasse nada em nosso lar. Graças a vocês, foi possível alcançar esse título. Ao meu grande exemplo e irmão, Luiz Fernando, e seu espírito de dedicação e esforço, o qual me espelho, que é responsável por me ajudar em todos os empecilhos, decisões e caminhos a trilhar, além de participar deste trabalho, auxiliando no corte e manejo do bambu. À minha cunhada, Amanda, pelo seu espírito divertido e prestativo, por auxiliar na execução deste trabalho, colaborando com o transporte e a doação dos bambus. A todo o restante, da minha família, os quais compartilho imenso carinho e momentos ímpares, durante toda minha vida.

Aos amigos, sem citações para que nenhuma injustiça seja feita. Aos da infância, e da faculdade, entretanto, nesse momento, não posso me esquecer do grupo dos “Originais” que fazem parte deste meio, desde o início da academia. Sendo eles: Andrei Nakaiama, João Gabriel Franco, Felipe Mello e Valdir Milan Júnior, que contribuíram para muitos momentos inesquecíveis, e amparo nos momentos difíceis.

À minha orientadora, Fabiana, e seu imenso espírito de benevolência, e profissionalismo, sempre presente em todos momentos da graduação, essencialmente neste trabalho, auxiliando-me sempre que possível, colaborando por todo o crescimento e aprendizado adquirido. Bem como, o professor Jorge Goés, e seu espírito de simpatia e prontidão para sanar diversas dúvidas, cooperação e auxílio para a execução dos ensaios.

Aos técnicos de laboratório Fábio e Maiko, por auxiliarem no desenvolvimento e elaboração dos corpos de prova, facilitando um trabalho laborioso, assim como o “Seu Baiano”, morador da propriedade de origem dos bambus, auxiliando-me num trabalho perigoso de corte do material.

Ao meu chefe de trabalho e amigo, o engenheiro civil Pedro Arnaldo Mariot, por toda a assistência e paciência nos ensinamentos para o meu crescimento profissional e pessoal, que me propôs a oportunidade de trabalho, com o qual pude assimilar todos os conteúdos aprendidos na universidade no mercado de trabalho.

À Universidade Tecnológica Federal do Paraná, por me promover um ensino gratuito e de qualidade, colaborando para a formação de um excelente profissional, capacitado para exercer esse título.

E todos que me auxiliaram de alguma maneira, transmitindo bons ensinamentos, carinho, palavras e abraços.

A todos, meu muito obrigado por fazerem parte de minha vida.

## RESUMO

O emprego do bambu na construção civil tem se demonstrado crescente durante os últimos anos. O desenvolvimento sustentável têm sido a principal razão da sua utilização, em virtude de ser um material renovável e de fácil obtenção. Além do mais, suas propriedades permitem um aproveitamento inteligente nos elementos estruturais civis, em geral. Dessa forma, o bambu encaminha-se para uma alternativa ao aço, inclusive no concreto armado. No entanto, em função do material, sua aderência no concreto é limitada, exigindo o uso de tratamentos específicos. À vista disso, no presente trabalho, foram elaboradas taliscas oriundas do bambu da espécie "*Bambusa vulgaris vittata*", e tratadas com dois tipos de tratamento: um com adesivo estrutural à base de resina epóxi e outro idem ao anterior com acréscimo de uma camada de areia, a fim de proporcionar uma aderência eficiente no concreto. Através do ensaio de arrancamento, foram obtidos os resultados os quais pode-se concluir que os tratamentos empregados foram eficientes.

**Palavras-chave:** Bambu. Concreto. Aderência.

## ABSTRACT

The use of bamboo in the civil construction, has been demonstrated growing during the last Years. The sustainable development has been the main reason for your use, by virtue of being a renewable material and easy to obtain. Furthermore, your properties allow an intelligent harnessing in the structural elements, in general. Thus, the bamboo, moves towards an alternative to steel, including reinforced concrete. However, depending on the material, your adherence in concrete is limited, demanding the use of specific treatments. In view of this, in this work, has been elaborated sticks from bamboo of the species “*Bambusa vulgaris vittata*”, and treated with two types of treatment: one with structural adhesive based on epoxy resin and another ditto the previous with the addition of a layer of sand, in order to provide an efficient adherence in the concrete. Through the pull-out test, has been obtained the results which can be concluded that the treatments used were efficient.

**Keywords:** Bamboo. Concrete. Adherence.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Ocorrência de bambu no mundo, representada pela área hachurada .....	21
Figura 2 - Representação gráfica do colmo.....	22
Figura 3 - Variação da fração volumétrica das fibras na espessura do colmo do bambu <i>Guadua angustifolia</i> .....	23
Figura 4 - Representação gráfica dos dois tipos distintos de rizomas: a) grupo tipo moita; b) grupo tipo alastrante. ....	25
Figura 5 - Armazenagem dos colmos.....	37
Figura 6 - Casas projetadas pelo “Ibuku” .....	39
Figura 7 - Vista lateral da Millenium Bridge em Bali, Indonésia.....	39
Figura 8 - Andaime de bambu de camada simples .....	40
Figura 9 - Cobertura do Aeroporto de Barajas, Madrid, composta por BLC .....	41
Figura 10 - Cobertura do Centro Cultural Max Feffer, em Pardinho -SP .....	41
Figura 11 - Viga de concreto armado com bambu .....	47
Figura 12 - Variações dimensionais do bambu em contato com o concreto fresco .....	47
Figura 13 - Aderência por adesão .....	50
Figura 14 - - Aderência por atrito.....	51
Figura 15 - Aderência mecânica.....	51
Figura 16 - Vazios provenientes do acúmulo de água nos poros.....	52
Figura 17 - Situações de boa e má aderência .....	53
Figura 18 - Ensaio de arrancamento direto (pull-out test) com representação das tensões formadas ao arrancamento. ....	54
Figura 19 - Pesagem da areia pela balança utilizada.....	56
Figura 20 - Peneirador automático .....	56
Figura 21 - Adição da areia no frasco de Chapman .....	57
Figura 22 - Pesagem do material .....	58
Figura 23 - Curva granulométrica do agregado miúdo .....	60
Figura 24 - Rasamento do agregado graúdo no recipiente para pesagem .....	61
Figura 25 - Curva granulométrica do agregado graúdo.....	62
Figura 26 - Bambu da espécie <i>Bambusa vulgaris vittata</i> .....	63
Figura 27 - Adesivo estrutural à base de resina epóxi da marca Vedacit® .....	64



Figura 28 - Corte com foice .....	65
Figura 29 - Corte dos colmos .....	65
Figura 30 - Corte em X dos colmos .....	66
Figura 31 - Corte em tiras dos colmos.....	66
Figura 32 - Corte em tiras dos colmos.....	66
Figura 33 - Tiras de bambu em imersão.....	67
Figura 34 - Formação de limo nos bambus .....	67
Figura 35 - Final da secagem.....	68
Figura 36 - Início da secagem .....	68
Figura 37 - Corte das tiras de bambu .....	68
Figura 38 - Uniformização da espessura pela plaina desengrossadeira .....	69
Figura 39 - Posicionamento do gabarito.....	70
Figura 40 - Gabarito para corte .....	70
Figura 41 - Taliscas com aproximadamente 20mm de largura.....	70
Figura 42 - Corte do comprimento das taliscas .....	71
Figura 43 - Dimensões do corpo de prova .....	72
Figura 44 - Slump Test – abatimento obtido.....	74
Figura 45 - Adesivo estrutural aplicado na talisca com camada de areia.....	75
Figura 46 - Preenchimento de 1/3 de cada molde.....	75
Figura 47 - Preenchimento do restante dos moldes, com a talisca de bambu .	76
Figura 48 - Armazenagem dos corpos de prova .....	76
Figura 49 - Ensaio de resistência à tração axial em barra de aço de diâmetro 8,0 mm .....	77
Figura 50 - Ensaio de resistência à tração axial talisca de bambu.....	78
Figura 51 – Representação da execução do ensaio de resistência a tração ...	78
Figura 52 - Arranjo para execução do ensaio de arrancamento.....	79
Figura 53 - Arranjo para execução do ensaio de arrancamento em talisca de bambu .....	80
Figura 54 - Ensaio de resistência à compressão axial .....	81
Figura 55 - Taliscas de bambu rompidas por tração .....	84
Figura 56 - Barras de aço de 8,0 mm rompidas após ensaio .....	85
Figura 57 - Tensões últimas médias dos ensaios de arrancamento .....	88
Figura 58 - Escorregamento da talisca de bambu (A5) .....	88
Figura 59 - Corpo de prova A6 foi arrancado por completo do concreto.....	89

Figura 60 - Talisca de bambu A6 .....	89
Figura 61 - Ruptura do corpo de prova As4 .....	89
Figura 62 - Corpo de prova Asx5 apresentou ruptura no concreto.....	90
Figura 63 - Comparativo entre forças últimas de ruptura à tração e ao arrancamento do bambu .....	91
Figura 64 - Ruptura da barra de aço 1 de 8,0 mm .....	91
Figura 65 - Comparativo entre forças últimas de ruptura à tração e ao arrancamento do aço.....	92
Figura 66 - Análise da eficiência da aderência entre os tratamentos e materiais .....	93

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Características das principais espécies de bambu para construção e produção de componentes .....	42
---	----

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dimensão das fibras celulósicas de várias espécies de bambu.....	24
Tabela 2 - Análise química de Bambusa Vulgaris, Eucalyptus saligna e Pinus elliottii .....	26
Tabela 3 - Propriedades físicas de algumas espécies de bambu .....	30
Tabela 4 - Resistência do bambu (espécie Guadua angustifolia) inteiro à compressão, módulo de elasticidade e coeficiente de Poisson em diversas partes do colmo.....	31
Tabela 5 - Resistência do bambu (espécie Guadua angustifolia) inteiro à tração, módulo de elasticidade e coeficiente de Poisson em diversas partes do colmo .....	32
Tabela 6 - Valores médios das Tensões de Ruptura à Tração (em MPa).....	33
Tabela 7 - Características das vigas analisadas .....	44
Tabela 8 - Classificação do agregado miúdo .....	57
Tabela 9 - Resultados obtidos para massa específica aparente .....	59
Tabela 10 - Resultados obtidos no ensaio de composição granulométrica da areia .....	59
Tabela 11 - Classificação do agregado graúdo .....	60
Tabela 12 - Resultados obtidos no ensaio de massa específica aparente.....	61
Tabela 13 - Resultados obtidos no ensaio de composição granulométrica da brita .....	62
Tabela 14 - Dimensões do corpo de prova.....	73
Tabela 15 - Resultados dos ensaios para determinação do teor de umidade e densidade aparente.....	82
Tabela 16 - Resultados da força última de ruptura à tração (kN) e tensão última de ruptura à tração (Mpa).....	83
Tabela 17 - Resultados do ensaio de resistência à tração axial em aço.....	84
Tabela 18 - Resultados do ensaio de resistência à compressão axial .....	85
Tabela 19 - Resultados do ensaio de arrancamento do bambu in natura, no concreto.....	86
Tabela 20 - Resultados do ensaio de arrancamento do bambu imerso no concreto com adição de adesivo estrutural .....	87

Tabela 21 - Resultados do ensaio de arrancamento do bambu imerso no concreto com adesivo estrutural com acréscimo de camada de areia .....	87
Tabela 22 - Resultados do ensaio de arrancamento de barras de aço de diâmetro 8,0 mm .....	91

## LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 .....	58
Equação 2 .....	59
Equação 3 .....	71
Equação 4 .....	72
Equação 5 .....	81
Equação 6 .....	86

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	17
2 OBJETIVOS .....	18
2.1 Objetivo principal .....	18
2.2 Objetivos Específicos.....	18
3 JUSTIFICATIVA .....	19
4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	20
4.1 O Bambu e suas características .....	20
4.1.1 Aspectos botânicos.....	21
4.2 Propriedades físicas, químicas e mecânicas do bambu .....	25
4.2.1 Propriedades Químicas .....	25
4.2.2 Propriedades Físicas e Mecânicas .....	26
4.2.2.1 Propriedades Físicas .....	27
4.2.2.2 Características Mecânicas .....	30
4.3 Manejo do Bambu.....	34
4.3.1 Tratamentos.....	34
a) Métodos Tradicionais.....	34
b) Métodos Químicos.....	35
c) Tratamentos sob pressão .....	36
4.3.2 Armazenagem.....	37
4.4 Bambu na Construção Civil .....	37
4.5 Bambu no concreto.....	43
4.5.1 Complexidades da interação concreto/bambu .....	47
a) Absorção de água.....	47
b) Aderência .....	48
4.6 Aderência .....	49
4.6.1 Tipos de aderência .....	50
a) Por adesão .....	50
b) Por atrito.....	50
c) Mecânica .....	51
4.6.2 Zonas de Aderência.....	52
4.6.3 Ensaios de Aderência.....	53
5 METODOLOGIA.....	54
5.1 Materiais .....	55
5.1.1 Caracterização dos materiais.....	55
a) Cimento .....	55

b) Agregado Miúdo .....	55
c) Agregado Graúdo .....	60
d) Armaduras .....	62
e) Bambu .....	63
f) Água .....	63
g) Adesivo estrutural à base de resina epóxi .....	64
5.2 Métodos .....	64
5.2.1 Preparação dos corpos de prova .....	64
a) Corte e Tratamento.....	65
b) Armazenagem e Secagem .....	67
c) Confeção das taliscas .....	68
5.2.2) Ensaio.....	71
a) Teor de Umidade e Densidade Básica .....	71
b) Ensaio de Arrancamento e Tração .....	72
b.1) Dosagem e preparo do concreto .....	72
b.2) <i>Slump Test</i> e Moldagem dos corpos de prova.....	73
b.3) Ensaio de Tração.....	77
b.4) Ensaio de arrancamento.....	79
c) Ensaio de resistência à compressão axial .....	80
6 RESULTADOS E ANÁLISES .....	82
6.1 Propriedades do Bambu .....	82
6.2 Propriedades do Aço .....	84
6.2 Propriedades do Concreto.....	85
6.3 Resultados do ensaio de arrancamento .....	86
7 CONCLUSÕES .....	94
8 REFERÊNCIAS .....	96



## 1 INTRODUÇÃO

A construção civil tem se desenvolvido progressivamente desde o século passado, e com os adventos do computador e da internet, a engenharia vem propondo o surgimento de novas tecnologias, práticas, materiais, visando uma melhor eficiência das construções, edifícios cada vez mais altos, e vãos mais extensos.

Neste âmbito, a expansão do setor, através da globalização e do crescimento populacional, intensificou a utilização de matérias primas, provocando custos elevados e em alguns casos inviáveis. Além disso, principalmente, culminou na geração de poluição, desperdício de recursos naturais e grandes impactos ao meio ambiente.

Assim sendo, diversos materiais vêm sendo implantados no meio da construção desde o século passado, entretanto, tais materiais são de proveniência industrial, os quais segundo Ghavami (2001), os materiais industrializados mobilizam vastos recursos financeiros, consomem elevada quantidade de energia e requerem um processo centralizado. Em consequência disto, além de outros efeitos ocorrem, também, problemas de desemprego e habitacionais em áreas rurais e em pequenas cidades, onde os materiais não renováveis são inaproveitados, causando permanente poluição.

Para o autor, torna-se evidente que os materiais ecológicos satisfazem algumas exigências fundamentais para o futuro da humanidade, tais como: minimização do consumo de energia, conservação dos recursos naturais, redução da poluição e manutenção de um ambiente saudável.

Neste contexto, surge o bambu, uma alternativa ecológica, que apresenta como vantagens, conforme Pereira e Beraldo (2008), ser uma planta tropical, perene e renovável, produz colmos anualmente sem a necessidade de replantio, apresenta convenientes características físicas, químicas e mecânicas, além de ser um eficiente sequestrador de carbono. Segundo os autores, o bambu ainda é pouco utilizado no país, quer seja pelo desconhecimento de suas espécies, características e aplicações, quer seja devido à falta de normalização e pesquisas específicas.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo principal**

Verificar a aderência de taliscas do bambu em concreto, empregando diferentes tipos de tratamentos em sua superfície.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- Investigar o vegetal bambu, dentre suas características físicas e mecânicas, bem como, sua cultura e manejo.
- Realizar o corte e manejo de peças de bambu na região de Campo Mourão – PR.
- Realizar ensaios de densidade, teor de umidade, tração e em colmos de bambu e em barras de aço com diâmetro de 8,0mm.
- Efetuar ensaios de aderência de taliscas de bambu no concreto, via ensaio de arrancamento, utilizando-se de tratamentos diferentes.
- Analisar e comparar os resultados obtidos.

### 3 JUSTIFICATIVA

Referindo-se ao desenvolvimento sustentável, tem-se a Agenda 2030, organizada pela Organização das Nações Unidas (ONU, 2015), a qual desenvolveu-se um plano de ação para o planeta. Composto por 17 objetivos e 169 metas, as quais, no contexto ambiental, procura-se proteger o planeta da degradação, especialmente, por meio do consumo e da produção sustentáveis, da gestão sustentável dos recursos naturais e tomando medidas mitigadoras das abruptas mudanças climáticas, além de promover as condições necessárias para a sobrevivência de gerações futuras.

Segundo Ghavami (2005), a energia despendida para produzir 1m<sup>3</sup> de bambu, em comparação ao aço e concreto, foi constatado que para o aço é necessário 50 vezes maior que o bambu. Dessa forma, constata-se que a aplicação desse material minimiza o consumo de energia, reduz a poluição, conserva o uso recursos não-renováveis, contribuindo para o equilíbrio natural do meio ambiente.

Contudo, o bambu como material alternativo apresenta certas limitações em contato com o concreto, dentre elas, a principal é sua aderência. Esta por sua vez, conforme Ferreira (2002), decorre do grau de saturação do colmo após a cura do concreto; da retração do material; da forma do material, considerando-se sua superfície, imperfeições; da proporção concreto/ bambu e da variabilidade da temperatura.

Em geral, é necessário, para uma alternativa ao aço, no caso, o bambu, possuir propriedades mecânicas satisfatórias para comparação ao aço, já amplamente em uso. A priori, deve-se garantir que este material irá se harmonizar com o concreto, submetendo-se aos efeitos de transferência de esforços, bem como o aço, entretanto, a deficiência do bambu na aderência, não certifica a capacidade do material em resistir aos esforços solicitantes, principalmente, o de tração.

Por essa razão, demanda-se vários estudos a respeito do tratamento a serem realizados no bambu a fim de se obter melhoria de aderência ao concreto.

## **4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **4.1 O Bambu e suas características**

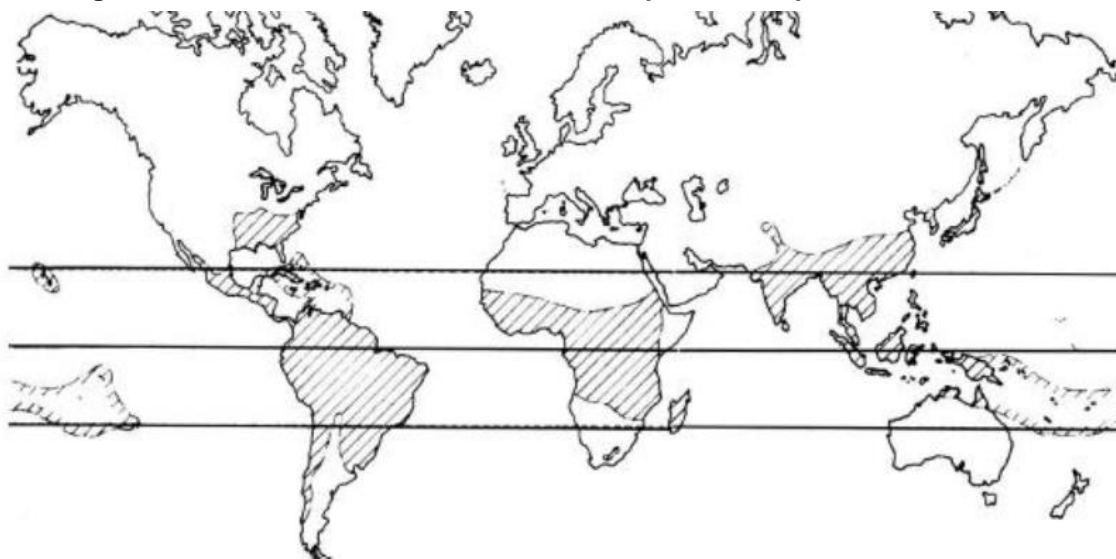
O bambu é uma planta conhecida desde a antiguidade e tem sido utilizada para os mais diversos fins, principalmente nos países asiáticos. O bambu representa o sustento de mais de um bilhão de pessoas, principalmente nas áreas rurais pobres de países em desenvolvimento da Ásia, América do Sul e Central (LIESE, 1998).

Segundo Mitford apud Hidalgo-López (1974), a história do bambu remonta ao começo da civilização na Ásia, sendo aceito que o bambu obteve sua origem no Cretáceo, um pouco antes do início da era terciária, quando surgiu o homem. A origem da palavra bambu permanece um mistério para os etimologistas, assim como são suas diferentes espécies. Na China, homem e bambu estão unidos desde os tempos pré-históricos como pode ser notado pelo fato de que um dos primeiros radicais ou elementos da ideologia chinesa que existiu, foi um desenho de bambu constituído por dois talos com folhas e ramos e que se denomina CHU, sendo a utilização do bambu reconhecida desde os anos 1600 a 1100 a.C, conforme os mais antigos caracteres chineses.

O bambu é uma planta predominantemente tropical e que cresce mais rapidamente do que qualquer outra planta do planeta, levando em média de 3 a 6 meses para um broto atingir sua altura máxima de até 40 m em espécies gigantes. Sua versatilidade, leveza, resistência, facilidade de manuseio, sua aparência ao natural ou processado, são qualidades que tem proporcionado ao bambu longo e variado papel na evolução da cultura humana do que qualquer outra planta (FARRELY, 1984).

Encontrado de maneira natural ou antrópica em todos os continentes, à exceção da Antártica e Europa (MACNAB, 2011; PEREIRA E BERARDO, 2008), como demonstrado na Figura 1, o bambu surge como um dos maiores exemplos de materiais naturais que podem servir de fonte de inspiração para uso na biônica (PALOMBINI, 2016).

Figura 1 - Ocorrência de bambu no mundo, representada pela área hachurada



Fonte: Pereira e Beraldo (2008).

#### 4.1.1 Aspectos botânicos

Bambu é o nome que se dá às plantas da subfamília *Bambusoideae*, da família das gramíneas. Essa subfamília se subdivide em duas tribos, a *Bambuseae* que são os bambus chamados de lenhosos e a *Olyrae*, os bambus chamados de herbáceos (HIDALGO-LÓPEZ, 2003). De acordo com Padovan (2010), pode ser considerada uma planta lenhosa, sendo assim, classificada como angiosperma devido a produção de sementes e frutos, ao mesmo passo, são consideradas monocotiledôneas, justificada pela existência de raízes fasciculadas.

Os lenhosos são de porte mais elevados e apresentam semelhança com as árvores em termo de morfologia como raízes e rizomas, colmo, formação de galhos e folhas, propriedades e resistência (SOUZA, 2014).

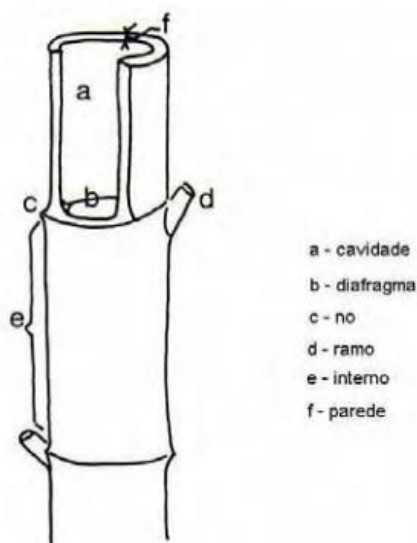
#### Colmo

Os colmos do bambu se caracterizam por ter a forma cilíndrica e por apresentar uma sequência de entrenós (internós) ocos separados transversalmente uns dos outros por diafragmas que aparecem externamente como nós, de onde saem ramos e folhas. Estes diafragmas é que fornecem maior rigidez, flexibilidade e resistência aos colmos. (JANSSEN, 1988).

Os colmos apresentam diferentes espessuras de parede, alturas, diâmetro e forma de crescimento, de acordo com a espécie a que pertençam. Portanto, enquanto alguns colmos alcançam pequenos centímetros de altura e poucos milímetros de diâmetro, arbustivos ou ornamentais, outros podem atingir alturas de até 30 m e diâmetros de até 30 cm (PEREIRA e BERALDO, 2008).

Segundo Pereira e Beraldo (2008), o colmo do bambu já nasce com o diâmetro que terão ao longo de sua existência, esse diâmetro maior na base e afina-se ao longo do seu comprimento, não se alarga conforme o passar do tempo, isto é, caracterizando-se por um formato de tronco de cone, diferentemente da maioria das espécies arbóreas. Aos quatro e/ou cinco anos de vida, atinge seu máximo diâmetro, onde a distância internós até o meio do colmo se expande, ao mesmo passo que o diâmetro diminui em direção ao topo, no qual atinge, em média de 20 a 35 cm, na maioria das espécies, representado na figura 2.

**Figura 2 - Representação gráfica do colmo**



**Fonte: Janssen (1988).**

A estrutura do bambu revela que ele é um material compósito, constituído de longas e alinhadas fibras de celulose, imersas em uma matriz de lignina (GHAVAMI et al., 2000).

De acordo com Da Silva (2007) a seção transversal de uma parede de bambu é formada por:

- Superfície exterior dura e lustrosa, Jassen (2000) comenta que o colmo é constituído externamente por duas camadas de células epidermes, cobertas por uma camada cutinizada, com concentração de sílica, material que confere muita resistência ao colmo e lhe serve de proteção, na natureza, contra os ataques de animais e exposição mecânica, qual evita parcialmente a perda de água do colmo.

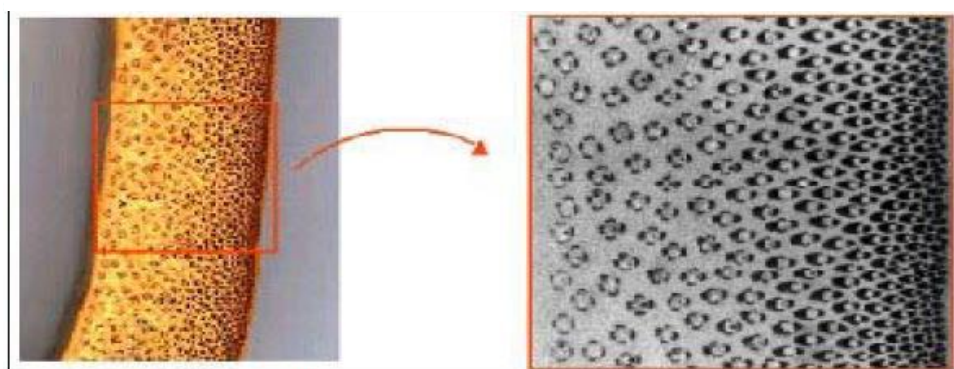
- Parênquima, tecido de preenchimento dos feixes vasculares e das demais regiões do caule da planta composta por células parenquimais, onde são armazenados os nutrientes (BANIK, 2015).

- Feixes vasculares, de acordo com Ghavami e Marinho (2004), integram os tecidos de condução de seiva e as fibras, para Fahn (1990), os feixes vasculares são compostos pelo floema, condutor de alimento, pelo xilema, condutor de água e sais, além do esclerênquima e do parênquima.

- Fibras de paredes grossas compostas de celulose. Esta região conhecida pelo nome de esclerênquima, que se caracteriza por ser o mais duro tecido vegetal, sendo formado por células delgadas e alongadas, mortas, com parede celular altamente lignificada (SCHULTZ, 1972), é a responsável pela resistência dos colmos, para Liese (1998), estão orientadas axialmente, paralelas ao eixo de crescimento e representam de 40% a 50% do tecido total do colmo e 60% a 70% de sua massa.

De acordo com a Figura 3, segundo Janssen (2000), na maioria das espécies, as fibras concentram-se na proporção de 60% na região próxima à casca e 10% na área interna do colmo.

**Figura 3 - Variação da fração volumétrica das fibras na espessura do colmo do bambu *Guadua angustifolia***



Fonte: Ghavami E Marinho (2005).

O comprimento médio das fibras varia entre 1,65 mm a 3,43 mm, conforme Tabela 1. (PEREIRA e BERALDO, 2008).

**Tabela 1 - Dimensão das fibras celulósicas de várias espécies de bambu**

Espécies	Comprimento (mm)	Dimensões das fibras	
		Largura/lúmen (micron*)	Espessura (micron*)
<i>Bambusa vulgaris</i>	3,43	15,41	3,73
<i>B. vulgaris v. vitatta</i>	2,98	16,21	3,43
<i>B. oldhami</i>	1,92	16,97	3,17
<i>B. nutans</i>	2,29	16,97	2,77
<i>B. tulda</i>	2,15	17,33	2,34
<i>B. beecheyana</i>	1,93	17,2	3,58
<i>B. stenostachya</i>	2,23	15,49	2,9
<i>B. tuldoides</i>	1,89	18,21	3,83
<i>B. textilis</i>	2,04	16,78	3,02
<i>B. ventricosa</i>	1,90	14,38	3,31
<i>B. maligensis</i>	2,07	14,79	3,45
<i>B. dissimulator</i>	2,32	15,89	3,38
<i>Dendrocalamus asper</i>	2,32	17,89	3,97
<i>D. strictus</i>	2,44	17,06	3,44
<i>D. latiflorus</i>	2,22	18,17	4,33
<i>D. giganteus</i>	3,08	19,10	5,66
<i>Guadua amplexifolia</i>	1,69	14,47	3,28
<i>G. superba</i>	1,94	14,22	2,14
<i>G. spinosa</i>	1,65	14,57	3,10
<i>G. andustifolia</i>	1,93	16,04	2,12

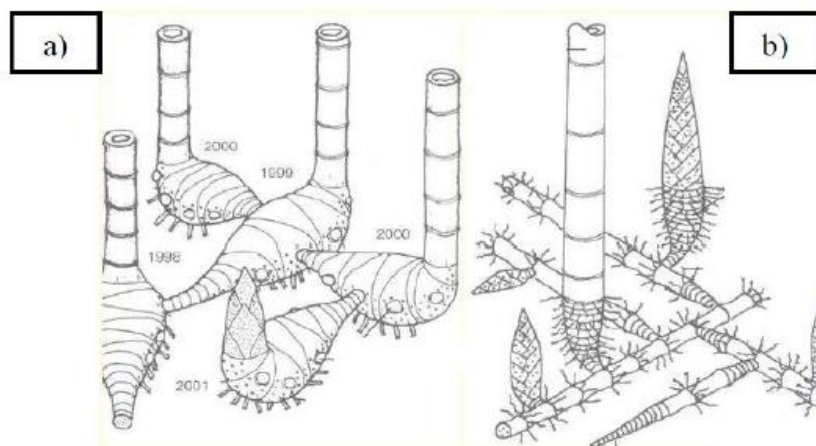
Fonte: Pereira E Beraldo (2008).

## Rizoma

O rizoma exerce um papel fundamental no desenvolvimento do bambu, não só como um armazenador de nutrientes para posterior distribuição, mas também como órgão responsável pela propagação do bambu. O crescimento de novos colmos é totalmente dependente da nutrição fornecida pelo rizoma e pelos colmos mais velhos. O nascimento de novos colmos, anualmente, se efetua assexuadamente por ramificação destes rizomas. Esta ramificação ocorre de duas maneiras distintas, dando origem aos dois principais grupos de bambu: o grupo do tipo moita, onde os colmos nascem e se desenvolvem agrupados uns aos outros e o grupo de bambu do tipo alastrante, onde os colmos nascem e se desenvolvem separados uns dos outros, demonstrado na Figura 4 (PEREIRA, 2012).



**Figura 4 - Representação gráfica dos dois tipos distintos de rizomas: a) grupo tipo moita; b) grupo tipo alastrante.**



**Fonte: adaptado de Targa (2011).**

## **4.2 Propriedades físicas, químicas e mecânicas do bambu**

### **4.2.1 Propriedades Químicas**

De acordo com Liese (1998) e Hidalgo-Lopez (2003), as propriedades físicas e mecânicas dos bambus estão correlacionadas com as suas propriedades químicas e anatômicas, destacando-se o teor de lignina e a espessura das paredes celulares, semelhante a madeira, exceto por extratos alcalinos, cinzas e sílica, que predominam no bambu. Dessa maneira, por Costa (2004), os principais constituintes químicos dos colmos de bambu são a celulose (55%), holocelulose e lignina (25%) e, em menor escala, estão presentes as resinas, tanino (ácido tânico), ceras e sais orgânicos, afirmam Pereira e Beraldo (2008).

Conforme Pereira e Beraldo (2008) uma das principais características do bambu, relacionada à sua composição química é a presença de amido em seu tecido parenquimatoso. O amido, fórmula  $(C_6H_{10}O_5)_n$ , forma-se como resultado da atividade celular dos vegetais clorofilados e serve de estoque alimentar, ele atinge seu máximo nos meses mais secos antes da estação chuvosa e é um grande atrativo a organismos xilófagos (MISKALO, 2009).

Na tabela 2 apresenta-se a comparação da composição química do bambu, do eucalipto e do pinus (BERALDO E AZZINI, 2004 apud PEREIRA E BERALDO, 2008).

**Tabela 2 - Análise química de Bambusa Vulgaris, Eucalyptus saligna e Pinus elliottii**

Determinações	<i>B. Vulgaris</i> (%)	<i>E. saligna</i> (%)	<i>P. elliottii</i> (%)
Celulose	49,2	54,6	55,5
Lignina	14,5	25,5	26,0
Pentosanas	22,3	16,4	7,1
Solubilidade em soda a 1%	33,4	14,8	16,9
Solubilidade em água quente	15,0	1,6	3,8
Solubilidade em álcool-benzeno	5,2	1,4	6,7
Cinzas	1,8	0,3	0,3

Fonte: Beraldo e Azzini (2004) Apud Pereira e Beraldo (2008).

#### 4.2.2 Propriedades Físicas e Mecânicas

Diversos aspectos têm sua influência nas características mecânicas do bambu, sendo eles: espécie, idade, tipo de solo, condições climáticas, época de colheita, teor de umidade das amostras, localização das mesmas em relação ao comprimento do colmo, presença ou ausência de nós nas amostras testadas e tipo do teste aplicado (GHAVAMI, 1989).

O bambu se destaca no quesito produtividade, quando em comparação ao reino vegetal, não há nenhum outro adversário, isso devido sua alta resistência mecânica estrutural, obtida dois anos e meio após sua germinação. Somam-se às características favoráveis uma forma tubular acabada, estruturalmente estável, um baixo peso específico, uma geometria circular oca, otimizada em termos da razão resistência mecânica/peso do material (PEREIRA E BERALDO, 2008).

Incompatibilidades estão associadas à inserção do bambu na construção civil devido à falta de normas relacionadas ao material, sendo que na maioria das vezes utiliza-se de metodologias diferentes, análogas à de madeiras maciças, dessa maneira, surge-se divergências na obtenção de resultados e comparações (OBERMANN; LAUDE, 2008).

Assim, sabendo-se que o conhecimento das normas é importante não apenas para o uso seguro, mas também para a divulgação de um material, o International Network for Bamboo and Rattan, INBAR (1999), usou os resultados dessas pesquisas mundiais e propôs normas para a determinação das propriedades físicas e mecânicas dos bambus. As normas propostas foram analisadas pelo International Conference of Building Officials e publicadas no

relatório AC 162: Acceptance Criteria for Structural Bamboo, em março de 2000 (ICBO, 2000).

De acordo com Hidalgo-López (2003), analisando resultados de vários pesquisadores, fez menção às partes do colmo que devem ser consideradas em qualquer estudo, uma vez que estas partes possuem resistências distintas, como segue:

- Colmo inteiro: as propriedades mecânicas variam da base ao topo do colmo. Ao fragmentar a altura útil de um colmo em três partes, na maioria dos casos a parte superior é mais resistente em compressão e flexão do que as partes centrais e inferiores. A parte central, que possui os maiores internós é mais resistente em tração, enquanto que a parte inferior do colmo apresenta geralmente menores valores de resistência mecânica.

- Internó: Em um interno, as fibras são mais curtas próximas ao nó e mais longas no centro do internó, conseqüentemente a parte mais resistente corresponde à região central. Segundo o mesmo autor, que realizou testes com a espécie *Phyllostachys pubescens* (bambu moso), utilizando corpos de prova cilíndricos (colmo natural) com a presença de nós tem conduzido a valores de resistência mecânica inferiores àqueles de corpos de prova sem os nós. Os seguintes valores de redução foram observados: 19 % na tração, 6,4 % na compressão, 3,9 % na flexão e 6,9% no cisalhamento. Observou-se aumento apenas na tração transversal.

- Parede do colmo: A massa específica aparente e as resistências à tração e à compressão da parede do colmo aumentam da parte interna para a externa, em consequência, a região mais resistente é o terço externo, e a mais fraca, o terço internó.

#### **4.2.2.1 Propriedades Físicas**

As propriedades físicas do bambu, de interesse na engenharia de estruturas, são: massa específica, umidade natural, absorção de água, variações dimensionais e coeficiente de dilatação. Estas propriedades alcançam melhores condições de resistência quando utilizados colmos maduros e secos (PADOVAN, 2010).

### **a) Massa específica aparente**

A massa específica dos bambus varia de 500 a 800 kg/m<sup>3</sup>, segundo Liese (1998), e está relacionada ao tamanho, quantidade e distribuição das fibras ao redor dos feixes vasculares. O autor comenta que, na parede do colmo, a massa específica aparente aumenta da parte interna para a externa, pelo fato de existirem feixes vasculares menores, mais densos e menor quantidade de tecido básico na camada externa, sendo que 50% das fibras encontram-se na terça parte mais externa da parede do colmo, sendo esta, portanto, a região mais resistente. Essas diferenças, entre as camadas interna e externa da parede são maiores na parte basal do colmo e menores mais perto do topo, devido ao aumento da massa específica aparente na parte interna e redução na espessura da parede, que apresenta internamente menos parênquima e mais fibra. O autor explicou, ainda ser a região nodal mais densa que as outras devido a um acúmulo de vasos e fibras e, conseqüentemente, maior compressão entre eles.

Entretanto, Sharma e Mehra (1970) apud Hidalgo-López (2003), esclareceram que, apesar desse aumento da massa específica aparente nos nós, suas resistências a compressão, flexão e tração, são menores que os internós. Ainda assim, Hidalgo-López (2003) explicou que na parte superior do colmo, por conta do menor número de vasos condutores, e conseqüentemente uma maior cobertura de fibras, a massa específica aparente é maior, apresentando maior resistência à flexão e compressão.

### **b) Umidade**

Varia de acordo com a espécie de bambu, entre colmos individuais de uma mesma espécie e entre partes de um mesmo colmo, sendo influenciada pela idade do colmo e a época de corte. Colmos imaturos possuem mais umidade que os maduros e colmos verdes (recém cortados) podem ter umidade entre 40 e 150 %. Colmos jovens contém umidade relativamente constante ao longo do comprimento, enquanto em colmos maduros, a umidade é maior na base e decresce em direção ao topo. Os internós contém mais umidade que os nós e através da parede do colmo a umidade é maior internamente e diminui em direção a casca. (HIDALGO-LÓPEZ, 2003)

Beraldo et al. (2003), explicam que, após o corte do colmo, torna-se necessário um período de um a quatro meses de secagem ao ar, para que o

bambu atinja uma umidade de 10-15%, percebendo assim a importância da secagem, no qual permite-se reduzir consideravelmente a massa do colmo, o que, além de facilitar seu transporte, proporciona uma melhoria em suas propriedades mecânicas. A secagem se torna uma operação indispensável para as etapas seguintes de processamento do bambu, tais como, a colagem e a composição com outros materiais.

Hidalgo-López (2003) comentou que o ponto de saturação de fibras em madeiras está situado entre 28 e 30 %, enquanto que nos bambus este valor está compreendido entre 13 e 20%, conforme a espécie.

### **c) Variação dimensional**

De acordo com Beraldo et al. (2004), constataram-se incompatibilidades ligadas as variações dimensionais lineares, em relação a um eixo geométrico, quando o bambu é submetido à secagem. Em relação ao eixo longitudinal, as variações são desprezíveis, entretanto as variações tangenciais e radiais possuem valores próximos e relevantes.

Essa retração se dá, devido a higroscopicidade dos extrativos presentes nas células de parênquima, que faz com que água seja absorvida pelo colmo seco LIESE (1985).

Importante salientar que, de acordo com Lima Jr et al. (1999), o bambu em contato com concreto fresco, faz com que o colmo absorva água do amassamento, aumentando assim suas dimensões, entretanto após a cura (endurecimento do concreto) a água absorvida é liberada, retornando as condições iniciais. Isso conseqüentemente compromete a interação entre os materiais, na Figura 3 aponta-se algumas propriedades físicas de bambu, segundo espécie.

**Tabela 3 - Propriedades físicas de algumas espécies de bambu**

Bambu	Massa Específica (kg/m <sup>3</sup> )			Variações dimensionais (%)			
	Saturado	seco	anidro	Radial 1	tangencial	axial	Volumétrica
<i>D. giganteus</i>	1110	790	760	5,5	6,2	0,5	12,6
<i>B. v. vittata</i>	1210	570	560	9,1	7,5	0,4	17,8
<i>B. tuldoides</i>	1100	660	650	11,7	8,9	0,4	22,2
<i>P. purpuratta</i>	1150	590	590	9,8	8,0	0,5	19,2
<i>Phyllostachys sp</i>	1080	600	580	6,9	6,7	0,6	14,8
<i>P. viridis</i>	1090	750	730	8,0	8,1	0,4	17,1

Fonte: Beraldo e Zoulalian (1995).

#### 4.2.2.2 Características Mecânicas

##### a) Compressão Paralela às Fibras

Em vários aspectos, bem como: espécie, idade, tipo de solo, condições climáticas, época de colheita, teor de umidade das amostras e sua localização em relação ao comprimento do colmo, presença de nós nas amostras testadas, tem suas interferências nas propriedades mecânicas do material (GHAVAMI, 1989 apud GHAVAMI; MARINHO, 2005).

Considera-se também a forma do colmo, possuindo forma cônica e dimensões irregulares, e as direções das forças aplicadas, perpendiculares ou paralelas às fibras (DULKELBERG, 1996). Dessa maneira, origina-se uma série de impasses, onde Pereira e Beraldo (2007), afirmam que ao ensaiar colmos com pequenos diâmetros, é necessário realização de testes com mais de dois nós, Beraldo et al (2004) sugerem que ensaios com bambus de maior diâmetro possuem resultados mais precisos.

Além disso, de acordo com o mesmo autor citado anteriormente, comenta-se que a deformação do corpo de prova é variável, dependendo da posição do extensômetro, tanto nas camadas internas ou externas do colmo, quanto na

parte próxima ao nó, posto que nas camadas externas sua deformação é menor que a camada interna, devido a diferença anatômica do elemento.

Dulkelberg (1996), comentou que, nos testes de compressão, os nós têm influência maior quando as cargas são concentradas na direção perpendicular às fibras do colmo, ampliando a resistência em 45%, em relação às seções sem nós. Se uma carga de compressão é aplicada paralelamente à fibra, os valores da resistência das seções do colmo, incorporando os nós, são cerca de 8% superiores às seções sem os nós.

Desta forma, de acordo com Beraldo et al (2004), o módulo de elasticidade obtido nas camadas externas do colmo compõe valores 3 vezes maiores que a média da espécie, cujo autor, a curva tensão-deformação é quase uma reta e sua resistência varia de 20 a 120 MPa, e seu módulo de elasticidade varia de 2,6 a 20 GPa.

Ghavami e Marinho (2005) realizaram testes com colmos inteiros, da espécie *Guadua angustifolia*, obtendo resultados para resistência à compressão, módulo de elasticidade e coeficiente de Poisson, das partes basal, central e topo, apresentados na Tabela 4.

**Tabela 4 - Resistência do bambu (espécie *Guadua angustifolia*) inteiro à compressão, módulo de elasticidade e coeficiente de Poisson em diversas partes do colmo**

Parte do bambu	Resistência à compressão $\sigma_t$ (MPa)	Módulo elasticidade-E (GPa)	Coef. Poisson $\mu$
Base sem nó	28,36	14,65	0,27
Base com nó	25,27	9,00	0,56
Centro sem nó	31,77	12,25	0,36
Centro com nó	28,36	12,15	0,18
Topo sem nó	25,27	11,65	0,36
Topo com nó	31,77	15,80	0,33
Valor médio	29,48	12,58	0,34
Varição	25,27-34,52	9,00-16,80	0,18-0,56

Fonte: Ghavami e Marinho (2005).

Beraldo (1987) encontrou valores de 55 MPa e 65 MPa para amostras cilíndricas das espécies *Phyllostachys sp* e *Phyllostachys purpuratta*. Segundo Pereira e Beraldo (2008), apesar de muito variável, em função das espécies

estudadas pelos diferentes autores, as resistências são muito superiores ao concreto convencional, da ordem de 15 a 20 MPa.

### b) Tração Paralela às Fibras

Conforme Pereira e Beraldo (2008), considera-se a resistência à tração do bambu cerca de 4 vezes maior que os resultados obtidos nos ensaios à compressão, tornando satisfatória a substituição do aço pelo bambu, tendo em conta, sua razão entre resistência a tração e massa específica aparente. Segundo o autor, a resistência à tração na espécie *Guadua angustifolia Kunth*, em experimentações com réguas de bambu, alcançou o valor máximo de 350 MPa e mínimo de 180 MPa.

Teoricamente, a resistência da região externa do bambu, submetido à tração paralela, pode atingir valores da ordem de 260 MPa (ONU, 1972). A resistência à tração é de 2,5 a 3,5 vezes daquela obtida em ensaios de compressão (SCHNIEWIND, 1989).

Apesar da resistência do bambu à tração não depender da região do colmo onde foi efetuada a amostragem (GHAVAMI & HOMBECK, 1981), ela pode ser reduzida consideravelmente pela presença de nós (HIDALGO-LÓPEZ, 1974), de acordo com a Tabela 5.

**Tabela 5 - Resistência do bambu (espécie *Guadua angustifolia*) inteiro à tração, módulo de elasticidade e coeficiente de Poisson em diversas partes do colmo**

Parte do bambu	Resistência à tração	Módulo Elasticidade-E	Coef.
	$\sigma_t$ (MPa)	(GPa)	Poisson $\mu$
Base sem nó	93,38	16,25	0,19
Base com nó	69,88	15,70	-
Centro sem nó	95,80	18,10	0,25
Centro com nó	82,62	11,10	-
Topo sem nó	115,84	18,36	0,33
Topo com nó	64,26	8,0	-
Valor médio	86,26	14,59	0,26
Variação	64,26-115,84	8,0-18,36	0,19-0,33

Fonte: Ghavami e Marinho (2005).

Tsutsumoto (2016), em sua pesquisa realizou ensaios em bambus da espécie *Bambusa vulgaris*, a fim de comparar a resistência a tração em taliscas



de bambus dotadas de reforço colado com resina à base de óleo de Mamona com taliscas sem nenhum tipo de reforço. A tabela 23 demonstra os valores obtidos.

**Tabela 6 - Valores médios das Tensões de Ruptura à Tração (em MPa)**

	Taliscas sem reforço	Taliscas com reforço colado com Resina à base de óleo de Mamona (RM)
Tensão de Ruptura à Tração (MPa)	103,5	137,5
Desvio Padrão (MPa)	± 15,5	± 17,9

Fonte: Tsutsumoto (2016).

### **c) Flexão Estática**

Beraldo et al (2004) comentaram que o comportamento à flexão estática do bambu, como um todo ou de seus segmentos, é muito importante na análise estrutural e vários trabalhos experimentais foram desenvolvidos para estabelecer este tipo de resistência. Em geral, os resultados observados na literatura disponível situam a resistência do bambu à flexão estática entre 30 e 170 MPa. Esta variação deve-se não apenas à sua própria resistência à flexão estática, mas também pode ser causada pelo tipo de teste de flexão e pelo tamanho da amostra usada na execução dos testes. O módulo de elasticidade dos colmos de bambus estudados na flexão, usando segmentos do bambu, variou entre 6,0 a 14,0 GPa, e sua resistência à flexão variou de 57,0 a 133,0 MPa.

Bauman (1912) apud Hidalgo-López (2003) forneceu os valores da resistência à flexão para corpos de prova cilíndricos que se varia entre 72 MPa nas partes mais internas da parede e de 276 MPa nas partes mais externas da parede.

Outra característica notável do material é que este não sofre deformações permanentes quando tem cargas aplicadas durante longos períodos de tempo, ou seja, não apresenta flechas decorrentes de sua fluência, característica muito comum na madeira (JANSSEN, 2000).

#### **d) Resistência ao cisalhamento**

O bambu apresenta limitada resistência ao cisalhamento na direção paralela. Isso se deve ao fato de as fibras serem unidas umas às outras unicamente por elementos naturais colantes e o descolamento das fibras iniciar-se mesmo com baixos valores de tensão (PADOVAN,2010).

Beraldo et al. (2004) afirmaram que a resistência ao cisalhamento transversal às fibras do bambu situa-se em torno de 30% de sua resistência à flexão, ou seja, em torno de 32 MPa (variação entre 20 MPa e 65 MPa), e sua resistência ao cisalhamento longitudinal às fibras situa-se em torno de 15% de sua resistência à compressão, ou seja, em torno de 6 MPa, com variação de 4 MPa a 10 MPa.

### **4.3 Manejo do Bambu**

#### **4.3.1 Tratamentos**

Na composição do bambu, encontram-se as células denominadas parênquimas, que têm como fonte de reserva polímero de amido, que se torna suscetível ao caruncho e fungos após o corte, assim sendo é fundamental o bambu passar por algum tratamento para garantir sua durabilidade (LIESE 1998).

Para Janssen (2000), os bambus tratados tem vida útil semelhante à de madeiras de reflorestamento, estendendo-se por vários anos, para o autor o bambu não tratado em contato com solo, dura de 4 a 6 anos, e em áreas livre, de 10 a 15 anos.

Os métodos mais utilizados para tratamento do bambu são divididos em 3 tipos, sendo eles: a) Métodos tradicionais, b) Métodos Químicos; c) Tratamento sob pressão.

#### **a) Métodos Tradicionais**

##### **Cura na touceira**

Segundo Pereira (2008), após o corte do colmo, mantém-se o mesmo ainda na posição vertical, com folhas e ramos – até estes caírem -, na touceira,

no qual faz-se com que a assimilação da seiva continue reduzindo o teor de amido presente. Dessa forma, como não ocorre mais a fotossíntese, existe um consumo de amido localizado nas células parenquimatosas, a diminuição da concentração de amido, faz com que a presença de carunchos e fungos seja menor.

### **Cura pela imersão de água**

Ao imergir na água os colmos, visa-se reduzir ou eliminar o amido presente, através da fermentação biológica anaeróbica, (ausência de ar), a duração de imersão leva de 4 a 7 semanas, essa redução/ eliminação de amido, minimiza-se e evita o ataque de carunchos. Uma melhor eficiência, do método se dá na imersão total do colmo e em água corrente (BERALDO E PEREIRA, 2008).

### **Cura pela ação do fogo**

Elimina-se a seiva por exsudação, através de aquecimento direto nos colmos recém cortados. O aquecimento provoca degradações nos componentes químicos do amido, tornando menos atrativo ao caruncho (BERALDO E PEREIRA, 2008).

### **Cura pela ação da fumaça**

Conforme Beraldo e Pereira (2008), processo semelhante ao da defumação de alimentos, aumenta-se a vida útil do mesmo. Devido à a ação do calor e da fumaça, formam-se produtos tóxicos na superfície externa dos colmos, além da degradação do amido, tornando-o menos atraentes para os organismos externos.

## **b) Métodos Químicos**

### **Imersão em solução de sais hidrossolúveis**

Deve-se imergir totalmente os colmos secos na solução preservativa, a qual poderá ser composta por um dois ou mais sais hidrossolúveis. Uma formulação recomendada (kg de sal/litro de solução) é: sulfato de cobre (1%) + dicromato de sódio (1%) + ácido bórico (1%). Após o tratamento, as peças devem ser armazenadas em local protegido, por vários dias, para que ocorra a

dispersão do produto, de duas a quatro semanas em temperatura ambiente (BERALDO E PEREIRA, 2008).

### **Substituição da seiva por sais hidrossolúveis através da transpiração**

Colocam-se os colmos com dimensões não maiores que 2,50 m, dispostos verticalmente em um tambor, submersos 0,80 m em uma solução que pode ter a mesma formulação descrita acima, por um período aproximado de sete dias; logo após, devem ser invertidos, permanecendo por igual período. Após o tratamento, os colmos devem ser empilhados à sombra durante 30 dias, protegidos da chuva (Pereira e Beraldo, 2008).

### **Produtos oleosos – Creosoto**

Produto mais utilizado no tratamento preservativo da madeira, o método implementado é o banho quente/frio. O banho quente (90°C) pode ser feito utilizando-se 3 tambores cortados horizontalmente e soldados, de tal modo a ser um tipo de cocho, no qual se aquece a região inferior do tambor, tendo duração de 2 a 3 horas. Após, executa-se o tratamento a frio, em temperatura ambiente, com duração de 4 horas, o elemento deve ser armazenado durante alguns dias para escoamento do excesso do produto, sendo assim, pronto para o uso (BERALDO E PEREIRA, 2008).

### **c) Tratamentos sob pressão**

#### **Autoclave**

Utiliza-se o mesmo equipamento para tratamento de madeiras usuais; no caso do bambu, deverá estar previamente tratado para evitar o ataque de insetos durante a secagem, assim como perfurado em seus internós para saída do ar durante a execução do vácuo. Esse método tem sido utilizado com grande sucesso em ripas e taliscas de bambus (Pereira, 2008).

#### **Método Boucherie modificado**

Segundo Pereira (2008), deve ser aplicado nos colmos recém-cortados, sendo que o intervalo de tempo máximo decorrido entre o corte do colmo deve ser o menor possível. A seiva ainda líquida do colmo recém-colhido é retirada por pressão (de 7 mca) e em seu lugar é colocado um produto preservativo, CCB

(borato de cobre cromatado), por exemplo, na concentração de 6%, que apresenta ação inseticida e fungicida.

#### **4.3.2 Armazenagem**

Bem como a maioria das madeiras, em local coberto, protegido do sol e chuva, com varas dispostas em camadas, com espaçamentos que permitam a circulação de ar entre os feixes e afastadas do solo (JANSSEN, 2000).

De acordo com Liese e Tang (2015), o bambu não tratado tem uma durabilidade de menos de um ano quando exposto a intempéries e em contato com o solo, quando coberto pode durar cerca de 4 a 5 anos. Esta durabilidade dependerá das condições do ambiente em que está inserido, sendo também influenciada pela sua espécie e uso. As condições tornam-se mais críticas quando o bambu se encontra dividido ao meio, já que o tecido parenquimático é mais vulnerável que os colmos. A parte inferior dos colmos é mais duradoura do que a parte intermediária e o seu topo, e a parte interior do colmo é atacada mais facilmente que a parte exterior. Durante sua armazenagem pode ainda haver ataque de fungos e conseqüente apodrecimento. Esse processo é demonstrado na figura 5.

**Figura 5 - Armazenagem dos colmos**



**Fonte: Dunkelberg (1996).**

#### **4.4 Bambu na Construção Civil**

Este vegetal vem sendo amplamente utilizado ao redor do mundo, porém nos países asiáticos, utiliza-se do material há milhares de anos. Na América do

Sul, a Colômbia destaca-se como país que mais investe na implantação desse material na construção civil. O Brasil, após a criação da Rede Brasileira do Bambu, recebeu grande atenção, devido à grande quantidade nativa no território nacional (GHAVAMI et al, 2017).

Algumas limitações quanto à sua geometria, variações dimensionais e durabilidade dificultam a utilização do material, porém estudos vêm fomentando o seu uso, através da confirmação do grande potencial econômico e social desta matéria prima (SILVA, 2005). Para Sharma et al. (2014), a vantagem de se processar o bambu é padronizar as seções para elementos estruturais e conexões. O bambu na sua forma natural é um material leve e de resistência que pode ser comparada ao aço e ao concreto, contudo sua aplicabilidade é restringida por ser um material de seções e propriedades heterogêneas.

O bambu pode ser utilizado não somente para pequenas casas, mas também para edificações maiores. Pontes com pequenos e grandes vãos livres já foram construídas utilizando o material, além de pilares, colunas e treliças.

Nesse âmbito, surge Elora Hardy, designer canadense-indonésia, e fundadora do escritório indonésio de arquitetura “Ibuku”, o qual planejou uma comunidade denominada “Green Village”, baseada em conceitos arquitetônicos sustentáveis, na região de Bali, Indonésia. No local, casas de bambu são projetadas e construídas em torno dos contornos naturais de cada lote. Em suma, o projeto busca provocar nas pessoas a possibilidade de uma experiência num ambiente luxuoso e confortável em meio à natureza, representado na Figura 6. Além disso, o escritório foi responsável pela concepção da “Millenium Bridge”, uma ponte de vão de 23 metros sobre um rio local, que abrange uma área de 70 m<sup>2</sup>, demonstrado na figura 7.

**Figura 6 - Casas projetadas pelo “Ibuku”**



**Fonte: Adaptado de Archdaily (2019).**

**Figura 7 - Vista lateral da Millenium Bridge em Bali, Indonésia**



**Fonte: Adaptado de Archdaily (2019).**

De acordo com Sharma et al. (2014), pontes de bambu para veículos já foram construídas na Colômbia e na China, são vastamente utilizados com fins estruturais na Etiópia, além de serem utilizados como andaimes na Índia, China e Hong Kong, como observa-se na Figura 8.

**Figura 8 - Andaime de bambu de camada simples**



**Fonte: Engenharia e Construção (2012).**

A produção recente de um derivado do bambu chamado Plywood (compensado de bambu), estendeu sua utilização para pisos, paredes e coberturas; ampliando assim o mercado. Segundo Rivero (2003), os painéis mais utilizados e produzidos são: contraplacados, painéis de partículas de bambu e o laminado colado de bambu, também conhecido na China como LBL (*Laminated Bamboo Lumber*). Para Pereira e Beraldo (2008), o bambu laminado colado é a aplicação mais promissora do bambu, pois associa a possibilidade de agregar valor à grande quantidade de produtos que podem ser confeccionados com este material, podendo substituir em muitos casos a utilização das madeiras.

Um dos principais exemplos do uso do Bambu Laminado Colado na construção civil é o Aeroporto Internacional de Barajas, localizado em Madri na Espanha, e projetado pelo arquiteto Richard Rogers. Na Figura 9 observa-se a estrutura curvilínea de aço e chapas de alumínio, forradas com ripas laminadas de bambu.



**Figura 9 - Cobertura do Aeroporto de Barajas, Madrid, composta por BLC**



**Fonte: Hoepers (2007).**

Segundo Padovan (2010), a evolução da engenharia em manipular o bambu, possibilitou maiores aplicações, usufruindo de uma melhor capacidade do material, surge-se assim edificações com arquiteturas de diferentes formas e arquiteturas, inclusive no Brasil, o Centro Cultural Max Feffer, localizado em Pardinho, estado de São Paulo, como demonstra a Figura 10.

Para o autor, novas tecnologias de cobertura com bambu manifestam a preocupação com a utilização de beirais de grandes dimensões, recurso utilizado para o afastamento das estruturas de bambu das chuvas e sol, os quais acarretam deterioração do material.

**Figura 10 - Cobertura do Centro Cultural Max Feffer, em Pardinho -SP**



**Fonte: Adaptado de ArcoWeb (2019).**

De acordo com Toledo Filho e Barbosa (1990), no Brasil, as espécies de bambu mais encontradas e adequadas para construção são: *Bambusa vulgaris* (demaior ocorrência, mas muito susceptível ao ataque de insetos); *Dendrocalamus giganteus* (bambu gigante); *Bambusa tuldoides* e *Bambusa arundinacea*. A espécie *gradua angustifolia*, apesar de ser praticamente desconhecida no Brasil (maior ocorrência na região Norte do país), representa um dos maiores potenciais para uso na construção, Quadro 1.

**Quadro 1 - Características das principais espécies de bambu para construção e produção de componentes**

Nome científico	Origem	Comprimento (m)	Diâmetro (cm)	Características E usos
<i>Arundinaria sp.</i>	Índia e Nepal	3,00~10,00	1,5~4,30	Trançados para painéis de casas; coberturas e ligações
<i>Bambusa balcooa</i>	Índia	15,20~21,30	7,60~15,20	Diversas aplicações na construção
<i>Bambusa arundinacea</i>	Índia	25,00~30,00	15,00~20,00	Paredes grossas
<i>Bambusa multiplex</i>	China	9,10	2,50	Entrenós longos e paredes finas; revestimentos para coberturas e painéis
<i>Bambusa nutana</i>	Índia	10,00~15,00	4,00~8,00	Uso geral na construção
<i>Bambusa polymorpha</i>	Índia, Paquistão Birmânia e Tailândia	15,20~24,30	7,60~15,20	Considerado um dos melhores bambus para painéis, pisos e coberturas
<i>Bambusa textilis</i>	China	14,10	5,00	Uso geral na construção
<i>Bambusa tuldoides</i>	China, Brasil, Malásia e El Salvador	19,10	5,00	Uso geral na construção
<i>Dendrocalamus asper</i>	Malásia, Indonésia Filipinas, Tailândia	30,50	15,20~20,30	Entrenós curtos, parede muito grossas na região basal do bambu
<i>Dendrocalamus giganteus</i>	Índia, Tailândia, Birmânia	24,30~30,50	20,30~25,40	Uso geral na construção

<b><i>Dendrocalamus latiflorus</i></b>	Tailândia, Taiwan e Filipinas	25,00	20,00	Espessura das paredes: 0,5–3,5 cm; uso geral na construção
<b><i>Bambusa angustifolia</i></b>	Brasil, Peru, Equador, Colômbia e Argentina ao Panamá	27,40	15,20	Entrenós relativamente curtos; espessura de até 2 cm; utilizado em todos os componentes das casas. Resistente ao ataque de fungos e insetos.
<b><i>Melocanna baccifera</i></b>	Índia, Paquistão e Birmânia	15,20-21,30	3,80~7,60	Entrenós de 30,48~50,80cm; peças retilíneas, paredes delgadas, porem fortes e duráveis. Material principal para construção de casas populares.
<b><i>Bambusa superba</i></b>	Brasil	22,8	12,7	Uso geral na construção

Fonte: Toledo Filho e Barbosa (1990)

#### 4.5 Bambu no concreto

Tendo em vista a crescente necessidade de aplicação de materiais renováveis e alternativos na construção civil, o bambu tem sido buscado para substituição do aço no concreto armado, e/ou reforços estruturais no mesmo. Ghavami (1995) recomendou o uso do bambu como reforço em peças estruturais de concreto, substituindo o aço. Segundo o autor as espécies preferíveis são *Bambusa vulgaris* e *Dendrocalamus giganteus*, respectivamente, com 170 MPa e 135 MPa de resistência à tração. De acordo com Lima Jr. et al. (2000) o bambu apresenta resistência à tração suficiente para trabalhar como reforço em estruturas de concreto armado.

Para Pereira e Beraldo (2008), o bambu dificilmente poderá substituir o aço, pelo fato de seu módulo de elasticidade ser apenas 10% do metal, ainda que nas melhores condições. Todavia, para obras secundárias, as quais não exista grandes esforços (vãos de até 3,5 metros) torna-se viável a aplicação do material.

Glenn (1950) citado por Ferreira (2002), sugeriu a porcentagem de 3% a 4% de área de bambu em relação à área da seção transversal da viga, para se atingir um ótimo desempenho do bambu no concreto. Para Raj (1991), citado por

Ferreira (2008), afirma que a porcentagem ideal está entre 1,5% e 8,33%, dependendo da estrutura, distribuição dos carregamentos, da carga última dimensionada e dos aspectos econômicos dos materiais.

Lima Jr. et al. (2005-II), desenvolveram um estudo experimental de vigas de concreto armado reforçadas com bambu, utilizando as duas variáveis: taxa de armadura longitudinal (1,6 e 3,2%) e a relação área/perímetro das varas de bambu (0,25 e 0,33 cm). Segundo o autor, a variabilidade de resistências à tração em regiões do colmo, provoca o colapso nas estruturas de concreto em regiões que não são as mais solicitadas, por consequência, gera-se dificuldades no dimensionamento, outrossim, devido a variação do módulo de elasticidade em diversos pontos ao longo do comprimento do colmo, acarreta-se em seções com baixa rigidez, originando maiores deformações, que por sua vez, fissuras formam-se com grandes aberturas, dessa forma, o autor recomenda a utilização de um maior área de bambu, ou seja, número de varas, nas regiões nodais e intermodais.

Analisou-se dez vigas, descritas na Tabela 7, para avaliar o comportamento estrutural das vigas de concreto reforçadas com taliscas de bambu e verificar se as teorias utilizadas no dimensionamento das estruturais usuais de concreto armado podem ser utilizadas para este tipo de material.

**Tabela 7 - Características das vigas analisadas**

Viga	Armadura	$A_r$ (cm <sup>2</sup> )	$A_{rn}$ (cm <sup>2</sup> )	$f_{cj14}$ (MPa)	S (MPa)	d (cm)	2P (kN)
1	Aço-2φ8	1,00	1,00	27,16	0,75	23,8	41,2
2	Aço-2φ8	1,00	1,00	27,11	0,20	23,9	39,83
3	Bambu2φ(2x1)	5,04	4,50	27,03	1,08	23,6	33,04
4	Bambu2φ(2x1)	5,21	4,50	26,26	0,48	23,7	32,90
5	Bambu4φ(1x1)	4,75	4,50	29,46	1,11	23,7	26,27
6	Bambu4φ(1x1)	5,03	4,50	28,97	1,13	23,7	28,66
7	Bambu4φ(2x1)	8,76	9,00	28,77	1,40	22,3	44,62
8	Bambu4φ(2x1)	9,42	9,00	28,56	1,67	22,6	58,53
9	Bambu8φ(1x1)	12,11	9,00	26,69	1,78	22,5	57,16
10	Bambu8φ(1x1)	11,40	9,00	27,73	0,80	22,3	58,06

Fonte: LIMA JR. et al (2005-II).

Onde, na Tabela 7:  $A_r$  é a área média do reforço;  $A_{rn}$  é a área calculada considerando-se apenas as regiões intermodais do reforço,  $f_{cj14}$  é a resistência a compressão média de concreto avaliada aos 14 dias,  $S$  é o desvio-padrão da amostra,  $d$  é a altura útil da seção transversal,  $2P$  é carga última aplicada na viga considerando as duas cargas pontuais.

Conforme Ferreira (2007) que cita Lima Jr. et al (2005-II), os resultados obtidos mais significativos foram:

- Nas vigas reforçadas com bambu, o colapso foi acarretado pela ruptura das taliscas, sempre na região nodal, dessa forma, a seção colapsada não necessariamente estava posicionada ao meio do vão teórico, mas sempre permaneceu na dentro de região de flexão pura;
- Constatou-se um maior número de fissuras nas vigas com armadura de bambu (3-10) do que as vigas de referência (1-2), uma vez que, nas vigas de referência revelou-se fissuras espaçadas em média a cada 10 cm e nas de bambu a cada 15 cm;
- A carga última nas vigas 3,4,5 e 6 for aproximadamente 25% menor em relação as vigas de referência, em razão do valor da resistência do bambu utilizado no cálculo ter sido o valor médio das resistências das regiões nodal e internodal, 187 MPa (maior do que o valor real);
- As vigas com 3,2% de taxa de armadura longitudinal apresentaram força última resistente, cerca de 80% superior às das vigas com 1,6%;
- As vigas de concreto reforçadas com aço apresentaram maior rigidez do que aquelas reforçadas com bambu;
- As vigas de concreto reforçadas com bambu obedeceram à teoria de Bernoulli-Kirchoff;
- Constatou-se a existência de compatibilidade de deformações entre o bambu e o concreto;
- Verificou-se que a relação área/perímetro não influenciou a capacidade de carga e a rigidez das vigas de concreto reforçadas com bambu.

Em construções rurais, os esforços presentes nas estruturas são geralmente inferiores as construções usuais, de tal modo que a aplicação de materiais compósitos ao concreto se torna atrativa, uma vez que se visa o

reaproveitamento de resíduos vegetais disponíveis em larga escala. Neste âmbito, partículas de bambu (lascas), podem ser inseridas no concreto. (PEREIRA E BERVALDO, 2008).

Oliveira, Gouveia e Teixeira (2014) avaliaram o comportamento de concreto estrutural com adição de fibras de bambu e de cana de açúcar. Nesta pesquisa as fibras de bambu possuíam comprimento médio de 4,5 centímetros e foram adicionadas à betoneira numa proporção de 2% e 5% à massa do concreto. Notou-se um acréscimo de 41,3% na resistência à compressão axial nas amostras com 2% de bambu, comparadas às amostras sem adição alguma.

Segundo Cunha et al (2017), em suas análises de resultados nos ensaios de resistência a compressão aos 28 dias, obteve: 18,3 MPa para o concreto de referência, 27,7 MPa para o concreto com adição da fibra de aço; e 26,2 MPa para o concreto adicionado com fibras de bambu. Tal resultado demonstra aplicabilidades para os diferentes tipos de fibra, sendo que a fibra de aço é a mais indicada para obras como, por exemplo, um piso industrial.

Para os ensaios à tração, para os concretos de referência, com fibras de aço e fibras de bambu, os valores obtidos foram 1,71MPa, 3,29MPa e 3,66MPa, respectivamente. Desta forma, nota-se que o concreto com adição de fibras se comporta melhor para obras que demandem uma resistência a tração.

Para Pereira e Beraldo (2008) no processo de fabricação do “bambucreto”, demonstrado na figura 11, utiliza-se de bambus maduros, onde de acordo com sua espécie já se tenha chegado ao período ideal para atingir uma melhor eficiência, cabendo ressaltar que se trata de uma material higroscópico, assim sendo, torna-se recomendável o uso de impermeabilizantes, entretanto, como consequência a aderência do material diminua em relação ao concreto, podendo afetar negativamente o desempenho do novo elemento. O autor sugere que após esse tratamento seja aspergido com areia grossa, visando aumentar sua rugosidade e sua aderência.

**Figura 11 - Viga de concreto armado com bambu**



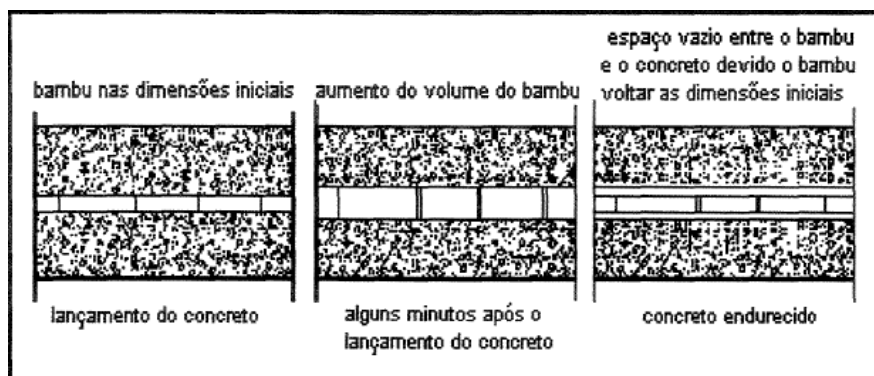
**Fonte: Ferreira (2007)**

#### **4.5.1 Complexidades da interação concreto/bambu**

##### **a) Absorção de água**

Segundo Ghavami (2005), o bambu em contato com o concreto fresco absorve água e assim têm suas dimensões aumentadas, após a cura do concreto ocorre-se o processo inverso, evaporando a água absorvida, dessa forma, reduz-se seu volume, acarretando em regiões vazias no concreto, dessa forma, por consequência, a eficiência da aderência do bambu sobre o concreto é prejudicada, como demonstra a Figura 12.

**Figura 12 - Variações dimensionais do bambu em contato com o concreto fresco**



**Fonte: Lima Jr. et Al (1999).**

Em ensaios de absorção, com bambu revestido superficialmente de uma camada de impermeabilizante, Ghavami (1995) verificou que o bambu tratado apresentou somente um teor de 4% de absorção de água após ter ficado submerso durante 96 horas em água potável.

Realizando testes com vários impermeabilizantes, Raj (1991), citado por Ferreira (2007), verificou que o bambu tratado com um material betuminoso apresentou um teor de absorção de água de apenas 9%, enquanto que o bambu sem o tratamento apresentou um teor de 45%. Para minimizar o inchamento e a posterior retração do bambu, o autor recomenda que a umidade das taliscas esteja entre 12% e 20%, e também enfatiza que a espessura da camada do impermeabilizante não pode ultrapassar o valor de 10 mm.

Em um estudo, Moraes e Melges (2013), concluíram que o látex natural apresenta o potencial de impermeabilizar o bambu, comparou-se corpos de prova: *in natura*, com três camadas de Neutrol®, e quatro camadas de látex natural extraídos de seringueiras, ao longo de 55 horas. Notaram que nesse período, o bambu manifestou 60% de absorção quando *in natura*, e aproximadamente 12% em relação aos dois tratamentos, o qual, dessa forma, concluiu-se que o tratamento do látex natural tem a mesma eficácia do Neutrol®.

## **b) Aderência**

Segundo Ferreira (2002), outro fator de importância é a pouca aderência do bambu no concreto, uma vez que essa depende principalmente do grau de saturação do colmo depois de endurecido o concreto, da extensão e proporção da retração dos colmos, das asperezas ou saliências do colmo, da proporção bambu/concreto e da variação de temperatura.

Alguns autores ao aplicar a impermeabilização do bambu (RAJ, 1991; GHAVAMI, 1995; GHAVAMI, 2005), constataram que isso pode prejudicar a sua utilização como reforço em peças de concreto, pois pode comprometer a aderência entre os dois materiais, devido a propriedade de aderência entre o bambu e o produto aplicado e, bem como deste com o concreto. Ghavami (2005) analisou a aderência de concreto com taliscas de bambu, tratadas com adesivo estrutural fluído à base de resina epóxi e impermeabilizante asfáltico disperso em água, com uma camada de areia na superfície, e outra com areia e arame. O autor observou que os tratamentos aumentaram a força de ligação entre o



bambu e o concreto, sendo o tratamento com adesivo estrutural fluído à base de resina epóxi apresentou melhores resultados, 5,29 vezes maior que as taliscas não tratadas.

Ferrão e Freire (1995) apud Ferreira (2002), testaram a espécie *Bambusa tuldooides*, em relação a aderência ao concreto, através do teste de arrancamento com 5 tratamentos físicos diferentes em varas de bambu em forma de taliscas, obtendo como melhores resultados o "piche/areia" (bambu à milanese) e "grampos de cerca". Tanto o grampo de cerca quanto o arame farpado desenvolvem excelente aderência com o concreto, fazendo com que as fibras do bambu fossem arrebatadas pelo arame farpado ou rasgadas pelos grampos. Taliscas de bambu, engastadas a 20 e 30 cm de profundidade no concreto, desenvolveram maior aderência do que aquelas engastadas com apenas 10 cm.

Mesquita et al. (2006) avaliaram o efeito da colocação de pinos nas taliscas analisando-se o tipo de pino (pino de aço e pino de bambu) a quantidade (um e dois). Os autores concluíram que as dimensões da seção transversal do bambu não têm influência na aderência bambu-concreto e que esta é diretamente proporcional a resistência à compressão do concreto de maneira linear. Em geral, a tensão de aderência de cálculo entre o bambu e o concreto foi apenas 20% inferior a tensão de aderência entre o aço liso e o concreto. Entretanto, a cravação de dois pinos de aço ou dois pinos de bambu nas varetas elevou a tensão de aderência em 80 e 50%, respectivamente. Ainda assim, notou-se que houve esmagamento da parede do furo pelo pino de aço, e esmagamento do pino de bambu e a parede do furo.

#### **4.6 Aderência**

Uma vez que a originalidade do material possui tal deficiência em contato com o concreto, conforme os autores citados no item 4.5.1 - b), é significativo o conhecimento perante as propriedades da aderência de barras, usualmente de aço no concreto, que, por sua vez, caracteriza-se pelo impedimento de escorregamentos da barra no concreto.

Conforme Bastos (2018), a essencialidade do concreto armado se dá pela aderência, que se responsabiliza pela transferência de esforços da barra de aço para o concreto e a capacidade do concreto resistir as tensões provenientes

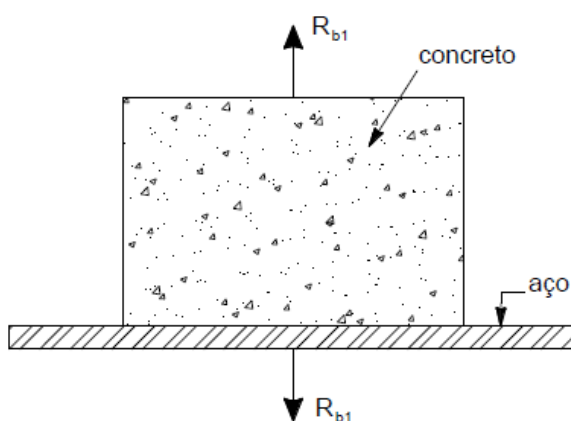
destes esforços. Essas particularidades são obtidas a partir de reações químicas e mecânicas, as quais, são a aderência por: adesão, atrito e mecânica. Todas respectivamente classificadas em três parcelas a fim de obter números representativos para o dimensionamento, uma vez que a determinação individual seria laboriosa.

#### 4.6.1 Tipos de aderência

##### a) Por adesão

Para Pinheiro e Muzardo (2003), esse tipo ocorre através de ligações físico-químicas, na área em contato entre a barra e a pasta (concreto), decorrentes das reações da pega do cimento, caracteriza-se, sobretudo por uma ligação “fraca”, pois mediante pequenos deslocamentos, se desfaz.

Figura 13 - Aderência por adesão



Fonte: Bastos (2018).

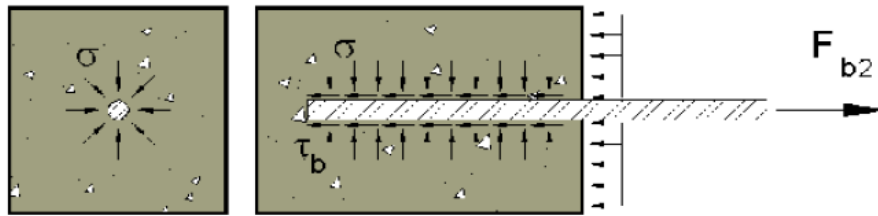
Conforme figura 13, segundo Bastos (2018), nota-se a representação deste tipo de ligação, que faz surgir uma resistência indicada pela força  $R_{b1}$ , que se contrapõem.

##### b) Por atrito

Através do arrancamento de uma barra de aço em um bloco de concreto, é possível notar a presença de uma força de arrancamento, segundo Pinheiro e Muzardo (2003), os autores relatam que a tal, chamada de  $F_{b2}$  é superior em comparação de  $R_{b1}$ , por Bastos (2018) ou  $F_{b1}$ . Essa amplificação da força se dá pela força de atrito, o qual se apresenta quando há o deslocamento relativo entre os materiais, diretamente dependente da rugosidade superficial do material e da

pressão transversal  $\sigma$ , oriunda da retração do concreto e de ações externas, representada pela figura 14.

**Figura 14 - - Aderência por atrito**

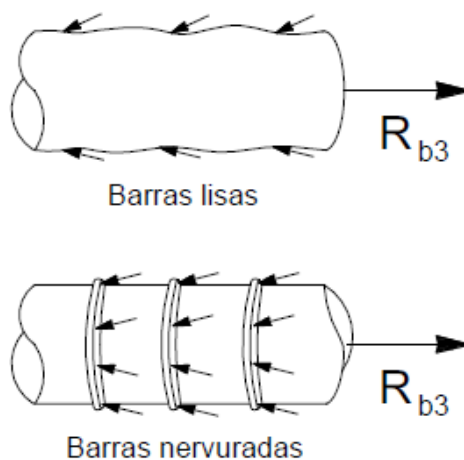


Fonte: Pinheiro e Muzardo (2003).

### c) Mecânica

Segundo Pinheiro e Muzardo (2003), devido ao formato superficial da barra (lisas e nervuradas), composta por saliências, promovem forças localizadas aumentando a aderência. Para Bastos (2018), tal relevo “irregular”, cria pontos de apoio no concreto, (figura 15), cujo tais provocam uma resistência quanto ao deslizamento da barra no concreto, segundo o mesmo autor, essa propriedade é a parcela mais importante que garante a aderência total do conjunto. Silva (2012), constatou que resistência mecânica do concreto é um dos fatores que mais influenciam a aderência entre aço e concreto. Em suma, quanto maior a resistência mecânica, maiores serão os esforços de aderência que o concreto poderá suportar na interface aço-concreto.

**Figura 15 - Aderência mecânica**

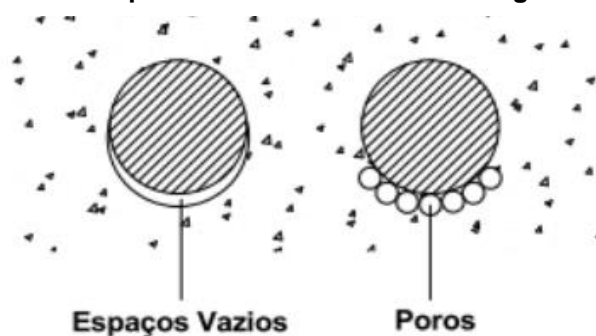


Fonte: Bastos (2018).

#### 4.6.2 Zonas de Aderência

Segundo Bastos (2018), ensaios experimentais constataram que barras de aço posicionadas na vertical possuem maior resistência que as em horizontais. As horizontais dependem da distância do fundo ou do topo da forma, isso se dá pois, devido ao adensamento e endurecimento do concreto, a sedimentação do cimento e essencialmente o fenômeno da exsudação. Esse fenômeno consiste na separação dos materiais do concreto, uma vez que a água tende a subir e se instalar na parte superior da forma, formando uma região de alta porosidade e de má aderência, e na parte inferior concentra-se os agregados e o cimento caracterizando-se uma região de boa aderência. Para Leonhardt & Mönning (1977), a segregação do concreto fresco faz um acúmulo de água sob as barras e após, o concreto utiliza-se dessa água para sua cura, provendo poros vazios na parte inferior das barras, como demonstra a figura 16.

**Figura 16 - Vazios provenientes do acúmulo de água nos poros**



**Fonte: Leonhardt & Mönning (1977).**

Conforme regiões dependentes da altura e inclinação, representadas na figura 17, temos:

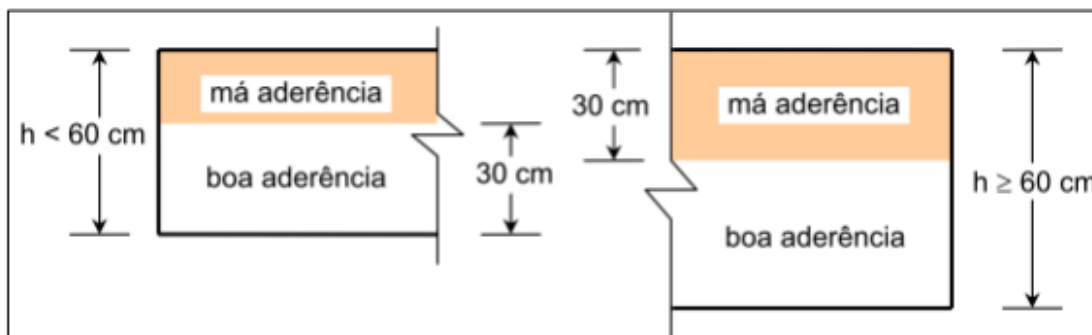
Consideram-se em boa situação quanto à aderência os trechos das barras que estejam em uma das posições seguintes:

- a) com inclinação maior que  $45^\circ$  sobre a horizontal;
- b) horizontais ou com inclinação menor que  $45^\circ$  sobre a horizontal, desde que:

- para elementos estruturais com  $h < 60$  cm, localizados no máximo 30 cm acima da face inferior do elemento ou da junta de concretagem mais próxima;

- para elementos estruturais com  $h > 60$  cm, localizados no mínimo 30 cm abaixo da face superior do elemento ou da junta de concretagem mais próxima. (ABNT NBR 6118, item 9.3.1).

Figura 17 - Situações de boa e má aderência



Fonte: Oliveira (2011).

#### 4.6.3 Ensaios de Aderência

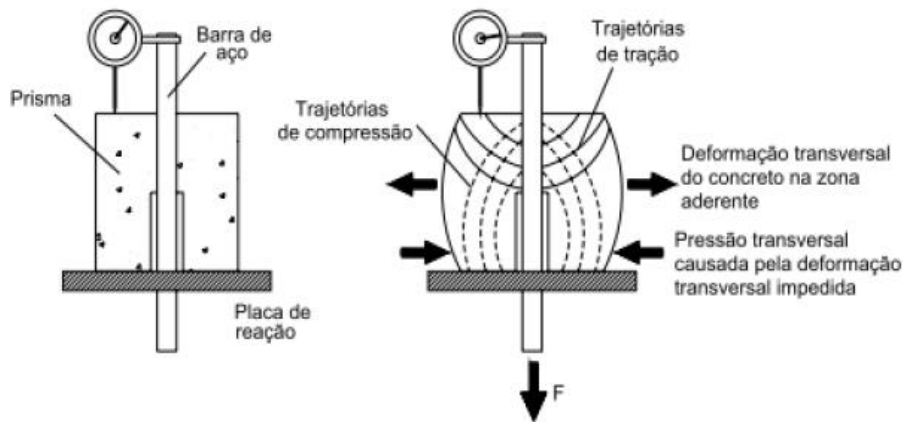
Há diversos ensaios para a determinação de valores médios universais de aderência entre a armadura de aço e o concreto, bem como:

- Arrancamento excêntrico (*cantilever bond test*);
- Arrancamento com anel circunferencial (*ring pull-out test*);
- Flexão (*beam test*);
- Extremo de viga (*beam end test*);
- Quatro barras;
- Tração direta;
- Ensaio de arrancamento direto (*pull-out test*).

Sendo o ensaio de arrancamento direto o mais comum para determinação da tensão de aderência.

Conforme Casagrande (2014), esse ensaio é normalidade pela RILEM/CEB/FIP RC6 (CEB, 1983) e recomendado pela ASTM. Compreende-se no arrancamento de uma barra de aço, a qual é posicionada no interior, (preferencialmente no centro com o intuito de uniformizar as tensões), de um corpo de prova de concreto, que é devidamente posto sobre placas de apoio em um equipamento de ensaio. Ambas as extremidades são projetadas para fora do corpo de prova, uma é aplicada a força de tração e outra mede-se o deslocamento vertical (deslizamento), representado na figura 18.

**Figura 18 - Ensaio de arrancamento direto (pull-out test) com representação das tensões formadas ao arrancamento.**



**Fonte: Leonhardt & Mönning (1977).**

Casagrande (2014), explica que diversas bibliografias contestam os resultados obtidos através deste teste, cuja metodologia não se apresenta coerente com a realidade em elementos estruturais, como vigas, uma vez que o concreto fica confinado nas placas de apoio durante a execução do ensaio. Impossibilitando a ocorrência de fissuração, a expansão transversal do corpo de prova, devido ao atrito com a placa de apoio e por consequência o confinamento da barra de aço. Entretanto, Barbosa et al (2013), constata que o teste é conexo com a realidade, embora deve-se tomar cautela com o comprimento de ancoragem e diâmetros de barras, visto que ensaios comparativos entre vigas e arrancamentos apresentam resultados pouco variados.

## **5 METODOLOGIA**

O programa experimental foi realizado com o propósito de determinar a resistência última de arrancamento de taliscas de bambu em corpos de prova de concreto, utilizando-se de diferentes materiais usados na bibliografia que visam aumentar a aderência do bambu no concreto, em virtude de sua deficiência na aderência. Outrossim, analisar e comparar, os resultados obtidos com a realidade, onde comumente utiliza-se das barras de aço.

Foram confeccionados, para o ensaio de resistência à tração:

- 8 corpos de prova de taliscas de bambu
- 3 corpos de prova de barras de aço

Para o ensaio de arrancamento, as taliscas foram imersas em corpos de prova de concreto, sendo elas:

- 6 taliscas com adesivo estrutural à base de resina epóxi
- 6 taliscas com adesivo estrutural à base de resina epóxi com a adição de camada de areia
- 6 taliscas sem tratamento

Foi-se utilizado 3 barras de aço de 8,0 mm aderidas no concreto para ensaio de arrancamento e mais 3 barras para ensaio de tração. Para o concreto, 6 corpos de prova foram produzidos para caracterização tecnológica do mesmo.

## **5.1 Materiais**

Os materiais empregados na presente pesquisa foram:

- Cimento: CP V ARI, (Cimento Portland de Alta Resistencia Inicial)
- Areia
- Brita
- Aço
- Bambu Brasileiro
- Água
- Adesivo Estrutural à base de resina epóxi

### **5.1.1 Caracterização dos materiais**

#### **a) Cimento**

O cimento utilizado foi CP V - ARI, de acordo com NBR 16697 (ABNT, 2018), em função da sua rapidez em atingir as resistências (altas) desejadas em pequenos intervalos de tempo (7 dias, usualmente), que por consequência agiliza o programa experimental.

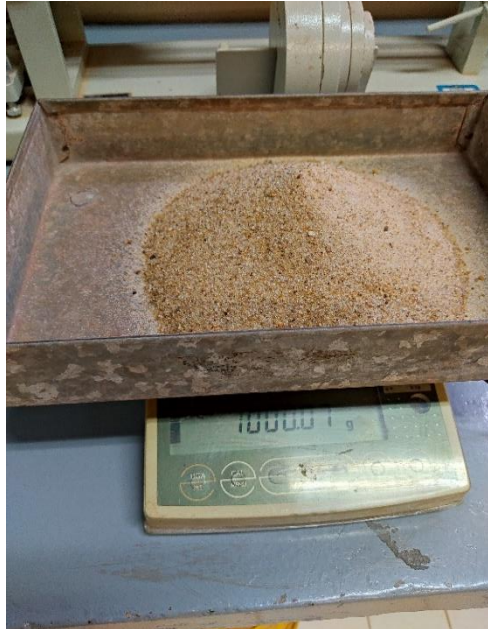
#### **b) Agregado Miúdo**

Disponível na instituição, o agregado miúdo foi caracterizado como areia fina segundo as instruções das normas vigentes:

- Composição granulométrica, conforme a NBR 7217 (ABNT, 1982):

Pesou-se 1 kg de areia utilizada, através de uma balança com capacidade mínima de 20g e sensibilidade de 1g, vide figura 19.

**Figura 19 - Pesagem da areia pela balança utilizada**



**Fonte: Aatoria Própria (2021).**

Seguidamente o agregado foi posto no peneirador automático, com as peneiras da série normal devidamente colocadas, conforme figura 20.

**Figura 20 - Peneirador automático**



**Fonte: Aatoria Própria (2021).**



A amostra foi peneirada de modo que seus grãos fossem separados e classificados em diferentes tamanhos. O peneiramento foi contínuo, de forma que após 1 minuto de agitação contínua, a massa de material passante pela peneira foi inferior a 1% da massa do material retirado. Posteriormente, o material retido em cada peneira foi separado e pesado, bem como, o fundo, para assim determinar os valores de dimensão máxima característica e o módulo de finura, por meio do último, classifica-se o agregado, como exibe a tabela 8:

**Tabela 8 - Classificação do agregado miúdo**

<b>Agregado</b>	<b>Módulo de Finura</b>
Muito Grosso	$MF \geq 3,90$
Grosso	$3,30 \leq MF < 3,90$
Médio	$2,40 \leq MF < 3,30$
Fino	$MF < 2,40$

**Fonte: NBR 7217 (1987).**

- Determinação da massa específica real ou absoluta do agregado miúdo por meio de frasco de Chapman (ABNT NBR 9776, 1987);

Conforme esta norma, após o agregado seco em estufa durante 24 horas, foi inserido 200 cm<sup>3</sup> de água, no frasco de Chapman, após adicionado 500g de areia cuidadosamente, como demonstra a figura 21.

**Figura 21 - Adição da areia no frasco de Chapman**



**Fonte: Autoria Própria (2021).**

Em seguida, foi realizado o movimento de vaivém, propiciando a saída de ar. Verificado a não existência de material aderido as paredes foi realizado a leitura (L), na escala graduada do gargalo.

Pela norma, a massa especifica absoluta é obtida pela fórmula (1):

$$\gamma = \frac{500}{L-200} \text{ em } g/cm^3 \quad (1)$$

Foi obtido o valor de L igual a 390 cm<sup>3</sup>, e dessa forma, utilizando-se da equação (1),  $\gamma$  equivale a 2,6315 g/cm<sup>3</sup>.

- Determinação da massa especifica aparente ou unitária no estado solto (ABNT NBR 7251, 1982).

Para a execução desse ensaio, utilizou-se um recipiente paralelepédico de base com comprimento de 299,4 mm e largura 195,9 mm, altura de 60,5 mm. Seguidamente foi enchido por uma concha numa altura de aproximadamente 10 cm, e ao término rasado o topo. O material é pesado com a balança tarada, executando-se o procedimento 3 vezes, conforme figura 22.

**Figura 22 - Pesagem do material**



**Fonte: Autoria Própria (2021).**

A massa específica aparente é a média das 3 determinações, dividindo-se o resultado pelo volume do recipiente, indicado na equação 2:

$$\gamma = \frac{\text{Média de massas}}{V \text{ do recipiente}} \quad (2)$$

Assim sendo, em seguida aos procedimentos, colheu-se os seguintes resultados, demonstrado na tabela 9:

**Tabela 9 - Resultados obtidos para massa específica aparente**

	<b>altura (mm)</b>	<b>comp. (mm)</b>	<b>larg. (mm)</b>	<b>Vol. (dm<sup>3</sup>)</b>
<b>forma</b>	60,5	299,4	195,9	3,548474
<b>peso 1 (kg)</b>	5,81			
<b>peso 2 (kg)</b>	5,725			
<b>peso 3 (kg)</b>	5,725		<b>densidade aparente (kg/dm<sup>3</sup>)</b>	
<b>Média (kg)</b>	5,753		<b>γ</b>	<b>1,621354</b>

Fonte: Autoria Própria (2021).

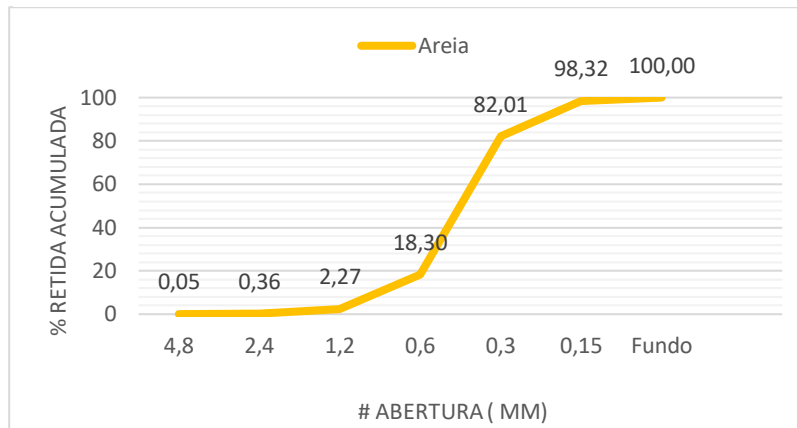
Os resultados da composição granulométrica, é demonstrado conforme tabela 10 e a figura 23:

**Tabela 10 - Resultados obtidos no ensaio de composição granulométrica da areia**

<b>peneira # (mm)</b>	<b>peso retido (g)</b>	<b>% retida</b>	<b>%retida acumulada</b>
4,8	0,46	0,046	0,046
2,4	3,12	0,312	0,358
1,2	19,09	1,909	2,277
0,6	160,32	16,035	18,302
0,3	637	63,712	82,014
0,15	163,07	16,310	98,324
Fundo	16,75	1,675	100
Total	999,81	100	301,313
<b>DMC (mm)</b>		<b>19 M.F.</b>	<b>2,013</b>

Fonte: Autoria Própria (2021).

**Figura 23 - Curva granulométrica do agregado miúdo**



**Fonte: Aatoria Própria (2021).**

### **c) Agregado Graúdo**

Disponível na instituição, o agregado graúdo foi caracterizado como brita 1 segundo as instruções das normas vigentes:

- Composição granulométrica, conforme NBR 7217 (ABNT, 1982);

De acordo com a norma, os materiais foram peneirados, separados e pesados. Semelhante ao procedimento com o agregado miúdo os valores foram tabelados. A dimensão máxima característica (D.M.C.) é obtida através da análise da coluna de % retida acumulada, o primeiro valor maior que 5% corresponde a tal abertura de peneira, o D.M.C. é igual a abertura de peneira imediatamente superior. Com a tabela obtém-se o módulo de finura (M.F.) e a classificação do agregado (tabela 11) a partir do D.M.C.

**Tabela 11 - Classificação do agregado graúdo**

<b>Agregado</b>	<b>Módulo de Finura</b>
Muito Grosso	$MF \geq 3,90$
Grosso	$3,30 \leq MF < 3,90$
Médio	$2,40 \leq MF < 3,30$
Fino	$MF < 2,40$

**Fonte: NBR 7217 (1987).**

- Determinação da massa específica aparente ou unitária no estado solto (ABNT NBR 7251, 1982).

Para a execução desse ensaio, bem como para o agregado miúdo, utilizou-se um recipiente paralelepípedo de base com comprimento de 299,4 mm e

largura 195,9 mm, altura de 60,5 mm. O procedimento foi-se executado da mesma forma, com representa a figura 24, e depois pesado e repetido 3 vezes.

**Figura 24 - Rasamento do agregado graúdo no recipiente para pesagem**



**Fonte: Aatoria Própria (2021).**

Os resultados da caracterização do agregado graúdo são apresentados a seguir, como indica a tabela 12,13 e a figura 25.

**Tabela 12 - Resultados obtidos no ensaio de massa especifica aparente**

	altura (mm)	comp. (mm)	larg. (mm)	Vol. (dm <sup>3</sup> )
<b>forma</b>	60,5	299,4	195,9	3,548474
<b>peso 1 (kg)</b>	5			
<b>peso 2 (kg)</b>	5,47			
<b>peso 3 (kg)</b>	5,66			
			<b>Densidade aparente (kg/dm<sup>3</sup>)</b>	
<b>Média (kg)</b>	5,510		γ	<b>1,55278</b>

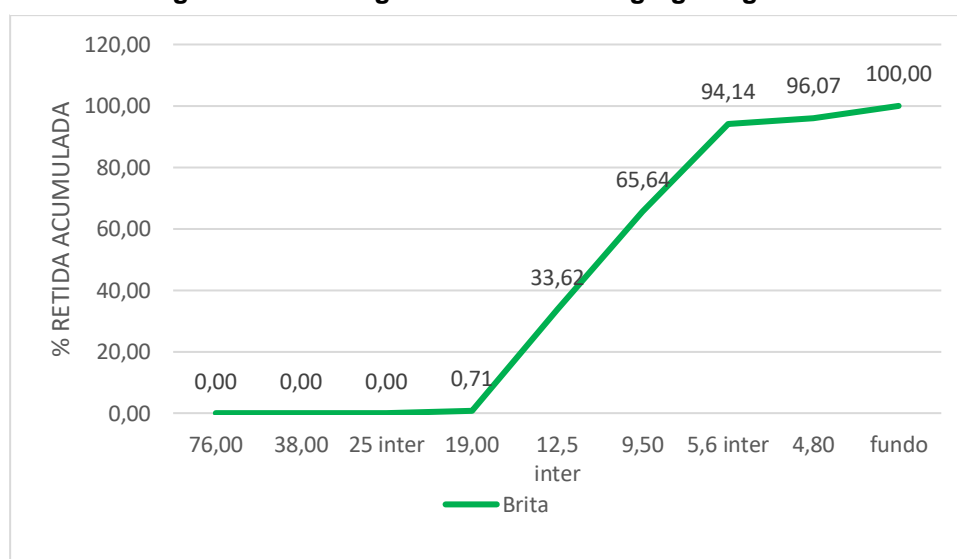
**Fonte: Aatoria Própria (2021).**

**Tabela 13 - Resultados obtidos no ensaio de composição granulométrica da brita**

peneira # (mm)	peso retido	% retida	%retida acumulada
<b>76,00</b>	0,00	0,00	0,00
<b>38,00</b>	0,00	0,00	0,00
<b>25(intermediária)</b>	0,00	0,00	0,00
<b>19,00</b>	7,08	0,71	0,71
<b>12,5(intermediária)</b>	328,97	32,91	33,62
<b>9,50</b>	320,06	32,02	65,64
<b>5,6 (intermediária)</b>	284,84	28,50	94,14
<b>4,80</b>	19,34	1,93	96,07
<b>fundo</b>	39,25	3,93	3,93
<b>Total</b>	999,54	100,00	294,11
		M.F.	1,62

Fonte: Autoria Própria (2021).

**Figura 25 - Curva granulométrica do agregado graúdo**



Fonte: Autoria Própria (2021).

#### **d) Armaduras**

Foram utilizadas barras de diâmetro de 8,0 mm, para execução dos ensaios de tração e arrancamento, de modo que fosse possível analisar a comparação entre os elementos de aço e bambu.

### e) Bambu

Para a confecção das taliscas de bambu, o presente trabalho utilizou o bambu local, o qual supõem-se ser da espécie *Bambusa vulgaris vittata*, conhecido no Brasil como bambu-imperial, originado da Ásia, têm sua ocorrência natural em todo o território do Brasil. Tem como características, segundo Souza (2014):

- Altura dos colmos: 8 a 20 m
- Diâmetro dos colmos: 5 a 10 cm
- Espessura das paredes: 7 a 15 mm
- Comprimento do entrenó: 25 a 35 cm

As amostras foram retiradas de uma propriedade rural, localizada no município de Campo Mourão, Paraná, conforme a Figura 26. De acordo com o proprietário, o bambu foi plantado há cerca de 10 anos.

**Figura 26 - Bambu da espécie *Bambusa vulgaris vittata***



**Fonte: Aatoria Própria (2021).**

### f) Água

Foi disponível do poço artesiano da instituição.

### **g) Adesivo estrutural à base de resina epóxi**

As taliscas que se utilizou o tratamento com o adesivo, representado na figura 27, foram adicionados adesivos estruturais nas extremidades ligadas ao corpo de prova de concreto, com a intenção de aumentar a aderência da região, bem como, Ghavami (2005) realizou.

Como determina o fabricante, a densidade do componente A+B (resina epóxi e cargas minerais + poliamina) é equivalente à  $1,80 \text{ g/cm}^3$  e devem ser misturados na proporção de 1:1.

**Figura 27 - Adesivo estrutural à base de resina epóxi da marca Vedacit®**



**Fonte: Aatoria Própria (2021).**

## **5.2 Métodos**

### **5.2.1 Preparação dos corpos de prova**

Para a preparação dos corpos de prova de bambu (taliscas) é necessário realizar um processo extenso. Uma vez que, como cita Liese (1998), sem tratamentos, o bambu sofre de ataques de insetos, podendo condenar suas características mecânicas, entre outras.



### a) Corte e Tratamento

O processo inicia-se com o corte dos colmos, extraídos de uma propriedade rural local, como já dito. Este procedimento consistiu no corte do colmo utilizando-se de uma foice, uma vez que a tentativa de se usar o serrote foi fracassada. Foram escolhidos os colmos preferencialmente sem imperfeições visíveis, e nas regiões intermediárias dos colmos, como demonstram as figuras 28 e 29.

**Figura 28 - Corte com foice**



Fonte: Autoria Própria (2021).

**Figura 29 - Corte dos colmos**



Fonte: Autoria Própria (2021).

Posto que o tratamento selecionado foi o método tradicional de imersão em água, foi-se necessário, uma vez que a água deve penetrar no interior do colmo, cortar as amostras em formato X (utilizando-se da foice), conforme figura 30, de tal forma que a imersão e o alcance da água fossem por completo no material, restando assim, não mais um colmo, mas tiras de bambu, como representado nas figuras 31 e 32.

**Figura 30 - Corte em X dos colmos**



**Fonte: Aatoria Própria (2021).**

**Figura 31 - Corte em tiras dos colmos**



**Fonte: Aatoria Própria (2021).**

**Figura 32 - Corte em tiras dos colmos**



**Fonte: Aatoria Própria (2021).**

Após esse procedimento, foi-se agrupadas e amarradas as tiras e depositadas em uma represa com água corrente, a fim, de acordo com Beraldo e Pereira (2008), reduzir o amido presente nos colmos, por meio da fermentação biológica anaeróbica, cujo tal, proporciona-se uma redução de amido minimizando ataques de carunchos. Segundo o autor a imersão recomendada é

de 4 a 7 semanas. Entretanto, neste trabalho esse procedimento durou 2 semanas. A figura 33 representa o aludido.

**Figura 33 - Tiras de bambu em imersão**



Fonte: Autoria Própria (2021)

#### **b) Armazenagem e Secagem**

Posteriormente 2 semanas, as tiras foram retiradas da represa, notou-se a formação de limo na superfície dos bambus, o que gerou a necessidade de uma lavagem com água, como indica a figura 34.

**Figura 34 - Formação de limo nos bambus**



Fonte: Autoria Própria (2021)

Em seguida da lavagem, as tiras foram armazenadas em local seco e protegido de intempéries, posicionadas em camadas de direções opostas, para que ocorresse a circulação de ar. Inicialmente as cores do bambu apresentavam tonalidades vivas, após 30 dias, com o processo da secagem, foi descorada, exibindo uma tonalidade mais fraca, indicado nas figuras 35 e 36.

**Figura 36 - Início da secagem**



Fonte: Autoria Própria (2021).

**Figura 35 - Final da secagem**



Fonte: Autoria Própria (2021).

### **c) Confeção das taliscas**

Diante dos bambus secos, inicia-se o preparo das confecções das taliscas no laboratório de sistemas estruturais da UTFPR. O trabalho inaugurou-se com o corte via foice, das saliências dos intercolmos para regularizar a superfície e facilitar o trabalho da plaina desengrossadeira, e além disso, as tiras de bambu foram cortadas ao meio, a fim de diminuir a largura da mesma, como demonstra a figuras 37.

**Figura 37 - Corte das tiras de bambu**



Fonte: Autoria Própria (2021).

Posteriormente o corte, as tiras foram inseridas na plaina desengrossadeira para uniformização das superfícies e padronização da espessura das taliscas, que plainadas durante algumas vezes. A espessura se definiu em torno de 5,0 mm, aproximadamente, pois o material naturalmente possui irregularidades superficiais, conforme indica a figura 38.

**Figura 38 - Uniformização da espessura pela plaina desengrossadeira**



**Fonte: Autoria Própria (2021).**

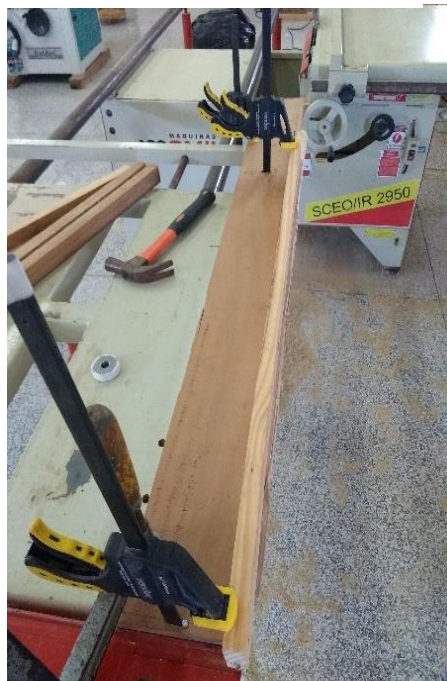
Estabelecido as espessuras das taliscas, através da serra esquadrejadeira foi feito o corte para determinação da largura das taliscas em torno de 20,0 mm, nesta etapa foi-se executado um trabalho laborioso, a fim de obter a largura aproximada, em virtude da talisca ser muito leve, e mesmo que os gabaritos estivessem nas medidas corretas, a talisca ao início do corte levemente se deslocava, pois a serra a puxava para sua direção, acarretando em diversas tentativas para o acerto, além disso o notou-se que estilhaços de bambu se soltavam, ressaltando a necessidade sempre do uso correto de EPIs, como exibem as figuras 39, 40 e 41.

**Figura 39 - Posicionamento do gabarito**



**Fonte: Autoria Própria (2021).**

**Figura 40 - Gabarito para corte**



**Fonte: Autoria Própria (2021).**

**Figura 41 - Taliscas com aproximadamente 20mm de largura**



**Fonte: Autoria Própria (2021).**

Em seguida, foram recortadas as taliscas para portarem 35,0 cm de comprimento, as quais serão utilizadas para os ensaios de arrancamento e tração, como a figura 42 representa.

**Figura 42 - Corte do comprimento das taliscas**



**Fonte: Autoria Própria (2021).**

Assim sendo, as taliscas finais obtiveram as dimensões aproximadas de 35,0 cm, 20,0 mm e 5,0 mm, sendo respectivamente, comprimento, largura e espessura.

## **5.2.2) Ensaios**

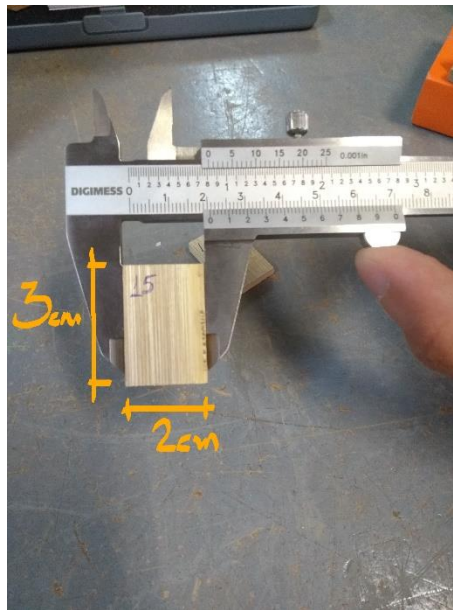
### **a) Teor de Umidade e Densidade Básica**

Em virtude das características mecânicas e físicas do bambu serem semelhantes com a da madeira, (sendo que, neste caso, ao citarmos madeira refere-se ao bambu), esse ensaio foi-se executado com base nas orientações da ABNT NBR 7190 (1997), conforme a norma, o teor de umidade da madeira corresponde a relação entre a massa da água contida na mesma e sua massa seca. Desta forma, temos a equação 3, a qual determina essa relação onde  $m_1$  é a massa inicial da madeira (em gramas) e  $m_2$  é a massa da madeira seca (em gramas). Logo:

$$\frac{m_1 - m_2}{m_2} \times 100 = \text{Teor de umidade (TU)\%} \quad (3)$$

Foram feitos 16 corpos de prova para esse ensaio, a partir das taliscas finais de bambu com as seções transversais de aproximadamente 2 cm x 0,5 cm e comprimento em torno de 3 cm, conforme figura 43.

**Figura 43 - Dimensões do corpo de prova**



**Fonte: Autoria Própria (2021).**

Os mesmos corpos de prova foram utilizados para o ensaio de densidade básica ( $\rho$ ), o qual, segundo a ABNT NBR 7190 (1997), estabelece que é a razão entre a massa seca ( $m_2$ ), em quilogramas, e o volume saturado ( $V_1$ , em  $m^3$ ), temos a equação 4:

$$\rho = \frac{m_2}{V_1} \quad (4)$$

Os valores de teor de umidade e densidade básica se encontram no capítulo 6.

### **b) Ensaio de Arrancamento e Tração**

A primeira tarefa foi a demarcação do comprimento de ancoragem das taliscas que foi definido em 15 cm, uma vez que o corpo de prova de concreto possui 20 cm de altura. Posteriormente foi iniciado a confecção dos corpos de prova de concreto para assim transfixar as taliscas no concreto.

#### **b.1) Dosagem e preparo do concreto**

Para a elaboração do concreto foi utilizado o traço usualmente utilizado na construção civil, de 1:2:3, com o intuito de alcançar a resistência de 25 MPa.



Inicialmente, ao manusear a betoneira, suas paredes foram molhadas, em funcionamento, reproduzindo uma imprimação para melhor coesão entre os materiais.

Em seguida, foram inseridos na betoneira, cerca de 37 kg de cimento, 63 kg de areia final, 103 kg de brita 1, o equivalente a 6 baldes (+/- 6 L) de brita 1, 4 baldes (+/- 6 L) de areia, e 2 baldes (+/- 6 L). Primeiramente, foram inseridos a areia e a brita, juntamente com metade da água, deixando a betoneira em funcionamento durante 1 minuto, após, com o equipamento desligado, foi inserido o cimento e ligado por mais 5 minutos, aproximadamente. A tabela 13 indica as características de dosagem do concreto

**Tabela 14 - Dimensões do corpo de prova**

Material	Peso (kg)	Volume (L)	Densidade (kg/ L)	Traço
<i>Cimento</i>	37,2	12	3,10	1
<i>Areia fina</i>	63,16	24	2,63	1,7
<i>Brita 1</i>	103,68	36	2,88	2,77
<i>Água</i>		18		0,4838

Fonte: Autoria Própria (2021).

### **b.2) *Slump Test* e Moldagem dos corpos de prova**

Terminada a mistura do concreto, foi possível realizar o ensaio preconizado pela norma ABNT NBR NM 67 (1998), o qual consistiu em preencher um cone especificado com a amostra do concreto preparado, cada terço da altura do cone preenchido foi golpeado a amostra, com a haste de 16,0 mm de diâmetro, 25 vezes. Retirou-se o cone cuidadosamente, e aferiu a diferença de altura da amostra para/com o cone metálico, conforme figura 44. O abatimento obtido foi de 7 cm.

**Figura 44 - Slump Test – abatimento obtido**



**Fonte: Aatoria Própria (2021).**

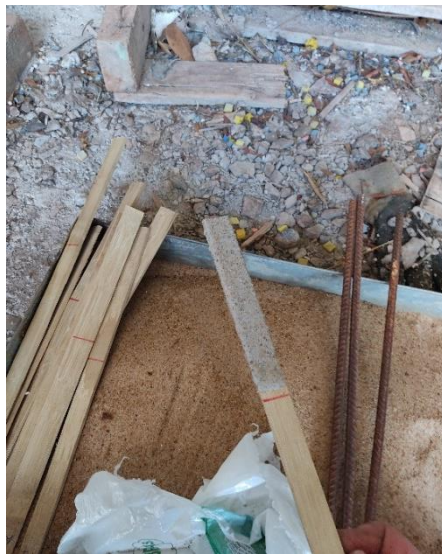
Em seguida, iniciou-se a moldagem dos corpos de prova de concreto, conforme ABNT NBR 5738 (2015), utilizando-se de moldes cilíndricos de 100 mm de diâmetro e 200 mm de altura. Verificou-se a necessidade de se preparar e misturar os componentes do adesivo estrutural, para que pudessem ser aplicados na superfície das taliscas selecionadas.

Foi separado e executado o procedimento considerando cada grupo de taliscas tratadas, conforme definido o número de corpos de prova com seu respectivo tratamento, sabendo que, o procedimento se deu pelas seguintes etapas:

- 1) 6 taliscas de bambu com adesivo estrutural.
- 2) 6 taliscas de bambu com adesivo estrutural mais camada superficial de areia.
- 3) 6 taliscas sem nenhum tratamento.
- 4) 3 corpos de prova com barras de aço de 8,0 mm.
- 5) 6 corpos de prova de concreto apenas para o ensaio de resistência a compressão axial.

Foi espalhado uma camada irregular de cerca de 2 mm de adesivo estrutural nos 15 cm determinados para comprimento de ancoragem (figura 45) no concreto e com cerca 1/3 do corpo de prova preenchido, foi posicionado a talisca no centro e assim foi-se preenchendo o restante do molde com concreto. Uma vez que, se a talisca fosse penetrada após a moldagem, o material adesivo, possivelmente seria raspado da talisca. E assim, continuamente para todas as taliscas utilizadas no procedimento, considerando as sem tratamento. Esta etapa se representa conforme figuras 46 e 47.

**Figura 45 - Adesivo estrutural aplicado na talisca com camada de areia**



Fonte: Aatoria Própria (2021).

**Figura 46 - Preenchimento de 1/3 de cada molde**



Fonte: Aatoria Própria (2021).

**Figura 47 - Preenchimento do restante dos moldes, com a talisca de bambu**



**Fonte: Aatoria Própria (2021).**

Após o término de cada etapa, as formas foram adensadas via mesa vibratória. Além disso, os corpos de prova, ao término total do procedimento foram armazenados em superfície nivelada e protegida, para o desmolde após 24 horas, representado na figura 48.

**Figura 48 - Armazenagem dos corpos de prova**



**Fonte: Aatoria Própria (2021).**

Passados 24 horas, os corpos de prova foram desmoldados, transportados e armazenados em câmara úmida, para o processo de cura do concreto, numa duração de 7 dias, conforme previsto para o cimento CP V ARI, para, contudo, iniciar os procedimentos de ensaio.

### **b.3) Ensaio de Tração**

Os ensaios de Tração foram realizados na máquina universal de ensaios DL 30000 – EMIC, cujo processo foi feito com a aplicação de força axial de tração nas barras de aço e taliscas de bambu. Assim como as taliscas, as barras de 8,0 mm de diâmetro tinham 35 cm de comprimento, e conforme ABNT NBR ISO 6892, foi iniciado o procedimento, conforme figura 49 e 50.

**Figura 49 - Ensaio de resistência à tração axial em barra de aço de diâmetro 8,0 mm**



Fonte: Autoria Própria (2021).

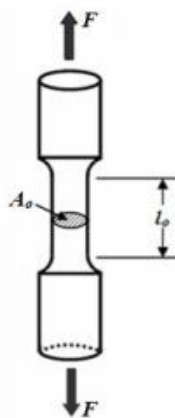
**Figura 50 - Ensaio de resistência à tração axial talisca de bambu**



Fonte: Autoria Própria (2021).

As 3 barras e 8 taliscas foram presas, uma por vez, por cunhas no equipamento, centralizadas ao eixo de direção da força aplicada. Os ensaios consistiram na mesma velocidade de aplicação gradativa de carregamento de tração uniaxial, medindo-se a variação no comprimento ( $l_0$ ) do corpo de prova em função do carregamento aplicado ( $F$ ), como a figura 51 demonstra.

**Figura 51 – Representação da execução do ensaio de resistência a tração**



Fonte: Adaptado de Lopes (2021).

#### **b.4) Ensaio de arrancamento**

O método de realização deste ensaio foi o de arrancamento direto (*Pull out test*), que consistiu em elaborar uma adaptação para que o corpo de prova fosse disposto em um apoio, desta forma, o arranjo foi confeccionado por vigas de madeira, conforme figura 52. Ressalta-se que esta adaptação não interferiu na execução dos ensaios.

**Figura 52 - Arranjo para execução do ensaio de arrancamento**



**Fonte: Aatoria Própria (2021).**

Semelhantemente à execução do ensaio original, a barra de aço ou talisca de bambu, foi presa por cunhas em sua extremidade, e posteriormente, bem como no ensaio de tração foi-se realizado um carregamento uniaxial de tração, a fim de arrancar o elemento aderente ao corpo de prova de concreto, demonstrado na figura 53. Frisa-se, devido ao nome do ensaio, nem sempre o elemento ali posto será arrancado, podendo o próprio elemento, sofrer ruptura.

**Figura 53 - Arranjo para execução do ensaio de arrancamento em talisca de bambu**



**Fonte: Aatoria Própria (2021).**

Foram ensaiados, conforme item b.2 deste capítulo:

- 6 taliscas de bambu com adesivo estrutural
- 6 taliscas de bambu com adesivo estrutural com adição de camada de areia
- 6 taliscas de bambu *in natura*
- 3 barras de aço de 8,0 mm de diâmetro

Uma vez que os resultados obtidos, se caracterizaram pela ruptura dos materiais ao invés do arrancamento, destarte os corpos de prova contendo taliscas de bambu *in natura*, foi-se traçado o gráfico de tensão de ruptura de arrancamento (MPa) x material utilizado, com o intuito de se analisar a distinção de tensões ultimas de ruptura no ensaio de arrancamento, principalmente entre as taliscas de bambu com ou sem tratamento.

### **c) Ensaio de resistência à compressão axial**

Vale lembrar, para este ensaio, foram utilizados 6 corpos de prova de concreto com bases retificadas de modo que as mesmas ficassem lisas e livres de ondulações e abaulamentos, simulados pela máquina universal de ensaios



EMIC – DL30000F, de acordo com a ABNT NBR 5739 (2007), como exibe a figura 54.

**Figura 54 - Ensaio de resistência à compressão axial**



**Fonte: Autoria Própria (2021).**

De acordo com a NBR 5739 (2007), a resistência à compressão axial dos corpos de prova cilíndricos deve ser calculada através da expressão 5:

$$f_c = \frac{4.F}{\pi.D^2} \quad (5)$$

Onde:

$f_c$  é a resistência a compressão, em megapascals;

$F$  é a força máxima alcançada, em Newtons;

$D$  é o diâmetro médio do corpo de prova, em milímetros.

## 6 RESULTADOS E ANÁLISES

### 6.1 Propriedades do Bambu

Os resultados dos ensaios de teor de umidade e densidade aparente são demonstrados na tabela 15:

**Tabela 15 - Resultados dos ensaios para determinação do teor de umidade e densidade aparente**

CP	Dimensões			Peso Úmido (g)	Peso Seco(g)	Umidade (%)	Densidade Aparente (kg/m <sup>3</sup> )	
	A (mm)	B(mm)	E(mm)					
1	31,1	18,4	6,1	2,06	1,86	10,75	590,15	
2	31,1	20,4	5,5	2,16	1,93	11,92	619,01	
3	31,1	20,3	5,6	2,45	2,23	9,87	692,98	
4	31,2	18,8	5,7	1,94	1,75	10,86	580,25	
5	31,1	21	5,2	2,32	2,09	11,00	683,13	
6	31,1	20,5	5,5	1,85	1,68	10,12	527,59	
7	31,1	19,1	5	1,88	1,7	10,59	632,99	
8	31,3	21	5,2	1,94	1,78	8,99	567,59	
9	31,2	18,9	5,4	1,85	1,68	10,12	580,98	
10	31,3	18,8	5,7	1,98	1,81	9,39	590,32	
11	31,1	21,2	5,8	2,13	1,94	9,79	557,00	
12	31,2	18,4	6,4	2,24	2,05	9,27	609,67	
13	31,1	19,7	5,7	2,2	2	10,00	629,97	
14	31,5	16,6	4,6	1,53	1,39	10,07	636,08	
15	31,1	20,7	5,7	2,09	1,91	9,42	569,56	
16	31,1	20,6	5,5	2,01	1,83	9,84	570,43	
A: altura				<b>Média</b>		<b>10,12</b>	<b>602,36</b>	
B: base				<b>Variância</b>		0,53	1881,09	
E: espessura				<b>Desvio Padrão</b>		0,73	43,37	
						<b>Coef. De Variação (%)</b>	7,18	7,20

Fonte: Autoria Própria (2021).

Os resultados do teor de umidade médio e densidade aparente média foram compatíveis em comparação com a bibliografia, em concordância com Liese

(1998) que constatou valores médios de 500 a 800 Kg/m<sup>3</sup>. Tal como, para a umidade Beraldo et al. (2003), enfatizaram que é necessário o período de um a quatro meses de secagem, para se obter um teor de 10-15%, para o qual neste trabalho, foram congruentes com sua pesquisa, atingindo o valor médio de 10,12%.

Os resultados dos ensaios de resistência à tração uniaxial são exibidos na tabela 16:

**Tabela 16 - Resultados da força última de ruptura à tração (kN) e tensão última de ruptura à tração (MPa)**

CP	Dimensões			Fu (kN)	σu (MPa)
	H (mm)	Bw (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )		
cp -1	17,7	6,1	107,97	10,98	101,72
cp - 2	18,5	6,1	112,85	13,11	116,16
cp - 3	18,3	5,5	100,65	14,31	142,14
cp - 4	20,5	5,4	110,7	13,66	123,36
cp - 5	20,8	5,9	122,72	17,94	146,19
cp - 6	18,2	5,7	103,74	13,27	127,95
cp - 7	18,6	5,9	109,74	10,11	92,08
cp - 8	19,4	5,9	114,46	15,87	138,61
<b>Média</b>				<b>13,65</b>	<b>123,53</b>
<b>Variância</b>				<b>5,48</b>	<b>328,16</b>
<b>Desvio Padrão</b>				<b>2,34</b>	<b>18,12</b>
<b>Coef.de variação (%)</b>				<b>17,15</b>	<b>14,67</b>

Legenda: H: altura da base; Bw: largura da base; Fu: Força última de ruptura à Tração;  
σu: Tensão última de ruptura à Tração

**Fonte: Aatoria Própria (2021).**

O valor médio da tensão última de ruptura à tração corrobora com a bibliografia dessa pesquisa, conforme tabela 22 e 23, dos autores Ghavami e Marinho (2005) e Tsutsumoto (2016), respectivamente, a tensão de ruptura média do bambu (*Guadua angustifolia*) foi cerca de 86,96 MPa e 103,5 MPa (*Bambusa vulgaris*), embora sejam diferentes espécies, a tensão de ruptura do “Bambu Brasileiro”, utilizando nesse trabalho, é de 29,65% e 16,21% maiores aos respectivos valores.

Os corpos de prova rompidos são demonstrados na figura 55, iniciando-se pelo cp-1 à esquerda, em ordem crescente para a direita, até o cp-8.

**Figura 55 - Taliscas de bambu rompidas por tração**



Fonte: Autoria Própria (2021).

## 6.2 Propriedades do Aço

Os resultados dos ensaios de resistência à tração uniaxial são demonstrados na tabela 17:

**Tabela 17 - Resultados do ensaio de resistência à tração axial em aço**

CP	Dimensões		Fu (kN)	$\sigma_u$ (MPa)
	Diâmetro (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )		
cp - 1	8,0	50,27	33,20	660,41
cp - 2	8,0	50,27	32,85	653,43
cp - 3	8,0	50,27	32,41	644,80
<b>Média</b>			<b>32,82</b>	<b>652,88</b>
<b>Variância</b>			0,10	40,80
<b>Desvio Padrão</b>			0,321	6,388
<b>Coef. de variação (%)</b>			0,978	0,978

Legenda: Fu: Força última de ruptura à tração;  $\sigma_u$ : Tensão última de ruptura à tração

Fonte: Autoria Própria (2021).

As amostras rompidas de aço são indicadas na figura 56, sendo numeradas de 1 a 3 de cima para baixo:

**Figura 56 - Barras de aço de 8,0 mm rompidas após ensaio**



Fonte: Aatoria Própria (2021).

## 6.2 Propriedades do Concreto

Na tabela 18, são apresentados os resultados obtidos no ensaio de resistência à compressão axial.

**Tabela 18 - Resultados do ensaio de resistência à compressão axial**

CP	Dn(mm)	Força (N)	Tensão (MPa)
1	100	2139,00	21,39
2	99,5	2379,04	23,91
3	99	2565,09	25,91
4	100	2586,00	25,86
5	100,4	2506,99	24,97
6	100,2	2210,41	22,06
<b>Média</b>			<b>24,02</b>
<b>Variância</b>			3,11
<b>Desvio Padrão</b>			1,76
<b>Coef. De Variação (%)</b>			7,34

Fonte: Aatoria Própria (2021).

Perante a tabela 18, observa-se que o concreto obtido possuiu um valor abaixo do esperado, o qual seria de 25 MPa, nota-se que pelo procedimento executado

por baldes não se mostrou eficiente, entretanto, tal procedimento é comumente utilizado na construção civil em obras de pequeno porte.

### 6.3 Resultados do ensaio de arrancamento

Os resultados obtidos do ensaio de arrancamento se encontram nas tabelas 19, 20 e 21 deste capítulo, considerando-se cada tabela com seu respectivo material e tratamento. Para identificação, os corpos de prova de bambu foram denominados:

- A; talisca de bambu *in natura*
- As; talisca de bambu aderida ao concreto com adesivo estrutural
- Asx; idem ao item anterior, com acréscimo de camada de areia no adesivo

O cálculo da tensão última de ruptura ao arrancamento foi calculado, pela equação (6):

$$\sigma_a = \frac{F_u}{A_a} \quad (6)$$

Onde:

$\sigma_a$  = Tensão última de arrancamento

$F_u$  = Força última de arrancamento

$A_a$  = Área de aderência, obtida pela multiplicação entre o perímetro e a altura aderida ao concreto, nesta pesquisa fixado em 15 cm.

As tabelas dos resultados obtidos encontram-se a seguir:

**Tabela 19 - Resultados do ensaio de arrancamento do bambu *in natura*, no concreto**

CP - A	h (mm)	bw (mm)	área (mm <sup>2</sup> )	área de aderência (mm <sup>2</sup> )	Força (Fu) (kN)	Tensão ( $\sigma_a$ ) (MPa)
a1	18,50	6,00	111,00	7350,00	1,93	0,26
a2	19,20	5,00	96,00	7260,00	2,21	0,30
a3	20,10	5,70	114,57	7740,00	2,52	0,33
a4	21,80	6,00	130,80	8340,00	1,85	0,22
a5	21,30	5,50	117,15	8040,00	1,84	0,23
a6	21,90	6,00	131,40	8370,00	1,92	0,23
<b>Média</b>					<b>2,04</b>	<b>0,26</b>
<b>Variância</b>					0,06	0,00160
<b>Desvio padrão</b>					0,25	0,040
<b>Coef. De Variação (%)</b>					12,02	15,29

Fonte: Autoria Própria (2021).

**Tabela 20 - Resultados do ensaio de arrancamento do bambu imerso no concreto com adição de adesivo estrutural**

CP - As	h (mm)	bw (mm)	área (mm <sup>2</sup> )	área de aderência (mm <sup>2</sup> )	Força (Fu) (kN)	Tensão ( $\sigma_a$ ) (MPa)
as1	18,60	6,90	128,34	7650,00	11,55	1,51
as2	20,70	5,80	120,06	7950,00	8,51	1,07
as3	22,00	6,80	149,60	8640,00	14,46	1,67
as4	21,00	5,70	119,70	8010,00	12,26	1,53
as5	19,90	6,00	119,40	7770,00	12,34	1,59
as6	21,40	5,50	117,70	8070,00	14,56	1,80
<b>Média</b>					<b>12,28</b>	<b>1,53</b>
<b>Variância</b>					4,13	0,052
<b>Desvio padrão</b>					2,03	0,228
<b>Coef. De Variação (%)</b>					16,54	14,90

Fonte: Autoria Própria (2021).

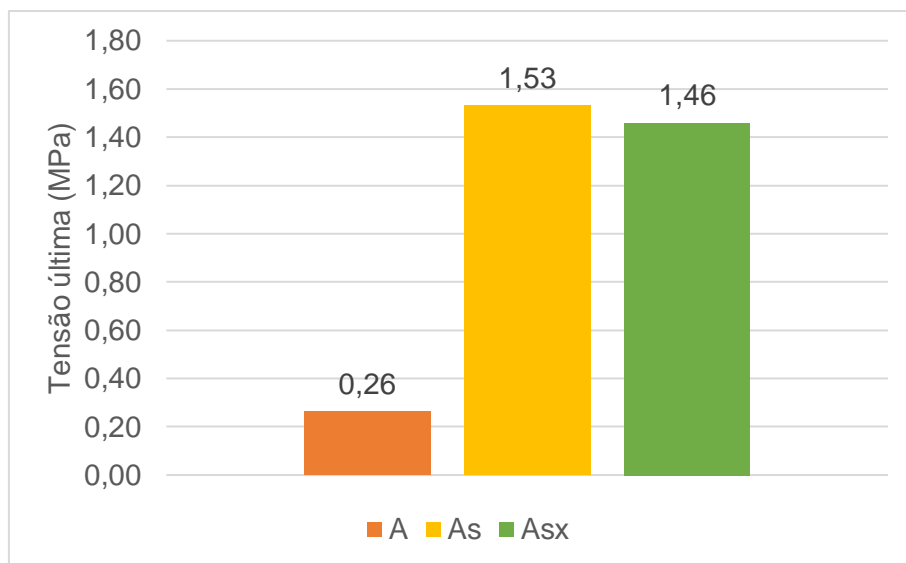
**Tabela 21 - Resultados do ensaio de arrancamento do bambu imerso no concreto com adesivo estrutural com acréscimo de camada de areia**

CP - Asx	h (mm)	bw (mm)	área (mm <sup>2</sup> )	área de aderência (mm <sup>2</sup> )	Força (Fu) (kN)	Tensão ( $\sigma_a$ ) (MPa)
asx - 1	19,00	5,50	104,50	7350,00	7,00	0,95
asx - 2	20,20	5,70	115,14	7770,00	9,79	1,26
asx - 3	20,10	6,00	120,60	7830,00	10,34	1,32
asx - 4	21,00	6,00	126,00	8100,00	13,78	1,70
asx - 5	21,30	5,80	123,54	8130,00	16,18	1,99
asx - 6	21,00	6,20	130,20	8160,00	12,50	1,53
<b>Média</b>					<b>11,60</b>	<b>1,46</b>
<b>Variância</b>					8,76	0,11
<b>Desvio padrão</b>					2,96	0,33
<b>Coef. De Variação (%)</b>					25,52	22,75

Fonte: Autoria Própria (2021).

Diante das tabelas, é possível identificar os valores médios de tensão última de ruptura, como indica a figura 57:

**Figura 57 - Tensões últimas médias dos ensaios de arrancamento**



Fonte: Autoria Própria (2021).

Primeiramente, diante do ensaio de arrancamento no bambu *in natura*, notou-se que todas as taliscas sofreram escorregamento do corpo de prova do concreto, refletindo seus valores bem abaixo em comparação ao restante dos bambus, estes que, demonstraram a eficiência do tratamento aprimorando-se a aderência em mais de 80%. As figuras 58,59 e 60, exibem o escorregamento das taliscas nos bambus sem tratamento.

**Figura 58 - Escorregamento da talisca de bambu (A5)**



Fonte: Autoria Própria (2021).



**Figura 59 - Corpo de prova A6 foi arrancado por completo do concreto**



**Fonte: Aatoria Própria (2021).**

**Figura 60 - Talisca de bambu A6**



**Fonte: Aatoria Própria (2021).**

Em contrapartida, as taliscas que utilizaram de ambos os tratamentos, sofreram rupturas em sua interface, como indica a figura 61, além de que, no corpo de prova Asx5, ocorreu ruptura no concreto, como demonstra a figura 62.

**Figura 61 - Ruptura do corpo de prova As4**



**Fonte: Aatoria Própria (2021).**

**Figura 62 - Corpo de prova Asx5 apresentou ruptura no concreto**



**Fonte: Aatoria Própria (2021).**

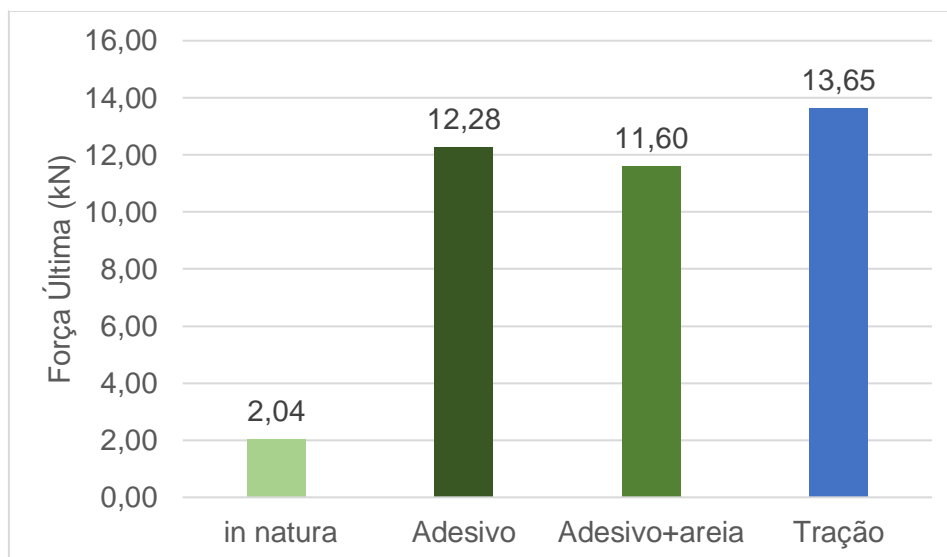
Para Ferreira (2002), o qual utilizou materiais diferentes, visando, além da aderência no concreto, impermeabilizar o bambu, dentre os tipos de tratamentos utilizados, o mais significativo apresentado foi o de verniz e arame farpado em torno da talisca do bambu, que atingiu a tensão última de arrancamento de aproximadamente 1,2 MPa.

Ferreira (2007), realizou ensaios de arrancamento com as taliscas de bambu semelhantes a utilizadas nesta pesquisa, acrescentando-se pinos (bambu e aço) na seção transversal das taliscas, além de, também, empregar adesivo estrutural a base de resina epóxi, esse último atingiu a tensão última de 1,10 MPa. Além do mais, Ghavami (2005), embora com metodologias diferentes, verificou a aderência, utilizando-se novamente do adesivo estrutural e obteve o valor 2,75 MPa.

Por fim, em comparação ao ensaio de resistência à tração da talisca de bambu, obteve-se a força de ruptura média de 13,65 kN. No mesmo âmbito, notou-se que a força de ruptura média no arrancamento foi de 12,28 kN, isto é, a força de ruptura última de arrancamento atingiu quase o mesmo valor de

ruptura à tração do material, apresentando-se uma diferença de 15% e 10%, como exibe a figura 63.

**Figura 63 - Comparativo entre forças últimas de ruptura à tração e ao arrancamento do bambu**



Fonte: Autoria Própria (2021).

Em seguida, os ensaios de arrancamento das barras de aço, foi-se constatado que, semelhantemente ao do bambu, os corpos de prova também romperam, como exibe a figura 64. Entretanto, notou-se os valores obtidos, na tabela 46, se demonstram em superioridade em relação ao material bambu.

**Figura 64 - Ruptura da barra de aço 1 de 8,0 mm**



Fonte: Autoria Própria (2021).

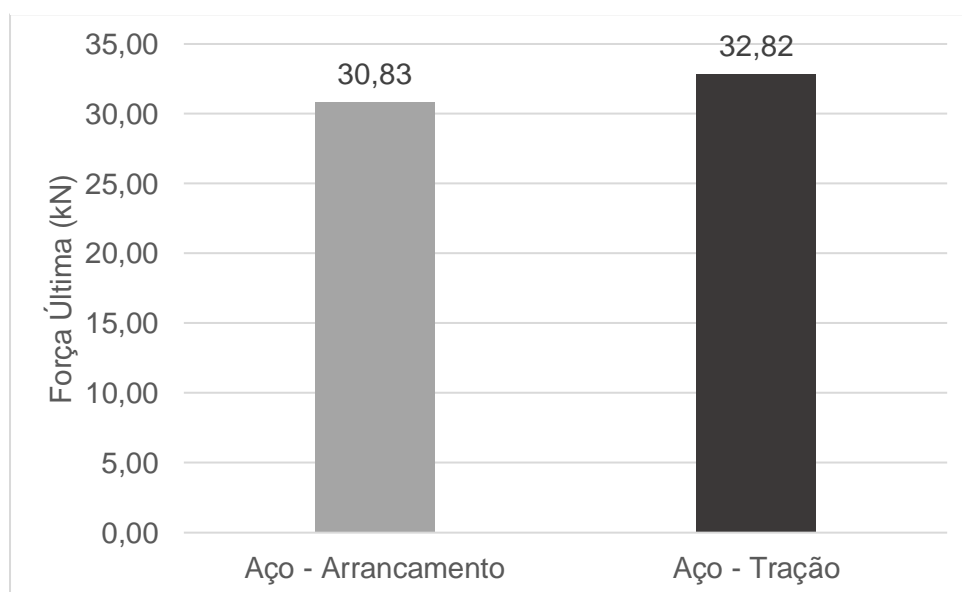
**Tabela 22 - Resultados do ensaio de arrancamento de barras de aço de diâmetro 8,0 mm**

CP - Aço	dn (mm)	área (mm <sup>2</sup> )	área de aderência (mm <sup>2</sup> )	Força (kN)	Tensão (MPa)
aço 1	8,00	50,27	3769,911	33,05	8,77
aço 2	8,00	50,27	3769,911	26,65	7,07
aço 3	8,00	50,27	3769,911	32,79	8,70
<b>Média</b>				<b>30,83</b>	<b>8,18</b>
<b>Variância</b>				8,75	0,62
<b>Desvio padrão</b>				2,96	0,78
<b>Coef. De Variação (%)</b>				9,59	9,59

Fonte: Autoria Própria (2021).

Assim sendo, conforme tabela 41, obteve-se o valor médio da força última de ruptura à tração das barras de aço, alcançando 32,82 kN. Por comparação, a força última média do ensaio de arrancamento foi de 30,83 kN, ou seja, uma diferença de 6,06%, como indica a figura 65.

**Figura 65 - Comparativo entre forças últimas de ruptura à tração e ao arrancamento do aço**

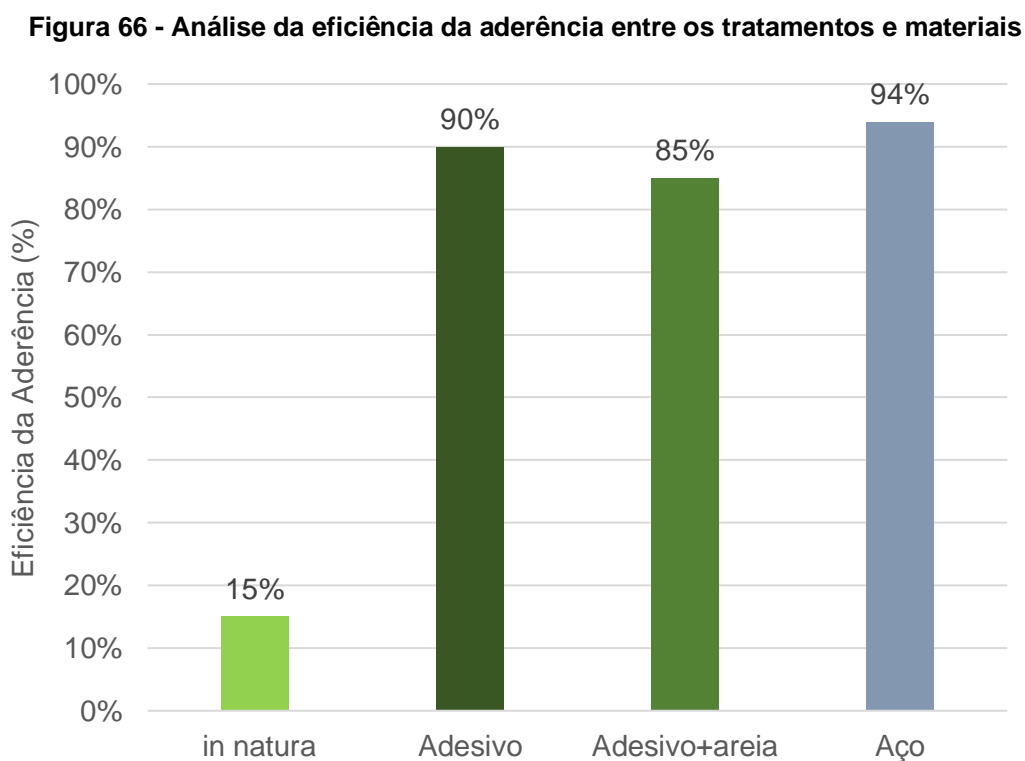


Fonte: Autoria Própria (2021).

Os resultados apresentados foram satisfatórios comparados com dados da literatura, indicando que a utilização de taliscas de bambu como armadura do concreto mostra-se viável, sendo a inserção de tratamentos com adesivos estruturais eficazes na aderência ao concreto, entretanto, a adição da camada

de areia ao adesivo, a diferença de força última entre os ensaios foi de aproximadamente 10,5% e de tensão última foi de quase 5%, sendo assim sua adição considerada não vantajosa ao tratamento.

Por fim, para certificar da eficácia da aderência do bambu no concreto, é necessário realizar comparações entre o mesmo e o aço. A partir dos valores obtidos, foi constatado que a aderência do aço no concreto é eficiente. Numa relação entre a força última de arrancamento e a força última de tração, o aço atingiu aproximadamente 94%, por outro lado, o bambu tratado com adesivo estrutural atingiu o valor de 90%. Assim sendo, verifica-se a boa aderência do bambu no concreto utilizando esses tratamentos, uma vez que, sua aderência é cerca de 5% menor em comparação ao aço, conforme indica a figura 66.



Fonte: Autoria Própria (2021).

## 7 CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos, pode-se concluir que o bambu se qualifica por um material alternativo eficaz em seu emprego na construção civil, possuindo características físico-químicas e mecânicas, embora variantes de espécie para espécie, são semelhantes à da madeira. Assim sendo, constituindo-se de uma natureza suscetível ao ataque de insetos, principalmente taliscas e afins, como o BLC (bambu laminado colado), é imprescindível seu tratamento para reduzir as ações decorrentes do meio ambiente.

O tratamento de imersão em água empregado para seu manejo, provou-se válido, constatando-se que, além do bambu atingir valores congruentes de suas propriedades mecânicas com a bibliografia referenciada, foi executado num prazo regular e economicamente viável e sustentável, em razão da utilização apenas de recursos naturais para sua conservação.

Entretanto, observou-se a carência de maquinários para a realização dos cortes e elaboração das taliscas de bambu, uma vez que, devido a característica do material, as lâminas e lixas são facilmente desgastadas, tendo em vista, que é utilizado na construção, necessita de artifícios corretos para facilitar o seu manuseio.

Com base nos ensaios, percebeu-se o quanto se faz importante a verificação dos ensaios executados, que além de promover e averiguar a caracterização das propriedades mecânicas do material, é a partir da aderência que se garante o desempenho do bambu submetido ao esforço de tração no concreto.

Além do mais, que sabendo da sua deficiência perante a ancoragem, frisa-se que o tratamento com adesivos estruturais à base de resina epóxi possuem as competências necessárias para certificar uma boa aderência ao concreto, visto que, nos ensaios de arrancamento, o bambu rompeu-se quase atingindo os valores do ensaio de resistência à tração, isto é, a partir desses ensaios foi possível realizar comparações entre os materiais, dado que relacionando-se as forças últimas de ambos os ensaios, foi possível verificar a eficiência de aderência.

Visto que, a eficiência do bambu foi aproximadamente 5% menor que a do aço, conclui-se que tais tratamentos são capazes de promover uma boa aderência do bambu no concreto, e comparáveis à boa aderência do aço no concreto, já difundido na engenharia civil.

Por fim, sabendo da validade do uso do adesivo estrutural como tratamento, é indispensável uma melhor investigação a respeito dos comprimentos de ancoragem, o qual neste trabalho fixou-se em 15 cm, uma vez que sua determinação está diretamente relacionada as dimensões da seção transversal do bambu e aos esforços o qual este material será submetido, o qual, seria de importância para uma possível concepção de normas técnicas relacionadas ao projeto de estruturas com o uso do bambu no concreto, em virtude do seu crescente emprego na engenharia civil.

## 8 REFERÊNCIAS

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 16697: Cimento Portland — Requisitos.** Rio de Janeiro, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 16697: Cimento Portland — Requisitos.** Rio de Janeiro, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 5738: Concreto – procedimento para moldagem e cura de corpos de prova.** Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 5739: Concreto – ensaios de compressão de corpos-de-prova cilíndricos.** Rio de Janeiro, 2007.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 7480: Aço destinado a armaduras para estruturas de concreto armado - Especificação.** Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR NM 248: Agregados: determinação da composição granulométrica”.** Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR NM 67: Concreto – determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone.** Rio de Janeiro, 1998.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190: Projeto de Estruturas de Madeira.** Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 6892: Materiais Metálicos: Ensaio de tração à temperatura ambiente.** Rio de Janeiro, 2002.

BANIK, R. L. **Morphology and growth.** In: LIESE, W.; KÖHL, M. (Eds.). **Bamboo: the plant and its uses.** Cham, SZ: Springer International Publishing, 2015.



BASTOS, P. S. D. S. **Ancoragem e emenda de armaduras**. 2018. 44f. Notas de aula da disciplina de Estruturas de Concreto 2 – Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Bauru, Bauru, 2018.

BERALDO, A. L.; AZZINI, A.; GHAVAMI, K.; PEREIRA, M.A. dos R. **Bambu: características e aplicações**. In: Tecnologias e Materiais Alternativos de Construção. Editora da Unicamp, Campinas, 2004.

BERALDO, A.; ZOULAUAN, A. **Bambu - Material alternativo para construções rurais**. In: Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira, 5, Belo Horizonte, MG, 1995. Anais, vol. II, p. 425-439.

BERALDO, A.L. **Bambucreto - O uso do bambu como reforço do concreto**. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 16, 1987, Jundiaí. Anais... Jundiaí: SBEA, v.2, 1987.

CASAGRANDE, Thayna C. **Avaliação da eficiência do ensaio de aderência aço-concreto para estimativa da resistência à compressão axial do concreto**. 2014. 66 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso Superior em Engenharia Civil. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2014.

DUNKELBERG, K. et al. **Bamboo as a building material**. Institute for Lightweight structures (IL) Karl Krömer Verlag Stuttgart, University of Stuttgart, Stuttgart, 1996.

ENGENHARIA E CONSTRUÇÃO. **Andaimes de Bambu**. 2012. Disponível em: <<http://www.engenhariaeconstrucao.com/2012/02/andaimes-de-bambu.html>>. Acesso em: 15 set. 2019.

FAHN, A. **Plant Anatomy**. Fourth ed. Oxford: Pergamon Press, 1990.

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

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

FERREIRA, G. C. S. **Vigas de concreto armadas com taliscas de bambu *Dendrocalamus giganteus***. Tese (Doutorado em Engenharia). Pós-Graduação da Faculdade de Engenharia Civil, UNICAMP, Campinas, 2007.

GABRIEL D. C. J. CUNHA, HELTON G. S. JUNIOR, MATHEUS EVERTON T. MAIA JOANA DARC S. PINTO. **Estudo do concreto reforçado com fibra de aço e fibra de bambu**. In: 69ª Reunião Anual da SBPC, UFMG, 2017. (Iniciação Científica), Pontifícia Universidade Católica, Belo Horizonte, 2017.

GHAVAMI, K. **Application of bamboo as a low-cost energy material in civil engineering**. In: Symposium Materials for Low Income Housing, Mexico City, 1989.

GHAVAMI, K. **Bamboo as reinforcement in structural concrete elements.** Cement & Concrete Composites, Kidlington, v. 27, p. 637-649, 2005.

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

GHAVAMI, K.; BARBOSA, N.; EUSTÁQUIO MOREIRA, L. **Bambu como Material de Engenharia.** In: FABRICIO M.M.; BRITO, A.C.; VITTORINO, F. **Avaliação do desempenho de tecnologias inovadoras: conforto ambiental, durabilidade e pós-ocupação.** Cap. 12, p. 305-348, ANTAC, Ed. Scienza, Porto Alegre, 2017.

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

GHAVAMI, K.; MARINHO, A.B. **Determinação das propriedades dos bambus das espécies: *Mosó, Matake, Guadua angustifolia, Guadua tagoara e Dendrocalamus giganteus* para utilização na engenharia.** 1. ed. Rio de Janeiro: RMNC do Departamento de Engenharia Civil da PUC-Rio, 2001.

GHAVAMI, K.; RODRIGUES, C.S. **Engineering materials and components with plants.** CIB–Symposium, Construction & Environment, Global Seven Editor. São Paulo, 2000.

GHAVAMI, K; HOMBECK, R.V. **Mechanical properties and waterrepellent treatment of bamboo.** In: Latin American Symposium Rational Organization of Building Applied to Low Cost Housing. 1981, São Paulo. Anais... São Paulo: USP, v.1, 1981.

HIDALGO LOPEZ, O. **Bambu: su cultivo y aplicaciones en: Fabricacion de papel, construcci6n, arquitetura, ingenieria, artesanía.** Cali, Colombia, 1974. HIDALGO-LÓPEZ, O. **Bamboo – the gift of the gods.** Bogotá: Oscar Hidalgo López Editor, 2003.

HOEPERS, C. E. Aeroporto de Madri. 2007. 1 fotografia, color. Disponível em: <<http://www.flickr.com/photos/ehoepers/1187535367/>> Acesso em: nov. 2019.

ICBO. **Ac 162: acceptance criteria for structural bamboo.** California: ICBO Evaluation Service, 2000.

INBAR. The International Network on Bamboo and Rattan. **International model building code for bamboo.** Jan. 1999.

ISO 22157-1: 2004 **Bamboo – Determination of physical and mechanical properties.**

- JANSSEN, J. J. A. **Designing and building with bamboo**. International Network for Bamboo and Rattan (INBAR). Beijing, China, 2000.
- JANSSEN, J.J.A. **Building with bamboo**. Intermediate Technology Publications. London, 1988.
- JANSSEN, J.J.A. **Designing and building with bamboo**. Beijing, China: International Network for Bamboo and Rattan (INBAR), 2000.
- LEONHARDT, F.; MÖNNIG, E. **Construções de concreto: princípios básicos do dimensionamento de estruturas de concreto armado**. v.1. Rio de Janeiro,
- LIESE, W. **Bamboos - Biology, silvies, properties, utilization.**, Eschborn, dt.Ges.fur.Techn. Zusammenarbeit (GTZ), Hamburgo, 1985.
- LIESE, W. **The Anatomy of Bamboo Culms**. Beijing: BRILL, 1998.
- LIESE, Walter; TANG, Thi Kim Hong. **Properties of the Bamboo Culm**. In: LIESE, Walter; KOHL, Michael. **Bamboo: The plant and its uses**. Switzerland: Springer International Publishing Switzerland, cap. 8. p. 227-256, 2015. Disponível em: <<http://www.springer.com/series/5439>>. Acesso em: 27 set. 2019.
- LIMA JR, H. C.; BARBOSA, N. P. e GHAVAMI, K. **Comportamento em serviço de lajes de concreto reforçadas com bambu**. In: Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira, Belo Horizonte, MG, 1995. Anais, vol. 2, p. 441-454.
- LIMA JR, H. C.; DALCANAL, P. R.; WILLRICH, F. I.; BARBOSA, N. P. **Determinação da resistência a tração e do módulo de elasticidade transversal do bambu *Dendrocalamus giganteus***. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, XXVIII, Pelotas, RS, 1999.
- LIMA JR., H.C.; DALCANAL, P.R.; WILLRICH, F.L.; BARBOSA, N.P. **Características mecânicas do bambu *Dendrocalamus giganteus*: Análise teórica e experimental**. In: BARBOSA, N.P.; SWAMY, R.N. AND LYNNSDALE, C. (eds.). **Sustainable construction into the next millennium: Environmentally friendly and innovative cement based materials**. João Pessoa: SNT, 2000, p.394-406.
- LIMA JÚNIOR, H. C.; MESQUITA, L. P.; FABRO, G.; WILLRICH, F. L.; CZARNIESKI, C. J. **Vigas de concreto reforçadas com bambu *Dendrocalamus giganteus*. I: Análise experimental**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. v.9, n.4, p.642-651, 2005.
- 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.

LOPES, J. T. B. **Ensaio Mecânicos dos Materiais**. [201-]. 110f. Notas de aula da disciplina de “Estrutura e Propriedades dos Materiais”. Universidade Federal do Pará – Faculdade de Engenharia Mecânica, Belém, [201-].

MACNAB, M. **Design by Nature: Using Universal Forms and Principles in Design**. Berkeley, EUA: New Riders, 2011.

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.

MORAES, J. C. B.; MELGES, J. L. P. **Estudo da aderência entre o concreto e a espécie de bambu *Bambusa vulgaris* impermeabilizada com látex extraído de seringueira**. 2013. 46 f. Relatório (Iniciação Científica) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2013.

OBERMANN, T. M.; LAUDE, R. **Bambu: recurso sostenible para estructuras espaciales**. Universidad Nacional de Colômbia, Medellín, 2008.

OLIVEIRA, C. A. S.; GOUVEIA, L. L. A.; TEIXEIRA, R. L. P. **Concreto estrutural com adição de fibras vegetais**. Revista Construindo, v. 6, n. 2. Belo Horizonte, MG, 2014.

ONU- Organização das Nações Unidas. **The use of bamboo and reeds in building construction**. United Nations, Department of Economic and Social Affairs, 1972.

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

PALOMBINI, F. L. **Design de estrutura biônica através de prototipagem e análise por elementos finitos baseada em microtomografia do bambu**. 2016. 106 f. Dissertação (Mestrado em Design) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

PEREIRA, M. A. R.; BERVALDO, A. L. **Bambu de corpo e alma**. Editora Canal 6, Bauru, SP, 2008.

PEREIRA, MARCOS A.R. **Projeto bambu: Introdução de espécies, manejo, caracterização e aplicações**. Tese (Título de Livre-Docente). Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”. Bauru, 2012.

PINHEIRO M. P.; MUZZARDO C. D. **Aderência e ancoragem**. Notas de aula da disciplina de Fundamentos de Concreto e Projeto de Edifícios. Cap. 10, Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos. Departamento de Engenharia de Estruturas, São Paulo, 2003.

RAJ, V. **Treatise on Utilization of Bamboo as Reinforcement in Ferrocement**. In: Journal of Ferrocement: Vol 21, N° 4, October 1991, pp. 371 –381.

RIVERO, LOURDES ABBADE. **Laminado colado e contraplacado de bambu** Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola. Campinas, SP, 2003.

SCHNIEWIND A. P. **Bamboo**. In: **Concise Encyclopedia of Wood & Wood based materials**. Ed. Pergamon Press, 1989.

SCHULTZ, A. R. **Estudo prático da botânica geral**. 4. ed. Porto Alegre: Globo, 1972.

SHARMA, Bhavna, GATÓO, Ana; BOCK, Maximilian; RAMAGE, Michael. **Engineered bamboo for Structural Applications**. Cambridge, 24 set. 2014. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061815001117>>. Acesso em: 25 set. 2019.

SILVA, O.F. **Estudo sobre a substituição do aço liso pelo *Bambusa vulgaris*, como reforço em vigas de concreto, para o uso em construções rurais**. Maceió, 2007. 141p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Alagoas. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

SILVA, R.M.C. **O bambu no Brasil e no mundo**. Senador Canedo:EMBAMBU, 2005. Disponível em: <[http://www.embambu.com.br/imagens/bambu\\_brasil\\_mundo.pdf](http://www.embambu.com.br/imagens/bambu_brasil_mundo.pdf)>. Acesso em 22 set 2019.

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.

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.

TOLEDO FILHO, R. D.; BARBOSA, N. P. **Aplicação do bambu e de fibras naturais nas construções rurais**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA - CONBEA, 19., 1990 Piracicaba. Anais... Piracicaba, 1990. p.81-91.

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