

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

BEATRIZ OLIVEIRA PEREIRA

ESTUDO DE CONCRETOS COM ADIÇÃO DE BAMBU

CAMPO MOURÃO

2018

BEATRIZ OLIVEIRA PEREIRA

ESTUDO DE CONCRETOS COM ADIÇÃO DE BAMBU

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.

Orientador: Prof.^a Dr.^a Fabiana Goia Rosa de Oliveira

CAMPO MOURÃO

2018



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Campo Mourão
Diretoria de Graduação e Educação Profissional
Departamento Acadêmico de Construção Civil
Coordenação de Engenharia Civil



TERMO DE APROVAÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso

ESTUDO DE CONCRETOS COM ADIÇÃO DE BAMBU

por

Beatriz Oliveira Pereira

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado às 13h00min do dia 21 de junho de 2018 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. Jeferson Rafael Bueno

(UTFPR)

Prof. Paulo Henrique Rodrigues

(UTFPR)

Prof^a. Dr^a. Fabiana Goia Rosa de Oliveira

(UTFPR)

Orientador

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

Coordenador do Curso de Engenharia Civil:

Prof. Dr. Ronaldo Rigobello

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

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus que permitiu que tudo isso acontecesse, me proporcionando saúde e sabedoria para chegar até aqui.

Aos meus pais, Aparecida e Agnaldo, que desde cedo me ensinaram o caminho a trilhar e me guiaram por este dando apoio, amor e discernimento. Também agradeço por terem participado diretamente deste trabalho, da obtenção do bambu à elaboração dos corpos de prova.

Ao meu irmão, Tiago, por me motivar e me erguer quando tudo parecia que daria errado e principalmente por ter me levado ao lugar que, posteriormente, me daria a ideia deste tema.

À minha madrinha, Joelma, por convencer meus pais que estudar na UTFPR seria uma ótima escolha e pelo incentivo durante toda esta jornada.

À minha orientadora, Fabiana Goia, por toda dedicação, carinho e tempo dispendido na realização deste trabalho, sem a qual não seria possível.

Aos técnicos de laboratório Fábio e Maiko por me auxiliarem tanto na elaboração dos corpos de prova como na realização dos ensaios. Todas as dicas foram essenciais para composição deste trabalho.

Ao professor Jorge Goés por acompanhar o rompimento dos corpos de prova e tornar aquela tarde divertida, me assegurando de que tudo daria certo.

À minha amiga e parceira de estudos, Camila, pela amizade, compreensão e disposição em acompanhar os ensaios.

Ao meu namorado, Chaves, pelo companheirismo, motivação e pela paciência comigo durante a realização deste trabalho.

Aos meus amigos, família de Campo Mourão, que de alguma forma participaram desta trajetória, seja com uma palavra amiga, um abraço ou simplesmente pela presença. Obrigada por tornarem a faculdade mais leve.

RESUMO

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

O bambu tem se mostrado um material alternativo viável na construção civil por ser renovável, de fácil obtenção, com alta resistência e rápido desenvolvimento. O presente trabalho apresenta e compara as propriedades mecânicas, através de uma análise experimental, de corpos de prova com e sem bambu. Os corpos de prova foram ensaiados à tração na flexão, compressão axial e módulo de elasticidade. Os resultados indicam o potencial uso do bambu na construção civil como aliado ao concreto, devido ao seu ótimo desempenho à esforços de flexão. Para tanto, há a necessidade de pesquisas que explorem o uso do bambu como material estrutural.

Palavras-chave: Bambu. Concreto. Resistência à tração.

ABSTRACT

Bamboo has been shown a viable alternative material in construction as it is a renewable, easy to obtain, high strength and quick development. This research paper presents and compares the mechanical properties, through an experimental analysis, specimen with and without bamboo. The specimens were submitted to flexural traction, axial compression and modulus of elasticity. The results indicate the potential use of bamboo in the construction as allied to concrete due to its excellent performance in bending efforts. To do so, there is a need for research that explore the use of bamboo as a structural material.

Keywords: Bamboo. Concrete. Tensile strength.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|---|----|
| Figura 1 – Distribuição do bambu pelo mundo..... | 15 |
| Figura 2 – Catedral projetada por Simón Vélez. Pereira, Colômbia..... | 17 |
| Figura 3 – Ponte projetada pelo arquiteto Jorg Stamm. Bogotá, Colômbia..... | 17 |
| Figura 4 – Residência projetada pelo arquiteto Kengo Kuma. Pequim, China..... | 18 |
| Figura 5 – Organograma de utilização do bambu..... | 19 |
| Figura 6 – Bambu da espécie <i>Guadua angustifolia</i> | 22 |
| Figura 7 – Bambu da espécie <i>Dendrocalamus asper</i> | 22 |
| Figura 8 – Bambu da espécie <i>Phyllostachys pubescens</i> | 23 |
| Figura 9 – Relação entre resistência e a dureza, em relação à massa específica aparente, para bambu e outros materiais..... | 24 |
| Figura 10 – Vigas de bambu com os estribos de aço..... | 27 |
| Figura 11 – Realização de ensaio de tração na flexão..... | 27 |
| Figura 12 – Viga de concreto armado com bambu roliço..... | 28 |
| Figura 13 – Viga de concreto armado com bambu em lâminas nervuradas..... | 28 |
| Figura 14 – Fibras de bambu..... | 29 |
| Figura 15 – Fibras de bambu..... | 29 |
| Figura 16 – Moita de bambu. Fernandópolis, São Paulo..... | 30 |
| Figura 17 – Bambuzal. Fernandópolis, São Paulo..... | 31 |
| Figura 18 – Colmo retirado com serra manual..... | 31 |
| Figura 19 – Colmo já cortado com auxílio de um facão..... | 32 |
| Figura 20 – Lâminas finalizadas..... | 32 |
| Figura 21 – Balança utilizada nas pesagens..... | 33 |
| Figura 22 – Peneirador automático..... | 34 |
| Figura 23 – Pesagem do agregado miúdo..... | 35 |
| Figura 24 – Ensaio do abatimento pelo tronco do cone..... | 37 |
| Figura 25 – Retirada do cone..... | 38 |
| Figura 26 – Abatimento obtido..... | 38 |
| Figura 27 – Dimensões da lâmina de bambu..... | 39 |
| Figura 28 – Disposição das armaduras de bambu na forma..... | 40 |
| Figura 29 – Corpos de prova prismáticos com bambu finalizados..... | 40 |
| Figura 30 – Fibras de bambu cortadas com faca..... | 41 |
| Figura 31 – Fibras de bambu finalizadas..... | 42 |

| | |
|--|----|
| Figura 32 – Fibras de bambu pesadas e separadas..... | 42 |
| Figura 33 – Fibras de bambu misturadas manualmente com o concreto..... | 43 |
| Figura 34 – Corpos de prova cilíndricos moldados..... | 43 |
| Figura 35 – Corpos de prova prismáticos na câmara úmida..... | 44 |
| Figura 36 – Corpos de prova cilíndricos na câmara úmida..... | 44 |
| Figura 37 – Posicionamento da viga na máquina universal..... | 45 |
| Figura 38 – Desenho esquemático do corpo de prova na máquina..... | 46 |
| Figura 39 – Nomeação das vigas..... | 46 |
| Figura 40 – Equipamento utilizado no ensaio de compressão..... | 47 |
| Figura 41 – Diferença visual entre um corpo de prova sem bambu e com bambu, respectivamente..... | 48 |
| Figura 42 – Nomeação dos corpos de prova..... | 48 |
| Figura 43 – Corpo de prova pronto para ser ensaiado..... | 50 |
| Figura 44 – Localização do bambu na viga durante a ruptura..... | 53 |
| Figura 45 – Corpos de prova V1S, V2S e V3S após realização do ensaio..... | 54 |
| Figura 46 – Corpos de prova V4S, V5S e V6S após realização do ensaio..... | 55 |
| Figura 47 – Corpos de prova V1B, V2B e V3B após realização do ensaio..... | 56 |
| Figura 48 – Corpos de prova V4B, V5B e V6B após realização do ensaio..... | 57 |
| Figura 49 – Forma de ruptura do CP1B..... | 60 |
| Figura 50 – Fissuras no corpo de prova envolto com papel filme..... | 61 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 – Consumo energético por material..... | 26 |
| Tabela 2 – Resultados obtidos no ensaio granulométrico da areia..... | 35 |
| Tabela 3 – Classificação do agregado miúdo..... | 36 |
| Tabela 4 – Resultados obtidos no ensaio granulométrico da brita..... | 36 |
| Tabela 5 – Classificação do agregado graúdo..... | 37 |
| Tabela 6 – Fatores de correção..... | 49 |
| Tabela 7 – Resistência à tração na flexão das vigas sem bambu..... | 52 |
| Tabela 8 – Resistência à tração na flexão das vigas com bambu..... | 53 |
| Tabela 9 – Resistência à compressão dos CP sem bambu..... | 58 |
| Tabela 10 – Resistência à compressão dos CP com bambu..... | 59 |
| Tabela 11 – Resultados obtidos para Módulo de Elasticidade..... | 62 |

LISTA DE GRÁFICOS

| | |
|---|----|
| Gráfico 1 – Resistência à tração na flexão das vigas ensaiadas..... | 58 |
| Gráfico 2 – Resistência à compressão dos corpos de prova ensaiados..... | 61 |
| Gráfico 3 – Módulo de elasticidade dos corpos de prova ensaiados..... | 63 |

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO | 12 |
| 2 OBJETIVOS | 13 |
| 2.1 Objetivo Geral | 13 |
| 2.2 Objetivos Específicos | 13 |
| 3 JUSTIFICATIVA | 14 |
| 4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA | 15 |
| 4.1 Histórico do Bambu na Construção Civil | 16 |
| 4.2 Propriedades Mecânicas do Bambu | 21 |
| 4.3 Concreto com Adição de Bambu | 25 |
| 5 METODOLOGIA DE PESQUISA | 30 |
| 5.1 Bambuzal | 30 |
| 5.2 Ensaios Granulométricos | 33 |
| 5.2.1 Agregado miúdo | 33 |
| 5.2.2 Agregado graúdo..... | 36 |
| 5.3 Determinação da Consistência pelo Abatimento do Tronco de Cone | 37 |
| 5.4 Moldagem dos Corpos de Prova | 38 |
| 5.4.1 Corpos de prova prismáticos..... | 38 |
| 5.4.2 Corpos de prova cilíndricos | 41 |
| 5.5 Cura dos Corpos de Prova Prismáticos e Cilíndricos | 43 |
| 5.6 Procedimentos para Realização dos Ensaios | 45 |
| 5.6.1 Ensaio de tração à flexão | 45 |
| 5.6.2 Ensaio de compressão axial | 47 |
| 5.6.3 Determinação do módulo de elasticidade..... | 49 |
| 6 RESULTADOS | 52 |
| 6.1 Ensaio de Tração à Flexão | 52 |
| 6.2 Ensaio de Compressão Axial | 58 |
| 6.3 Determinação do Módulo de Elasticidade | 62 |
| 7 CONCLUSÃO | 64 |
| REFERÊNCIAS | 65 |

1 INTRODUÇÃO

A demanda por processos construtivos com menor impacto ambiental é um dos principais focos da atualidade, tendo em vista o grande consumo de materiais não renováveis e de alto consumo energético na construção civil. O tema já foi acordado em convenções internacionais como o protocolo de Kyoto e a agenda 21.

Além disso, a construção civil é responsável por grande parte dos resíduos sólidos gerados no mundo anualmente, produzindo cerca de 400Kg de entulho por habitante, na construção e reforma de edificações. (CEOTTO, 2008).

Processos que facilitem e reduzam os custos de moradias e demais edificações podem contribuir positivamente, mitigando, principalmente, o problema de habitação para significativa parcela da população brasileira.

Dado o exposto, há a necessidade de se pesquisar materiais alternativos visando agredir cada vez menos o meio ambiente e gerar menor quantidade de resíduos sólidos.

O bambu, considerado por décadas uma madeira de classe desprivilegiada, tem ganhado cada vez mais espaço no setor, graças às suas propriedades físicas e mecânicas. Seu uso não se restringe apenas à arquitetura, pesquisadores como Beraldo, Culzoni e Ghavami têm estudado seu papel estrutural como aliado ao concreto, o qual pode ser comparado até mesmo ao aço.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Estudar o comportamento do concreto com adição de bambu, como armadura de flexão, através da realização de ensaio de tração à flexão e, como agregado, através de ensaios de compressão axial e determinação do módulo de elasticidade.

2.2 Objetivos Específicos

- Pesquisar o bambu como material na construção civil, suas propriedades e seu desempenho aliado ao concreto;
- Realizar ensaios de tração à flexão em vigas prismáticas, com e sem adição de bambu, conforme a NBR 12142/2010;
- Realizar ensaios de compressão axial e módulo de elasticidade em corpos de prova cilíndricos, com e sem adição de bambu, conforme as NBR 5739/2007 e NBR 8522/2008, respectivamente;
- Avaliar e sistematizar os resultados obtidos.

3 JUSTIFICATIVA

Os Hindus costumam relacionar o bambu como símbolo de amizade pois ele serve ao homem do berço ao túmulo. Na China, ele é considerado símbolo de longevidade. No Vietnã ele é tido como símbolo da existência do país devido à sua alta capacidade de propagação a qual é comparada com a renovação das gerações. Já o Japão, atribui às cercas de bambu proteção contra o mal.

O bambu é uma gramínea com elevada resistência mecânica, inclusive à esforços de tração, característica essa que permite que vários estudos afirmem a possibilidade de seu uso como material alternativo na construção civil.

Atualmente, há uma grande preocupação com os resíduos sólidos gerados na construção civil. Tal preocupação faz com que profissionais da área procurem utilizar materiais renováveis em seus projetos, sendo o bambu uma possibilidade viável pois pode desempenhar diversas funções em uma edificação.

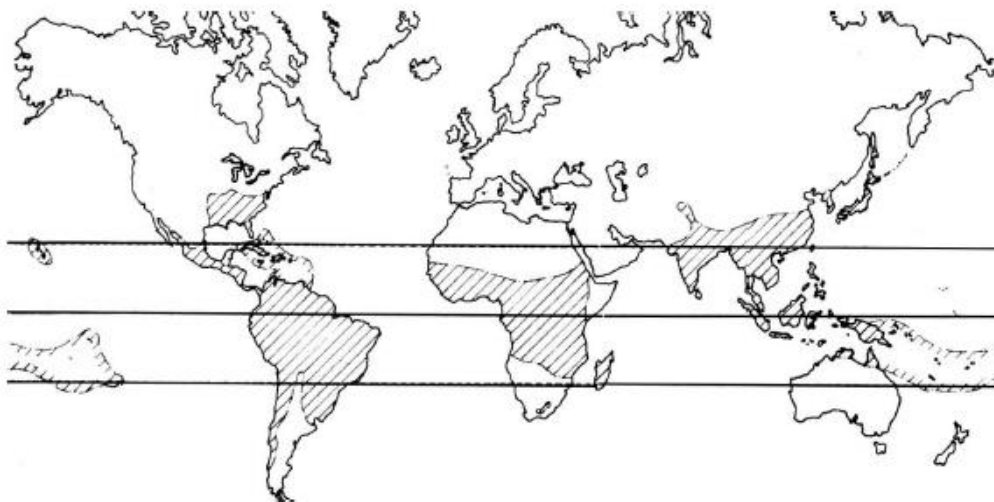
Com a crescente demanda de tecnologias sustentáveis neste segmento, o estudo dessas espécies pode conferir à obra não somente o rótulo de construção verde, mas também, reduzir significativamente seu custo. Além disso, o bambu pode trazer beleza, flexibilidade e leveza à uma estrutura.

4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O bambu é uma planta predominantemente tropical que cresce mais rapidamente do que qualquer outra planta do planeta, necessitando, em média, de 3 a 6 meses para que um broto atinja sua altura máxima, de até 30 metros. As espécies denominadas de gigantes, apresentam vitalidade singular, uma grande versatilidade, leveza, resistência e trabalhabilidade com ferramentas simples, beleza do colmo ao natural ou após ser processado, qualidades que lhe têm proporcionado o mais longo e variado papel na evolução da cultura humana, quando comparado com qualquer outro tipo de planta (FARRELY, 1984).

Segundo Londoño (2004), o número exato de espécies de bambu existentes no mundo ainda é desconhecido, em virtude da sua grande dispersão pelos continentes. A todo o momento novas espécies e variedades são descobertas, mas é indiscutível que existam aproximadamente 1200 espécies de bambu conhecidas e catalogadas cientificamente, estas são divididas em mais de 90 gêneros, espalhados por todo o planeta, excetuando Antártida e Europa, onde ainda não existe nenhuma espécie nativa conhecida (Figura 1).

Figura 1 – Distribuição do bambu pelo mundo.



Fonte: Lopez (2003).

4.1 Histórico do Bambu na Construção Civil

Sant'ana e Vaz Filho (2013) sustentam que o bambu é utilizado pelo homem desde os primórdios, para diversas finalidades tais como confecção de abrigos, ferramentas, armas para proteção contra ataques de animais, utensílios domésticos, decoração, pontes e, inclusive, alimentos. Salientam, ainda, que sua utilização como material arquitetônico é estimada em mais de cinco mil anos na China e em alguns países da Ásia no emprego de pontes e residências.

Japão, China e Índia possuem os exemplos mais antigos de arquitetura utilizando bambu. Sendo que a China, destaca-se por suas pontes com grandiosos vãos tencionados por cordas de bambu.

Conforme Lopez (2003), a relação da China com o bambu remonta desde os tempos pré-históricos, levando-se em consideração que um dos primeiros elementos da escrita chinesa foi um desenho de bambu, constituído por dois talos com folhas e ramos.

De acordo com Pereira e Beraldo (2008), o carvão de bambu foi o primeiro filamento utilizado por Thomas Edison em uma lâmpada. Além disso, Alberto Santos Drummond, na construção de seus primeiros aviões, como o modelo Demoiselle, utilizou colmos de bambu. Eles defendem ainda, que a fonte de inspiração de grandes construções no Ocidente foi o grandioso monumento indiano Taj Mahal, construído entre os anos de 1632 e 1653, o qual apresentava uma cúpula baseada em estrutura de bambu, recentemente substituída por uma estrutura de metal.

Marçal (2016) aponta que países como Colômbia, Peru, Equador, Indonésia e Índia possuem estruturas projetadas e executadas com bambu roliço. Na Colômbia, por exemplo, existem estruturas centenárias e habitadas que não apresentam patologias graves.

Pereira e Beraldo (2008) relatam a competência dos profissionais e da mão de obra colombiana, como exemplo o arquiteto Simón Vélez, o qual ganhou destaque ao projetar uma igreja exclusivamente em bambu como pode ser observado na Figura 2.

Figura 2 – Catedral projetada por Simón Vélez. Pereira, Colômbia.



Fonte: Sant'ana e Vaz Filho (2013).

Na busca por novas descobertas acerca do bambu, arquitetos como Simon Vélez, Oscar Hidalgo Lopez, Kengo Kuma, Jorg Stamm, entre outros têm usado em suas obras o bambu combinado com outros materiais construtivos, principalmente com o concreto (Figuras 3 e 4).

Figura 3 – Ponte projetada pelo arquiteto Jorg Stamm. Bogotá, Colômbia.



Fonte: Sant'ana e Vaz Filho (2013).

Figura 4 – Residência projetada pelo arquiteto Kengo Kuma. Pequim, China.



Fonte: Sant'ana e Vaz Filho (2013).

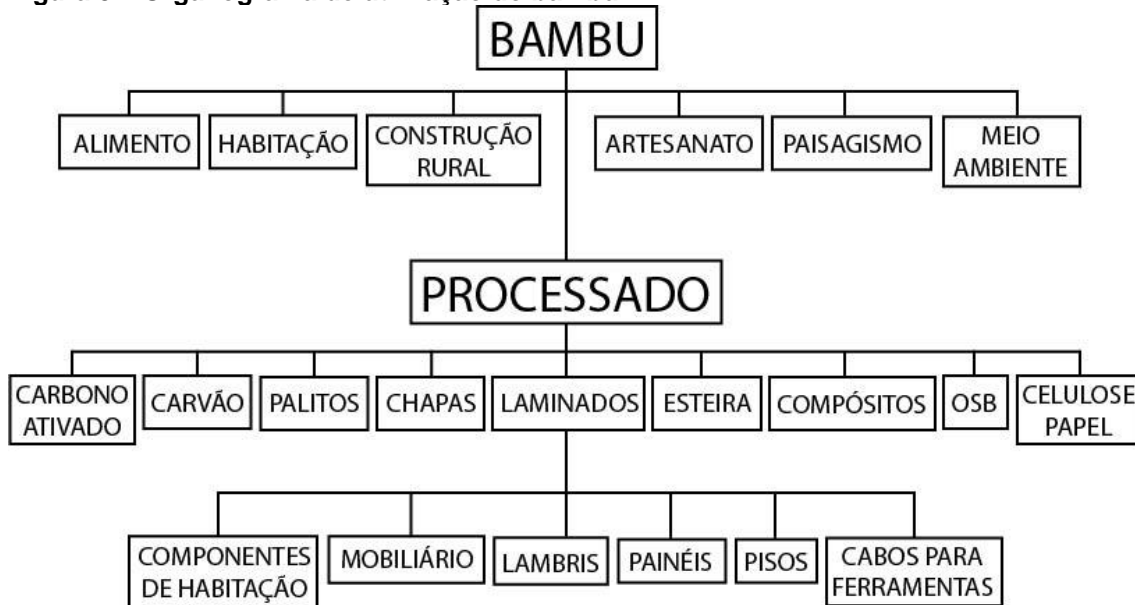
Calcula-se que, das cerca de 1200 espécies desse tipo de gramínea existentes no mundo, 400 delas são encontradas no Brasil. Devido à escassez de levantamentos nessa área, este número é impreciso. (LONDOÑO, 2004).

No Brasil, o uso que se faz do bambu, excetuando-se a produção de papel, está restrito a algumas aplicações tradicionais, como artesanato, vara de pescar, fabricação de móveis, e na produção de brotos comestíveis (PEREIRA, 2001).

Na construção civil, há duas formas de se trabalhar com este material, pode-se aplicar o bambu in natura ou laminado. De acordo com Pereira (2006), o Brasil não tem a cultura de trabalhar com o bambu de forma in natura, pesquisas apontam para a utilização em sua forma laminada colada ou BLC (Bambu Laminado Colado). Desta forma, o material pode ser útil como piso, forro, vigas, painéis e outros elementos estruturais.

No organograma, apresentado na Figura 5, ilustra-se as mais variadas áreas de atuação do bambu, tanto em sua forma natural como industrializada (PEREIRA, 2006).

Figura 5 – Organograma de utilização do bambu.



Fonte: Pereira (2006).

Para a utilização adequada do bambu, Pereira e Beraldo (2008), recomendam que se tome algumas precauções. O corte deve estar de acordo com a idade e natureza do colmo, o qual deve, além de seco, receber tratamentos preservativos contra fungos e insetos, garantindo, desta maneira, sua durabilidade.

Existem dois métodos de tratamentos: tradicionais e químicos. A seguir estão descritas as principais formas de preservação do bambu segundo Pereira e Beraldo (2008).

a) Métodos tradicionais: Trata-se da ausência de proteção química dos colmos. Seu custo é relativamente baixo, porém o resultado obtido é inferior ao método químico. Dentre esses métodos podem ser destacados:

- Cura ou maturação na mata: Consiste em aguardar um período de tempo entre o corte dos colmos e a queda de suas folhas, em posição vertical. Tal processo reduz o teor de amido presente no colmo, principal responsável pelo ataque de fungos.

- Cura pela imersão em água: Após a colheita, os colmos devem ser submersos em água corrente (riachos) ou estagnada (lagoa), com o intuito de reduzir o amido existente por meio da fermentação biológica anaeróbica. Como o bambu tende a flutuar na água, deve-se amarrá-los à uma pedra. Sulthoni (1987) sustenta que a

imersão em água estagnada é mais eficiente, entretanto esse processo pode provocar o aparecimento de larvas de insetos e o surgimento de manchas nos colmos, além de proporcionar um odor desagradável.

- Cura pela ação do fogo: Trata-se da submissão dos colmos recém cortados ao fogo direto, alterando-se quimicamente o amido e tornando-o menos atrativo ao caruncho.

- Cura pela ação da fumaça: Semelhante ao processo de defumação de alimentos, logo após o corte, são submetidos à ação da fumaça. Espera-se que formem produtos tóxicos na superfície externa dos colmos, além da degradação do amido, com menor atratividade ao caruncho.

b) Métodos químicos: São mais eficientes se comparados aos tradicionais. Os produtos químicos utilizados nesse procedimento devem ser tóxicos aos organismos xilófagos, porém, inofensivos ao homem e aos animais. Subdividem-se em oleosos, oleossolúveis e hidrossolúveis.

- Produtos oleosos: O sistema mais utilizado à base de produtos oleosos, é o banho quente/frio, sendo o creosoto o produto oleoso mais utilizado. Este tratamento é indicado para peças com papel estrutural, tais como pilares, esteios e mourões.

- Produtos oleossolúveis: Requer que os colmos de bambu sejam submersos na solução por sete dias à temperatura ambiente. O pentaclorofenol (pó-da-China), apesar da restrição de venda em diversos países, é um produto oleossolúvel amplamente utilizado para o tratamento de madeiras podendo também ser utilizado no tratamento do bambu. Entretanto, para que não ocorra alteração na coloração dos colmos, é necessário utilizar um solvente.

- Hidrossolúveis: Constituídos pela associação de vários sais, os produtos solúveis em água, possuem soluções aquosas que penetram no bambu e reagem com a lignina (principal constituinte do bambu, após a celulose), formando-se, então, compostos insolúveis, tóxicos aos organismos xilófagos. Os sais mais utilizados são o sulfato de cobre ou de zinco, dicromato de sódio ou de potássio e o ácido bórico ou crômico. Em colmos secos, aplica-se o processo da imersão na solução preventiva. Já em colmos verdes - de até 2,5m de comprimento - utiliza-se o método da substituição da seiva através da transpiração.

4.2 Propriedades Mecânicas do Bambu

No que concerne às propriedades estruturais do bambu, Janssen (2000) menciona que se forem levadas em consideração as relações resistência/massa específica e rigidez/massa específica, tais valores superam a madeira e o concreto, de tal forma que podem ser comparáveis inclusive com o aço.

Beraldo (1987) afirma, em estudo realizado sobre as características físico-mecânicas de algumas espécies de bambu, que o principal empecilho relaciona-se à inexistência de normas para a execução dos ensaios. Em seus experimentos, fundamentou-se em normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) para madeira, todavia, como as características geométricas desses materiais são distintas, os resultados obtidos não foram precisos.

Para Guimarães (2017), uma das principais dificuldades encontradas em pesquisas brasileiras voltadas para a aplicação estrutural do bambu, diz respeito à ausência de normas específicas na série NBR, obrigando os pesquisadores a considerarem as normas suíças ISO/TR 22157/1/2004 e ISO/TR 22157/2/2004 (Bamboo - Determination of physical and mechanical properties).

Segundo Llerena (2015), os bambus mais indicados para uso estrutural, isto é, os que apresentam melhores propriedades físicas e mecânicas, são os pertencentes aos gêneros *Guadua* (conhecido no Brasil como Taguaruçu), *Dendrocalamus* (denominado bambu gigante ou bambu balde) e *Phyllostachys pubescens*.

A seguir estão descritas as principais características dessas espécies.

- *Guadua angustifolia* é uma espécie de bambu gigante com elevadas propriedades mecânicas e grande durabilidade natural dos colmos. É extensivamente utilizado como material de construção para casas de baixo custo no Equador, (Figura 6).

Figura 6 – Bambu da espécie *Guadua angustifolia*.



Fonte: Beraldo (2008).

- *Dendrocalamus asper* é uma espécie de bambu gigante muito utilizado em construções devido à sua resistência e durabilidade. (Figura 7).

Figura 7 – Bambu da espécie *Dendrocalamus asper*.



Fonte: Beraldo (2008).

- *Phyllostachys pubescens* é uma espécie de bambu alastrante, de médio porte e uma das melhores espécies de bambu de clima temperado; os colmos são fortes, vigorosos e retos, adequados para ornamentação e construções. (Figura 8).

Figura 8 – Bambu da espécie *Phyllostachys pubescens*.



Fonte: Beraldo (2008).

Llerena (2015) ainda complementa que, os colmos dos bambus têm uma fração fibrosa estrutural que representa até 70% de sua massa, atribuindo-lhes elevada resistência mecânica à tração, compressão e flexão. A arquiteta argumenta que uma fita de bambu, quando comparada a uma de aço de mesmas dimensões, tem maior resistência à tração. Entretanto, dentre suas desvantagens, tem-se à falta de divulgação das técnicas construtivas e de uma cultura de plantio em áreas degradadas.

O bambu apresenta excelentes características mecânicas como leveza, força, dureza, conteúdo de fibras, flexibilidade e facilidade de trabalho, ideais para diferentes propósitos tecnológicos (NOGUEIRA, 2009 apud GHAVAMI, 2003).

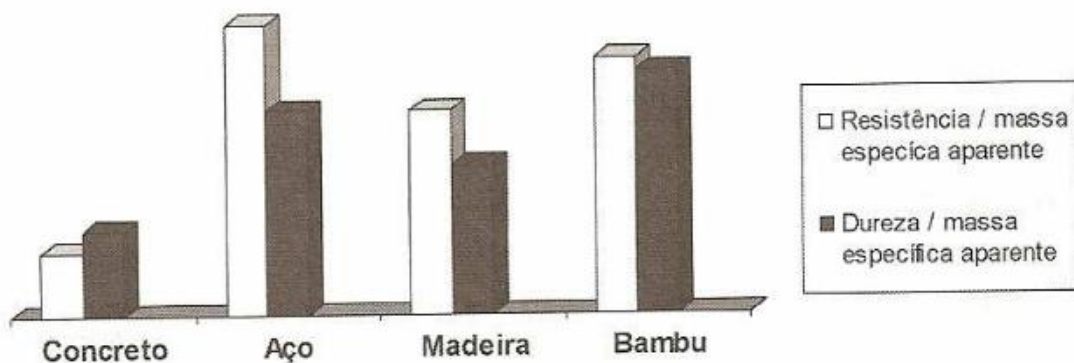
Para Carrasco et al. (1995), o bambu é um material heterogêneo e ortotrópico, desta forma, apresenta coeficientes elásticos que variam conforme a direção anatômica analisada. Diversos fatores podem interferir na resistência mecânica do bambu tais como espécie, teor de umidade, condições climáticas, idade e época de colheita.

Beraldo apud Zhou (2000), constatou, considerando a espécie *Phyllostachys pubescens*, que as resistências à compressão e à tração do bambu aumentam até o sexto ano, ao mesmo tempo que os colmos que apresentaram maior resistência à flexão haviam idade superior há oito anos. Liese (1985), complementa que os colmos

na condição seca possuem resistência elevada em relação aos colmos na condição verde.

Os resultados obtidos por Janssen (2000) revelaram que, uma mesma espécie de bambu, pode sofrer grandes variações em sua resistência, quando comparada ao aço. O autor ainda salienta que a propriedade física que mais interfere nas propriedades mecânicas é a massa específica aparente, a qual depende de algumas variáveis. Na Figura 9 representa-se um comparativo de resistência e de dureza de alguns materiais tomados em relação à sua massa específica aparente. É possível mencionar que o bambu é inferior somente ao aço no que tange à relação resistência/massa específica aparente.

Figura 9 – Relação entre resistência e a dureza, em relação à massa específica aparente, para bambu e outros materiais.



Fonte: JANSSEN (2000).

A respeito da umidade dos colmos, Beraldo et al. (2003), relataram que após o corte do colmo, é necessário aguardar um período de um a quatro meses, para secagem ao ar, visando atingir uma umidade entre 10% e 15%. O processo de secagem, além de simplificar o transporte, uma vez que reduz significativamente a massa do colmo, proporciona o aumento da resistência mecânica.

Conforme Ferreira (2002), a umidade do bambu diminui com a altura do colmo e varia com a idade e estação do ano. Um bambu verde pode ter aproximadamente 100% a 125% de umidade com 1,5 anos de idade e 70% a 95% em colmos maduros. Ferreira ainda observou que a umidade ótima do bambu varia de 15% a 20%, podendo-se chegar a estes valores por secagem natural ou em estufa.

Com relação à compressão simples, Pereira e Beraldo (2008), sustentam que os estudos realizados no Brasil, apresentaram grande variabilidade nos resultados.

Contudo, a resistência média dos corpos de prova cilíndricos é transcendente a dos que tiveram algum tipo de modificação geométrica.

Estudos demonstram que, para as espécies *B. tuldoides* e *P. aurea*, as resistências à compressão simples obtidas ficam em torno de 67 MPa e 79 MPa, respectivamente. Para amostras de *Phyllostachys sp* e *Phyllostachys purpuratta*, encontrou-se valores de 55 MPa e 65 MPa, respectivamente. Já para a espécie *G. angustifolia*, a resistência a compressão média dos colmos com idade de 5 anos foi de 70 MPa, enquanto que em colmos da mesma espécie com idade de 1 ano, a resistência média foi de 26 MPa. Consoante Ferreira (2007), a resistência à compressão axial do bambu situa-se entre 31 MPa e 72 MPa, variando conforme a idade dos colmos.

Apesar da grande dispersão nos valores obtidos nos diferentes estudos e espécies, é possível verificar que tais valores de compressão são consideravelmente maiores que àqueles apresentados pelo concreto convencional, cuja resistência varia de 15 a 20 MPa.

Quanto à tração paralela, na região externa do bambu, pode-se obter resultados da ordem de 260 MPa. Alguns autores salientam que a resistência à tração é cerca de 2,5 a 3,5 vezes a sua resistência à compressão. Em algumas espécies, esse valor pode chegar a 370 MPa, o que torna atrativo o uso do bambu como substituto para o aço, principalmente se levada em consideração sua massa específica aparente.

Os autores observaram, ainda, que a literatura disponível fornece valores entre 30 MPa e 170 MPa para ensaios de flexão estática.

No que tange à resistência ao cisalhamento, na direção transversal às fibras, os valores encontrados foram cerca de 30% dos obtidos na flexão, enquanto que na direção longitudinal, esse valor situa-se em torno de 15% da sua resistência à compressão.

4.3 Concreto com Adição de Bambu

Desde o início do século passado, diversos pesquisadores estudaram a possibilidade da utilização do bambu como aliado ao concreto. Contudo, poucas conclusões foram obtidas acerca do tema. (GHAVAMI e HOMBECK, 1981).

Atualmente, o bambu é o material, de origem vegetal, mais utilizado em pesquisas no concreto, devido a sua alta tração relativa, podendo chegar a 382 MPa, como o estudo de Lopez (2003).

Lima, Willrich e Fabro (2005), afirmaram que um dos primeiros estudos sobre a utilização do bambu como reforço em vigas de concreto armado realizado no Brasil, foi desenvolvido por Culzoni (1985) o qual observou o comportamento de duas vigas de concreto reforçadas com bambu e as comparou com uma viga de concreto armada com aço. Ele obteve resultados de rigidez e capacidade de carga inferiores às do aço. Todavia, em seu estudo não observou-se quaisquer critérios para dimensionamento tanto das tiras de bambu quanto das barras de aço.

Na Tabela 1, proposta por Janssen (1995), compara-se o consumo energético por material, demonstrando-se que o bambu consome menos energia se comparado a outros materiais.

Tabela 1 – Consumo energético por material.

| MATERIAL | ENERGIA (MJ/m³ por MPa) |
|-----------------|---|
| Aço | 1500 |
| Concreto | 240 |
| Madeira | 80 |
| Bambu | 30 |

Fonte: JASSEN (1995).

O “bambucreto”, como Pereira e Beraldo (2008) denominam o conjunto bambu e concreto, torna-se viável em obras nas quais não seja submetido a grandes esforços ou em casos que seja empregado em pequenos vãos – de até 3,5 m. Os autores reforçam que há relatos dessa associação anteriores à Segunda Guerra Mundial.

Pesquisas realizadas por Ghavami (2003), intitulam o autor como o pesquisador que mais se dedicou ao estudo do concreto reforçado por bambu, com enfoque na engenharia, no Brasil.

Oliveira e Vito (2012), submeteram seis vigas com dimensões de 12 cm de largura, 40 cm de altura e 300 cm de comprimento à ensaios de tração na flexão. Sendo três delas armadas com aço CA-50 e as demais armadas com 5,26cm² de bambu da espécie *Dendrocalamus giganteus*. Concluíram que as vigas armadas com

bambu apresentaram resistência em torno de 30% da resistência do aço para o mesmo ensaio. Na Figura 10, demonstra-se a disposição da armadura e dos estribos das vigas de bambu ensaiadas pelos autores. Os estribos foram de 5,0mm de diâmetro, espaçados por 20cm.

Figura 10 – Vigas de bambu com os estribos de aço.



Fonte: Oliveira e Vito (2012).

Na Figura 11, apresenta-se o ensaio de tração na flexão das vigas de concreto armado com bambu proposto pelos autores.

Figura 11 – Realização de ensaio de tração na flexão.



Fonte: Oliveira e Vito (2012).

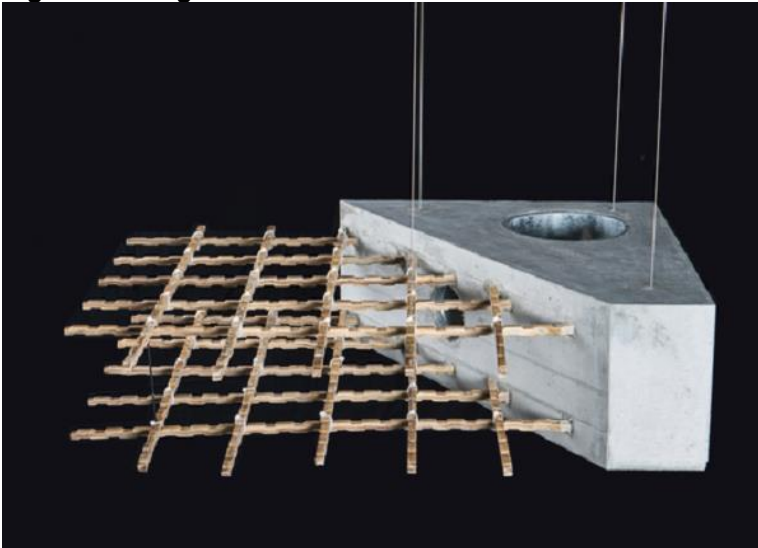
O bambu pode ser associado ao concreto de diferentes maneiras, desde sua forma roliça como em flocos ou em lâminas. Nas Figuras 12 e 13, ilustra-se sua aplicação em vigas de concreto.

Figura 12 – Viga de concreto armado com bambu roliço.



Fonte: Ferreira (2007).

Figura 13 – Viga de concreto armado com bambu em lâminas nervuradas.



Fonte: Ferreira (2007).

Carlessi (2010), em sua pesquisa, comparou fibras de aço com fibras de bambu, em pisos de concreto não armado, numa proporção de 15 quilogramas por metro cúbico de concreto como mostrado na Figura 14. Percebeu-se as amostras com adição de bambu tiveram resistência maior que as amostras sem adição, porém menores que as com fibras de aço.

Figura 14 – Fibras de bambu.



Fonte: Carlessi (2010).

Oliveira, Gouveia e Teixeira (2014) avaliaram o comportamento de concreto estrutural com adição de fibras de bambu e de cana de açúcar (Figura 15). 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.

Figura 15 – Fibras de bambu.



Fonte: Oliveira, Gouveia e Teixeira (2014).

Segundo Ferreira (2002), a utilização da associação bambu-concreto é dificultada pela baixa aderência entre esses materiais que pode estar correlacionado ao grau de saturação do colmo após o endurecimento do concreto, à retração e superfície do colmo, ou ainda à variação de temperatura.

Ferreira (2002) também verificou que corpos de prova com bambu entre 5% a 7,5% da área de concreto apresentaram maior durabilidade.

5 METODOLOGIA DE PESQUISA

Para a realização da parte experimental desta pesquisa, foram realizados os procedimentos descritos a seguir.

5.1 Bambuzal

A espécie de bambu utilizada neste trabalho foi a *Dendrocalamus barbatus*, originária da China que pode chegar a 18 metros de altura e 13 centímetros de diâmetro. Esta espécie é usada principalmente como matéria prima em construção, fabricação de papel, artesanato e paisagismo. Também pode ser usada para o preparo de alimentos, já que seus brotos são comestíveis.

Os colmos foram colhidos à beira da rodovia na entrada do município de Fernandópolis, no estado de São Paulo. Nas Figuras 16 e 17 são apresentadas a moita de bambu.

Figura 16 – Moita de bambu. Fernandópolis, São Paulo.



Fonte: Autoria própria (2018).

Figura 17 – Bambuzal. Fernandópolis, São Paulo.



Fonte: Autoria própria (2018).

Para a retirada dos colmos, foi utilizada uma serra manual e um facão como ilustrado na Figura 18.

Figura 18 – Colmo retirado com serra manual.



Fonte: Autoria própria (2018).

Depois de cortadas, as peças de bambu foram separadas em lâminas de seção transversal aproximadamente retangular, utilizando-se um facão (Figura 19). Evitou-

se retirar a casca do bambu, pois nela concentra-se maior resistência. (PEREIRA e BERALDO, 2008).

Figura 19 – Colmo já cortado com auxílio de um facão.



Fonte: Autoria própria (2018).

As tiras de bambu foram cortadas inicialmente com comprimento de 50 centímetros conforme a Figura 20. Foram cortadas peças em excesso, prevendo-se possíveis perdas devido ao transporte, quebra ou defeitos visuais em sua extensão.

Figura 20 – Lâminas finalizadas.



Fonte: Autoria própria (2018).

As lâminas finalizadas foram secas ao ar, ao abrigo de luz solar e umidade, por um período de um mês. Não ocorreu retração das peças nesse período.

Decorrido um mês de secagem e visto que faltavam aproximadamente 2 semanas para a moldagem das vigas, as peças foram amarradas com arame recozido para tentar diminuir a irregularidade ao longo de seu comprimento, já que muitas estavam tortas.

5.2 Ensaio Granulométricos

A fim de classificar os agregados utilizados para confecção do concreto, realizou-se ensaio granulométrico nos agregados miúdo e graúdo. Os ensaios foram realizados no laboratório de materiais da UTFPR – Campus Campo Mourão e regidos seguindo a NBR 7217 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1987). Ambos os agregados foram secos em estufa por um período de 24 horas.

5.2.1 Agregado miúdo

Pesou-se 1 Kg de areia seca em estufa com o auxílio de uma balança com capacidade mínima de 20 g e sensibilidade de 1 g, conforme a Figura 21.

Figura 21 – Balança utilizada nas pesagens.



Fonte: Autoria própria (2018).

A balança foi tarada com o recipiente utilizado para garantir precisão nos dados obtidos.

A seguir o agregado miúdo foi adicionado ao peneirador automático (Figura 22), o qual já estava com as peneiras da série normal apropriadamente colocadas.

Figura 22 – Peneirador automático.



Fonte: A autoria própria (2018).

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.

O material retido em cada peneira, além do fundo, foi separado e pesado (Figura 23).

Figura 23 – Pesagem do agregado miúdo.



Fonte: Autoria própria (2018).

Os resultados obtidos constam na Tabela 2.

Tabela 2 – Resultados obtidos no ensaio granulométrico da areia.

| Peneira # (mm) | Peso Retido (g) | % Retida | % Retida Acumulada |
|-------------------|--------------------|----------|--------------------|
| 4,8 | 4,0 | 0,4 | 0,4 |
| 2,4 | 3,0 | 0,3 | 0,7 |
| 1,2 | 14,0 | 1,4 | 2,1 |
| 0,6 | 88,0 | 8,8 | 10,9 |
| 0,3 | 670,0 | 67 | 77,9 |
| 0,15 | 203,0 | 20,3 | 98,2 |
| Fundo | 18,0 | 1,8 | 100,0 |
| TOTAL | 1000,0g | 100% | |

Fonte: Autoria própria (2018).

Calculou-se o módulo de finura (MF) pela equação 1.

$$MF = \sum \frac{\% \text{ Retida Acumulada} - \text{Fundo}}{100} \quad \text{Equação (1)}$$

Sendo assim,

$$MF = \frac{190,2}{100} = 1,902$$

Por norma, a classificação do agregado miúdo é dada pela Tabela 3.

Tabela 3 – Classificação do agregado miúdo.

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

Fonte: NBR 7217 (1987).

Com $MF < 2,4$, logo o agregado miúdo utilizado é classificado como areia fina.

5.2.2 Agregado graúdo

Realizaram-se os mesmos procedimentos para a obtenção da granulometria do agregado miúdo, diferenciando apenas a série de peneiras e a forma de classificação prevista na norma.

Os resultados obtidos constam na Tabela 4.

Tabela 4 – Resultados obtidos no ensaio granulométrico da brita.

| Peneira # (mm) | Peso Retido (g) | % Retida | % Retida Acumulada |
|---------------------------|----------------------------|-----------------|---------------------------|
| 19 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 12,5 | 34,0 | 3,4 | 3,4 |
| 9,5 | 8,0 | 0,8 | 4,2 |
| 5,6 | 508,0 | 50,8 | 55,0 |
| 4,8 | 213,0 | 21,3 | 76,3 |
| Fundo | 237,0 | 23,7 | 100,0 |
| TOTAL | 1000,0g | 100% | |

Fonte: Autoria própria (2018).

Para obtenção da Dimensão Máxima característica (D.M.C.), deve-se analisar a coluna da % Retida Acumulada de cima para baixo, o primeiro valor maior que 5% corresponde a uma abertura de peneira, logo o D.M.C. é igual a abertura de peneira imediatamente superior.

Por norma, a classificação do agregado graúdo é dada pela Tabela 5.

Tabela 5 – Classificação do agregado graúdo.

| D.M.C. | Brita |
|--------|---------------|
| 9,5 mm | 0 ou pedrisco |
| 19 mm | 1 |
| 25 mm | 2 |
| 38 mm | 3 |
| 64 mm | 4 |

Fonte: NBR 7217 (1987).

Desta forma, como o primeiro valor maior que 5% corresponde a peneira 5,6 mm, devemos adotar a abertura imediatamente superior, ou seja, 9,5 mm. Sendo assim, o agregado graúdo utilizado foi classificado como brita 0 ou pedrisco.

5.3 Determinação da Consistência pelo Abatimento do Tronco de Cone

A fim de avaliar a consistência do concreto utilizado para moldagem das vigas prismáticas e dos corpos de prova cilíndricos, realizou-se o *Slump test* conforme descrito na NM 67 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1998).

Foi colocada uma amostra de concreto no cone especificado com 200 mm de diâmetro na base inferior, 100 mm de diâmetro na base superior e 300 mm de altura. Golpeou-se 25 vezes com uma haste de 600 mm de comprimento e após a retirada do cone, mediu-se a diferença de altura como indicado nas Figuras 24, 25 e 26.

Figura 24 – Ensaio do abatimento pelo tronco do cone.



Fonte: Autoria própria (2018).

Figura 25 – Retirada do cone.



Fonte: Autoria própria (2018).

Figura 26 – Abatimento obtido.



Fonte: Autoria própria (2018).

Para a moldagem de todas as amostras foi utilizado o mesmo traço e fator água cimento, desta forma, o ensaio foi realizado uma única vez, com um abatimento do concreto de 5 centímetros.

5.4 Moldagem dos Corpos de Prova

5.4.1 Corpos de prova prismáticos

Para o ensaio de tração na flexão foram confeccionadas doze vigas de concreto, sendo seis vigas sem bambu e seis com adição de bambu. Foram utilizadas formas com dimensões de 10 centímetros de largura, 10 centímetros de altura e 40

centímetros de comprimento, provenientes do laboratório de materiais da UTFPR Campus Campo Mourão.

Utilizou-se o Cimento CPV ARI (Alta Resistência Inicial) da marca Cauê para agilizar o procedimento. Conforme o fabricante, a resistência à compressão característica do concreto é de 25 MPa, enquanto que, a resistência à tração é cerca de 3 MPa. O módulo de elasticidade inicial do concreto adotado é estimado em 28 GPa. Esses valores variam de acordo com o traço e fator água cimento utilizado, portanto são uma estimativa.

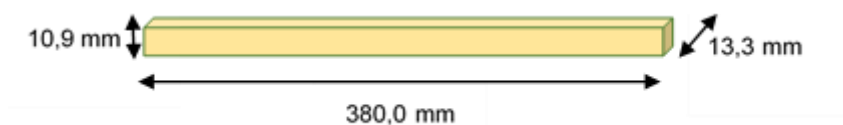
O traço adotado para moldagem das vigas foi de 1:2:3, com fator água/cimento de 0,62, por ser mais comumente utilizado na construção civil e o mesmo encontrado em trabalhos semelhantes.

Devido à problemas na betoneira no dia da confecção dos corpos de prova, o concreto foi misturado manualmente com o auxílio de uma enxada.

As vigas sem bambu foram confeccionadas conforme a NBR 5738 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008). Já as vigas com bambu, devido à ausência de normas, foram confeccionadas de acordo com pesquisas anteriores.

Deixou-se um cobrimento de 2 centímetros, as lâminas de bambu possuíam 38 centímetros de comprimento com seção transversal média de 10,9 mm x 13,3 mm (Figura 27). As lâminas de bambu foram adicionadas aos pares apenas na porção tracionada da viga (seção inferior) como apresentado na Figura 28.

Figura 27 – Dimensões da lâmina de bambu.



Fonte: Autoria própria (2018).

Figura 28 – Disposição das armaduras de bambu na forma.



Fonte: A autoria própria (2018).

É válido ressaltar que, apesar de anteriormente mencionado a importância do tratamento preservativo dos colmos de bambu para sua utilização e durabilidade, levando-se em consideração que os ensaios possuem curta duração, as lâminas foram utilizadas *in natura*, apenas secas ao ar.

Utilizou-se a mesa vibratória para adensamento do concreto, em ambas as configurações de vigas.

Na Figura 29 tem-se as vigas finalizadas. Observa-se que, a vigas com bambu, visualmente, não diferiram das vigas sem bambu.

Figura 29 – Corpos de prova prismáticos com bambu finalizados.



Fonte: A autoria própria (2018).

5.4.2 Corpos de prova cilíndricos

Para os ensaios de compressão axial e módulo de elasticidade, foram confeccionados doze corpos de prova cilíndricos com 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura, sendo seis deles sem bambu e seis com adição de bambu.

O concreto foi o mesmo utilizado para as vigas, portanto com as mesmas condições de traço, trabalhabilidade, resistência e cura.

Para os corpos de prova sem bambu seguiu-se a norma de moldagem e cura de corpos de prova NBR 5738 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008). Já para os corpos de prova com bambu, devido à ausência de normas específicas na série NBR, utilizou-se os critérios adotados em outros trabalhos que tinham por objetivo a comparação entre aço e bambu.

Para o presente trabalho, com base nos trabalhos de Carlessi e Oliveira et al., anteriormente citados, foram utilizadas fibras de bambu, em proporção de 2% da massa de concreto, cortadas cuidadosamente com o auxílio de uma faca de uso doméstico, como ilustrado na Figura 30.

Figura 30 – Fibras de bambu cortadas com faca.



Fonte: Autoria própria (2018).

As fibras de bambu com espessura média de 3mm, foram cortadas em comprimentos variando-se de 4 centímetros a 6,5 centímetros. O resultado é apresentado na Figura 31.

Figura 31 – Fibras de bambu finalizadas.



Fonte: Autoria própria (2018).

Para garantir que todos os corpos de prova tivessem 2% de fibras em massa, calculou-se o equivalente a 2% da massa de concreto contida em um corpo de prova cilíndrico, totalizando 80g de fibras de bambu por corpo de prova. As amostras foram pesadas e separadas (Figura 32).

Figura 32 – Fibras de bambu pesadas e separadas.



Fonte: Autoria própria (2018).

Para garantir a uniformidade de distribuição de fibras em todo o corpo de prova, cada amostra separada foi misturada manualmente, junto ao concreto equivalente, para preencher um molde cilíndrico como apresentado na Figura 33.

Figura 33 – Fibras de bambu misturadas manualmente com o concreto.



Fonte: Aatoria própria (2018).

Por fim, os corpos de prova cilíndricos foram moldados e adensados na mesa vibratória (Figura 34).

Figura 34 – Corpos de prova cilíndricos moldados.



Fonte: Aatoria própria (2018).

5.5 Cura dos Corpos de Prova Prismáticos e Cilíndricos

Tanto os corpos de prova prismáticos, como os corpos de prova cilíndricos, foram desformados no dia seguinte e colocados em câmara úmida para realizar-se o processo de cura.

Nas Figuras 35 e 36, ilustra-se as vigas e corpos de prova cilíndricos, respectivamente, já desmoldados na câmara úmida.

Figura 35 – Corpos de prova prismáticos na câmara úmida.



Fonte: Autoria própria (2018).

Figura 36 – Corpos de prova cilíndricos na câmara úmida.



Fonte: Autoria própria (2018).

Após sete dias, quando o concreto utilizado atingiu a máxima resistência, os corpos de prova cilíndricos com adição de bambu foram retificados a fim de retirar possíveis rebarbas em sua superfície provenientes das fibras de bambu. Em seguida, todos os corpos de prova foram encaminhados para o laboratório de estruturas da UTFPR – Campus Campo Mourão, onde foram realizados os ensaios.

5.6 Procedimentos para Realização dos Ensaios

5.6.1 Ensaio de tração à flexão

Primeiramente, realizou-se o ensaio de tração à flexão, sendo os doze corpos de prova prismáticos ensaiados na máquina universal de ensaios, Emic DL30000F, com um vão livre de 350mm, como mostrado na Figura 37. Adotou-se como esquema estático uma viga simplesmente apoiada com duas forças concentradas nos terços do vão, conforme indica a NBR 12142 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2010).

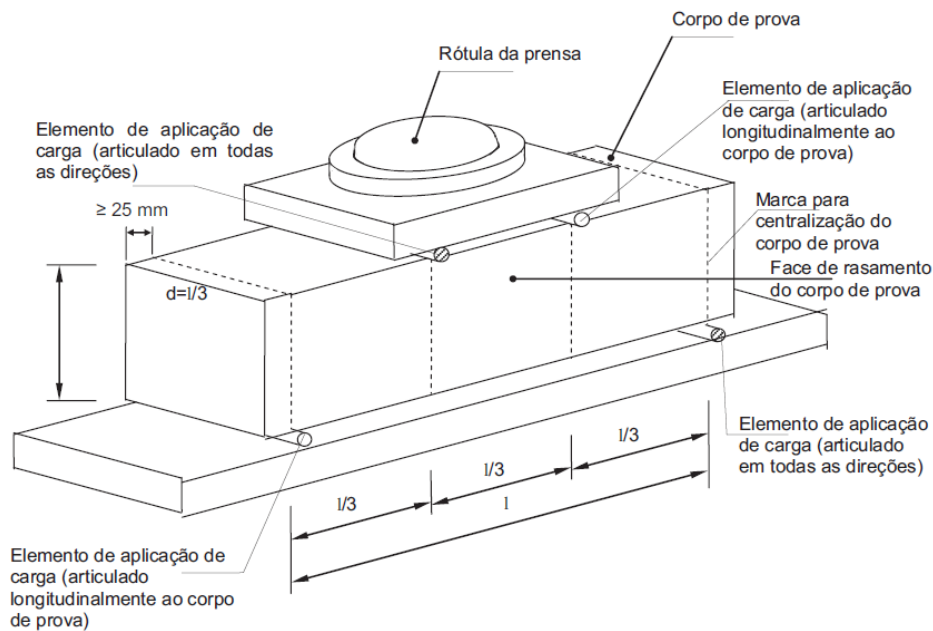
Figura 37 – Posicionamento da viga na máquina universal.



Fonte: Autoria própria (2018).

Na Figura 38 ilustra-se esquematicamente o dispositivo auxiliar para realização do ensaio a ser acoplado à máquina.

Figura 38 – Desenho esquemático do corpo de prova na máquina.

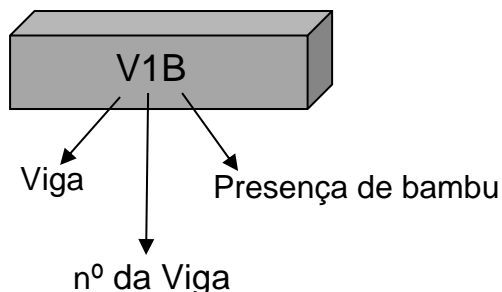


Fonte: NBR 12142 (2010).

Para garantir que o carregamento ficasse exatamente no terço do vão livre, foram traçadas linhas na face de rasamento e na face oposta (face correspondente ao fundo da forma).

Os corpos de prova foram nomeados para facilitar a identificação e análise dos resultados. Os corpos de prova com presença de bambu foram identificados por um B junto ao número do corpo de prova e de um V, indicando que trata-se de uma viga. (Figura 39). Os corpos de prova sem bambu foram nomeados igualmente, trocando-se o B por S.

Figura 39 – Nomeação das vigas.



Fonte: Autoria própria (2018).

De acordo com a NBR 12142 (2010), a resistência à tração na flexão deve ser calculada de acordo com a equação 2.

$$f_{ct,f} = \frac{F.l}{b.d^2} \quad (2)$$

Onde:

$f_{ct,f}$ é a resistência à tração na flexão, expressa em megapascals (MPa);

F é a força máxima registrada na máquina de ensaio, expressa em Newtons (N);

L é a dimensão do vão entre apoios, expressa em milímetros (mm);

b é a largura média do corpo de prova, expressa em milímetros (mm);

d é a altura média do corpo de prova expressa em milímetros (mm).

A NBR 12142 (2010) estabelece que esta equação é válida somente se a ruptura ocorrer dentro do terço médio do corpo de prova. Como todos os corpos de prova atenderam a esta condição, calculou-se a resistência à tração desta forma.

5.6.2 Ensaio de compressão axial

Para o ensaio de compressão foram ensaiados doze corpos de prova cilíndricos, sendo seis sem bambu e seis com bambu, na máquina universal de ensaios, Emic DL30000F (Figura 40), conforme a NBR 5739 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007).

Figura 40 – Equipamento utilizado no ensaio de compressão.



Fonte: Autoria própria (2018).

Na Figura 41 é possível visualizar a diferença entre os corpos de prova cilíndricos com e sem bambu.

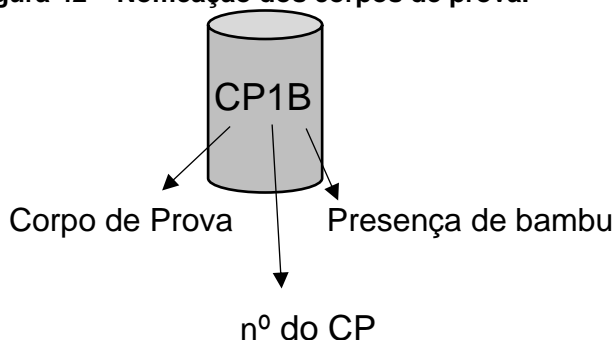
Figura 41 – Diferença visual entre um corpo de prova sem bambu e com bambu, respectivamente.



Fonte: Autoria própria (2018).

Assim como os corpos de prova prismáticos, os corpos de prova cilíndricos foram nomeados para facilitar a identificação e análise dos resultados. Os corpos de prova com presença de bambu foram identificados por um B junto ao número do corpo de prova e de um CP, indicando que se trata de um corpo de prova cilíndrico. (Figura 42). Os corpos de prova sem bambu foram nomeados igualmente, trocando-se o B por S.

Figura 42 – Nomeação dos corpos de prova.



Fonte: Autoria própria (2018).

De acordo com a NBR 5739 (2007), a resistência a compressão axial de corpos de prova cilíndricos deve ser calculada através da expressão 3:

$$f_c = \frac{4.F}{\pi.D^2} \quad (3)$$

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.

Mediu-se com o auxílio de um paquímetro dois diâmetros por corpo de prova e calculou-se a média.

Por norma, para corpos de prova com relação h/D menor do que 1,94, deve-se multiplicar a força F pelo fator de correção correspondente ao h/D encontrado, conforme indicado na Tabela 6.

Tabela 6 – Fatores de correção.

| | | | | | |
|--------------------------|------|------|------|------|------|
| Relação h/D | 2,00 | 1,75 | 1,50 | 1,25 | 1,00 |
| Fator de Correção | 1,00 | 0,98 | 0,96 | 0,93 | 0,87 |

Fonte: NBR 5739 (2007).

Para os corpos de prova confeccionados, tem-se h/D igual a 2,00, não necessitando utilizar-se o fator de correção.

5.6.3 Determinação do módulo de elasticidade

Para a determinação do módulo de elasticidade, ensaiou-se seis corpos de prova, sendo três com presença de bambu e três sem bambu. Utilizou-se a máquina universal de ensaios mecânicos e extensômetros acoplados ao corpo de prova como indicado na Figura 43.

Figura 43 – Corpo de prova pronto para ser ensaiado.



Fonte: Autoria própria (2018).

Optou-se por utilizar a metodologia da tensão σ_a fixa conforme a NBR 8522 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008). A metodologia consiste em quatro etapas, sendo elas:

Etapa 1) Carregar o corpo de prova até a força correspondente à tensão do limite superior (σ_b) e mantê-la neste nível por 60 segundos. A tensão σ_b equivale a 30% da tensão de ruptura (f_c) obtida através do ensaio de resistência à compressão.

Em seguida, deve-se descarregar o corpo de prova até uma força próxima de zero ou a primeira marcação correspondente a uma divisão da escala analógica. O prato superior da máquina de ensaios não deve perder o contato com o topo do corpo de prova.

Etapa 2) Carrega-se o corpo de prova até uma força correspondente à tensão de 0,5 MPa (σ_a) e mantém-se neste nível por 60 segundos. Em seguida, deve-se carregar o corpo de prova até uma força correspondente à tensão do limite superior (σ_b) e mantém-se a força neste nível por 60 segundos.

Deve-se descarregar o corpo de prova até uma força próxima de zero ou a primeira marcação correspondente a uma divisão da escala analógica. O prato superior da máquina de ensaio não deve perder o contato com o topo do corpo de prova.

Etapa 3) Repete-se a etapa 2.

Etapa 4) Carrega-se o corpo de prova até uma força correspondente à tensão de 0,5 MPa (σ_a) e mantém-se neste nível por 60 segundos. Registra-se as deformações lidas, ε_a , tomadas em no máximo 30 segundos.

Em seguida, carrega-se o corpo de prova até a força correspondente à tensão do limite superior (σ_b) e mantém-se neste nível por 60 segundos. Registra-se as deformações lidas, ε_b , tomadas em no máximo 30 segundos.

Após a leitura das deformações, libera-se a instrumentação (extensômetros) e carrega-se o corpo de prova na mesma taxa de velocidade utilizada durante as etapas até que se produza a ruptura, obtendo-se a resistência efetiva ($f_{c,ef}$).

Se $f_{c,ef}$ diferir de f_c em mais de 20% os resultados do corpo de prova devem ser descartados.

O módulo de elasticidade, E_{ci} , em gigapascals, é dado pela equação 4:

$$E_{ci} = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon} \cdot \frac{1}{10^3} = \frac{\sigma_b - 0,5}{\varepsilon_b - \varepsilon_a} \cdot \frac{1}{10^3} \quad (4)$$

Onde:

σ_b é a tensão maior, em megapascals; ($\sigma_b = 0,3f_c$);

0,5 é a tensão básica, expressa em megapascals (MPa);

ε_b é a deformação específica média dos corpos de prova sob tensão maior;

ε_a é a deformação específica média dos corpos de prova sob tensão básica (0,5 MPa).

6 RESULTADOS

A partir dos ensaios realizados, foram obtidos os resultados apresentados a seguir.

6.1 Ensaio de Tração à Flexão

Os valores obtidos no ensaio de tração à flexão em cada corpo de prova sem bambu constam na Tabela 7.

Tabela 7 – Resistência à tração na flexão das vigas sem bambu.

| Corpo de Prova | Largura (mm) | Altura (mm) | Área (mm²) | Força Máx. (N) | Tensão (MPa) |
|---------------------------------|---------------------|--------------------|------------------------------|-----------------------|---------------------|
| V1S | 101,75 | 106,75 | 10861,81 | 12045,84 | 3,64 |
| V2S | 107,45 | 105,70 | 11357,47 | 10559,46 | 3,08 |
| V3S | 104,30 | 103,00 | 10742,90 | 9527,26 | 3,01 |
| V4S | 102,00 | 101,40 | 10342,80 | 8515,70 | 2,84 |
| V5S | 102,50 | 102,30 | 10485,75 | 10012,39 | 3,27 |
| V6S | 103,00 | 103,90 | 10701,70 | 10425,28 | 3,28 |
| Média | | | | | 3,19 |
| Desvio Padrão | | | | | 0,277 |
| Coefficiente de Variação | | | | | 8,696% |

Fonte: Autoria própria (2018).

Nota-se que a resistência à tração das vigas sem bambu ficou próximo a resistência à tração característica do concreto utilizado. Além disso, o coeficiente de variação indica baixa dispersão em torno da média.

Já os resultados obtidos em cada corpo de prova com bambu constam na Tabela 8.

Tabela 8 – Resistência à tração na flexão das vigas com bambu.

| Corpo de Prova | Largura (mm) | Altura (mm) | Área (mm ²) | Força Máx. (N) | Tensão (MPa) |
|---------------------------------|--------------|-------------|-------------------------|----------------|---------------|
| V1B | 102,00 | 98,75 | 10072,50 | 9971,11 | 3,51 |
| V2B | 103,00 | 103,30 | 10639,90 | 11684,57 | 3,72 |
| V3B | 103,90 | 104,00 | 10805,60 | 10074,33 | 3,14 |
| V4B | 102,45 | 103,95 | 10649,68 | 12561,94 | 3,97 |
| V5B | 103,20 | 104,30 | 10763,76 | 12066,48 | 3,76 |
| V6B | 102,75 | 102,20 | 10501,05 | 10383,99 | 3,39 |
| Média | | | | | 3,58 |
| Desvio Padrão | | | | | 0,296 |
| Coefficiente de Variação | | | | | 8,270% |

Fonte: A autoria própria (2018).

Da Tabela 8 conclui-se que a resistência à tração média das vigas com bambu ficou próxima a resistência à tração média das vigas sem bambu, com um acréscimo de 12,23% em relação a estas. Apesar do ganho de resistência não ser expressivo na presença do bambu, durante a realização do ensaio, notou-se que o bambu conferiu ao concreto um comportamento elasto-plástico. Além disso, o coeficiente de variação indica baixa dispersão em torno da média.

Na realização do ensaio observou-se que o bambu que deveria desempenhar o papel de armadura de flexão flutuou no concreto, permanecendo próximo à metade da altura da viga como mostrado na Figura 44. Tal evento pode ter acontecido durante o adensamento dos corpos de prova pela mesa vibratória, uma vez que não tomou-se o cuidado de amarrar o bambu à forma. Este detalhe pode ter comprometido os resultados obtidos no ensaio.

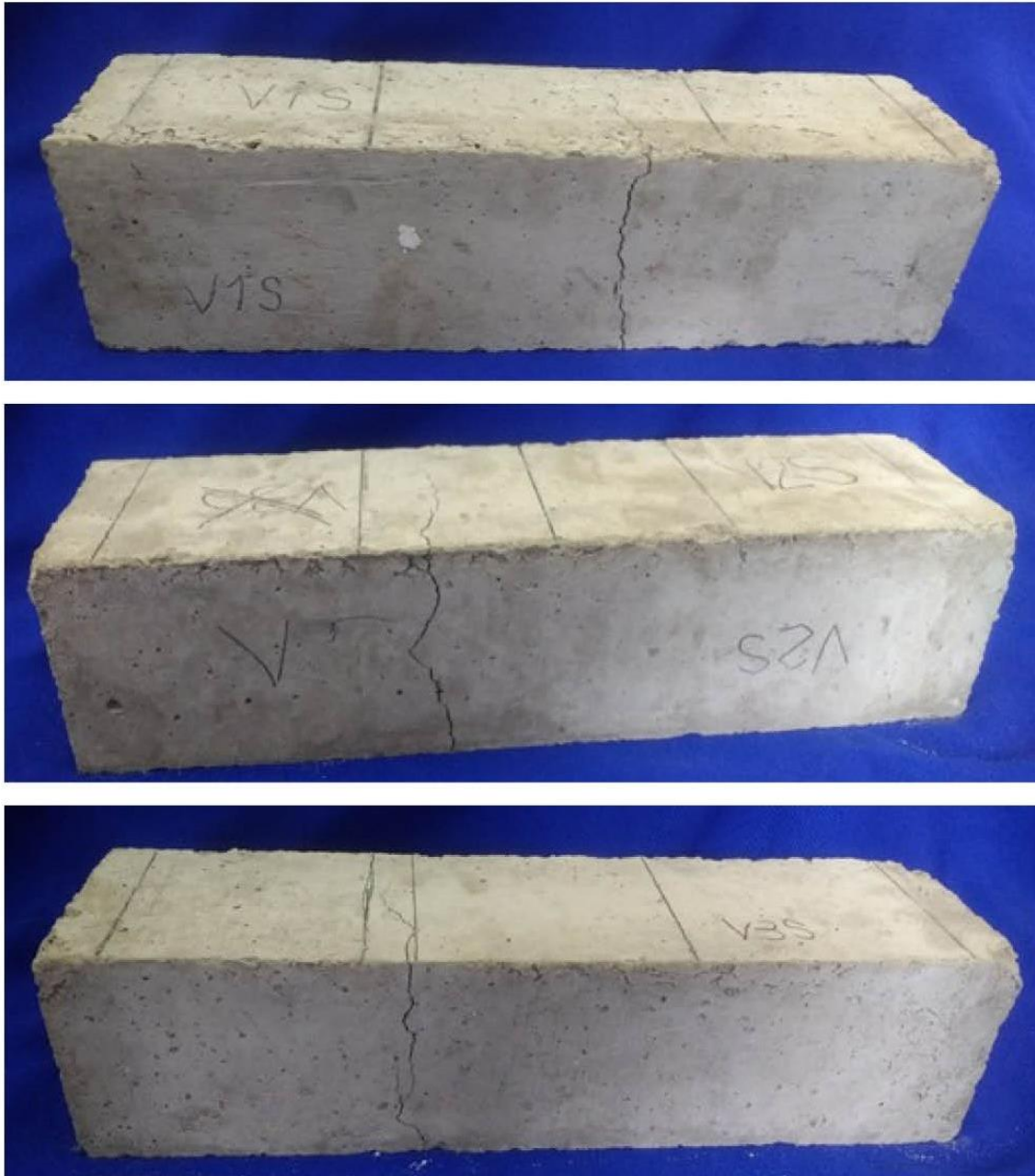
Figura 44 – Localização do bambu na viga durante a ruptura.



Fonte: A autoria própria (2018).

A ruptura dos corpos de prova deu-se por cisalhamento, todos no terço médio do vão entre apoios como apresentado nas Figuras 45 e 46.

Figura 45 – Corpos de prova V1S, V2S e V3S após realização do ensaio.



Fonte: Autoria própria (2018).

Figura 46 – Corpos de prova V4S, V5S e V6S após realização do ensaio.



Fonte: Autoria própria (2018).

Devido à dificuldade em romper o bambu e para evitar que ocorresse qualquer dano no equipamento, optou-se por retirar os corpos de prova com bambu quando o concreto destes já estivesse completamente comprometido e apenas o bambu estava sendo submetido à flexão. Nas Figuras 47 e 48 visualiza-se a ruptura das vigas com bambu.

Figura 47 – Corpos de prova V1B, V2B e V3B após realização do ensaio.



Fonte: Autoria própria (2018).

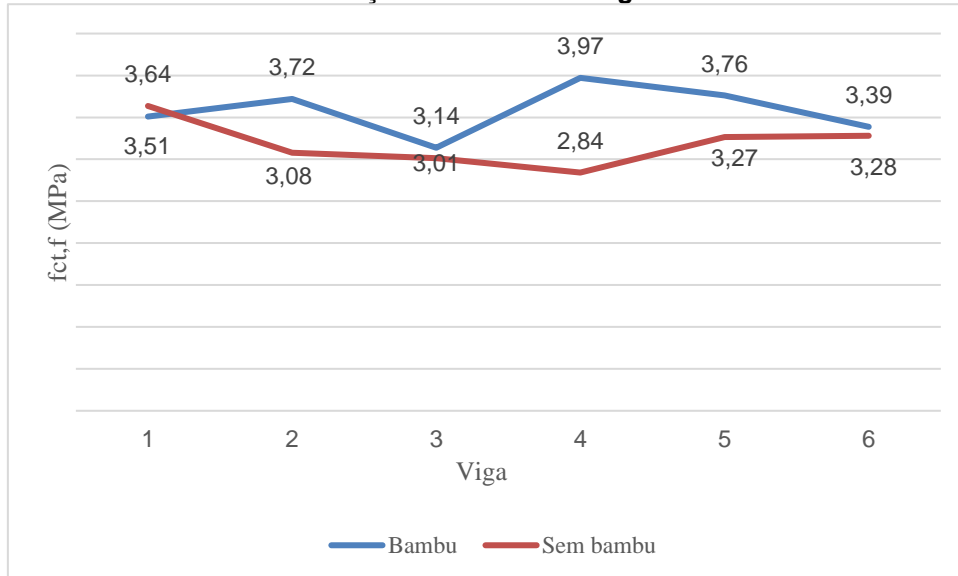
Figura 48 – Corpos de prova V4B, V5B e V6B após realização do ensaio.



Fonte: Autoria própria (2018).

No Gráfico 1 compara-se a resistência à tração na flexão das vigas com e sem bambu.

Gráfico 1 – Resistência à tração na flexão das vigas ensaiadas.



Fonte: Autoria própria (2018).

A análise do Gráfico 1, reforça a proximidade dos resultados obtidos em ambos os tipos de viga e a baixa dispersão da resistência em cada corpo de prova prismático. É possível, ainda, visualizar o acréscimo na resistência à tração com a presença do bambu, mesmo que diminuto.

6.2 Ensaio de Compressão Axial

Na Tabela 9, são apresentados os resultados obtidos no ensaio de compressão dos corpos de prova sem bambu.

Tabela 9 – Resistência à compressão dos CP sem bambu.

| Corpo de Prova | Diâmetro médio (mm) | Área (mm ²) | Força (N) | Tensão (MPa) |
|---------------------------------|---------------------|-------------------------|-----------|---------------|
| V1S | 100,70 | 7964,32 | 190,29 | 23,89 |
| V2S | 99,95 | 7846,13 | 177,25 | 22,59 |
| V3S | 100,25 | 7893,30 | 185,33 | 23,48 |
| V4S | 100,25 | 7893,30 | 184,30 | 23,35 |
| V5S | 100,55 | 7940,61 | 184,30 | 23,21 |
| V6S | 100,90 | 7995,99 | 184,30 | 23,05 |
| Média | | | | 23,26 |
| Desvio Padrão | | | | 0,436 |
| Coefficiente de Variação | | | | 1,875% |

Fonte: Autoria própria (2018).

Nota-se que a média da resistência à compressão dos corpos de prova sem bambu foi próxima a resistência à compressão característica fornecida pelo fabricante do concreto utilizado. Além disso, o coeficiente de variação indica baixa dispersão em torno da média.

Na Tabela 10, apresenta-se os resultados obtidos nos corpos de prova com bambu.

Tabela 10 – Resistência à compressão dos CP com bambu.

| Corpo de Prova | Diâmetro médio (mm) | Área (mm²) | Força Máx. (N) | Tensão (MPa) |
|--------------------------------|----------------------------|------------------------------|-----------------------|---------------------|
| CP1B | 101,65 | 8115,30 | 81,15 | 10,00 |
| CP2B | 100,05 | 7861,84 | 71,15 | 9,05 |
| CP3B | 99,95 | 7846,13 | 80,58 | 10,27 |
| CP4B | 99,95 | 7846,13 | 77,63 | 9,89 |
| CP5B | 101,30 | 8059,51 | 40,00 | 4,96 |
| CP6B | 100,40 | 7916,94 | 40,00 | 5,05 |
| Média | | | | 8,20 |
| Desvio Padrão | | | | 2,510 |
| Coeficiente de Variação | | | | 30,592% |

Fonte: Autoria própria (2018).

Da Tabela 10 conclui-se que a resistência à compressão média dos corpos de prova com bambu ficou abaixo da resistência à compressão média dos corpos de prova sem bambu, com um decréscimo de 64,75% em relação a estes. Além disso, o coeficiente de variação indica alta dispersão em torno da média.

Durante a realização do ensaio, notou-se que os corpos de prova com bambu possuíam grande quantidade de fibras de bambu, ocupando boa parte do seu volume. Autores anteriormente citados, utilizando a mesma porcentagem em massa de fibras obtiveram resultados positivos, com ganhos de resistência superiores a 40%.

Com base na comparação das fotos das fibras de bambu utilizadas pelos demais autores e com as fibras utilizadas neste trabalho. As fibras aqui utilizadas, visualmente, são significativamente maiores que as utilizadas em outras pesquisas, o que pode ter acarretado no decréscimo da resistência à compressão e na repentina ruptura dos corpos de prova, comparado com os corpos de prova sem adição de

bambu. A ausência de ferramentas específicas culminou na diferença entre as fibras deste trabalho e das pesquisas base.

Diferentemente dos corpos de prova com bambu, os corpos de prova sem adição apenas apresentaram fissuras após o rompimento, permanecendo inteiros. Levando-se em consideração a brusca ruptura dos corpos de prova com adição de bambu e para evitar que o laboratório fosse sujo, optou-se por envolver os corpos de prova com plástico filme antes de coloca-los na máquina. Desta forma, foi fotografado apenas um corpo de prova com bambu não envolvido pelo plástico filme como ilustrado na Figura 49.

Figura 49 – Forma de ruptura do CP1B.



Fonte: Autoria própria (2018).

Na Figura 50 é possível notar fissuras no corpo de prova mesmo envolto com plástico filme.

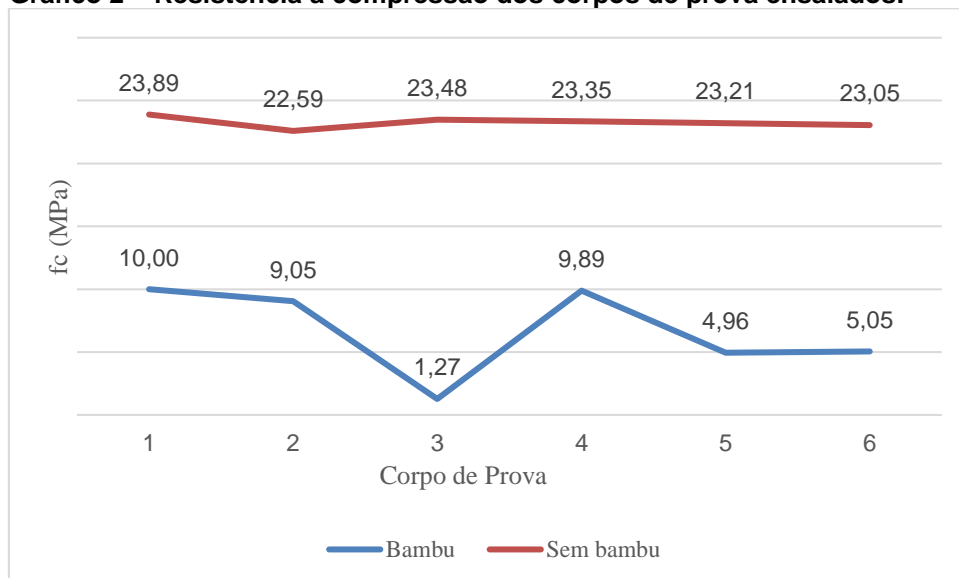
Figura 50 – Fissuras no corpo de prova envolto com papel filme.



Fonte: Autoria própria (2018).

No Gráfico 2 compara-se a resistência à compressão axial dos corpos de prova com e sem bambu.

Gráfico 2 – Resistência à compressão dos corpos de prova ensaiados.



Fonte: Autoria própria (2018).

A análise do Gráfico 2, reforça o decréscimo nos resultados obtidos nos corpos de prova com bambu e a grande dispersão da resistência em cada corpo de prova cilíndrico. É possível, ainda, visualizar a homogeneidade das resistências obtidas em

cada corpo de prova sem bambu enquanto que os corpos de prova com bambu apresentaram valores dispersos.

6.3 Determinação do Módulo de Elasticidade

Os resultados obtidos no ensaio de módulo de elasticidade são apresentados na Tabela 11.

Tabela 11 – Resultados obtidos para Módulo de Elasticidade.

| Corpo de Prova | Ruptura Prevista (kN) | Deformação em 0,5 MPa (%) | Deformação em 30% da ruptura prevista (%) | Tensão em 30% da ruptura prevista (MPa) | Módulo de Elasticidade (GPa) |
|---------------------------------|-----------------------|---------------------------|---|---|------------------------------|
| Sem Bambu | | | | | |
| CP4S | 184,30 | 0,001 | 0,051 | 7,10 | 13,20 |
| CP5S | 184,30 | 0,003 | 0,050 | 6,96 | 13,74 |
| CP6S | 184,30 | 0,146 | 0,189 | 6,91 | 14,91 |
| Média | | | | | 13,95 |
| Desvio Padrão | | | | | 0,874 |
| Coefficiente de Variação | | | | | 6,266% |
| Com Bambu | | | | | |
| CP4B | 77,63 | 0,005 | * | * | * |
| CP5B | 40,00 | 0,013 | 0,081 | 1,48 | 1,44 |
| CP6B | 40,00 | 0,003 | 0,012 | 1,50 | 11,11 |
| Média | | | | | 6,28 |
| Desvio Padrão | | | | | 6,838 |
| Coefficiente de Variação | | | | | 109% |

*O CP4B rompeu antes de atingir 30% da ruptura prevista.

Fonte: Autorial própria (2018).

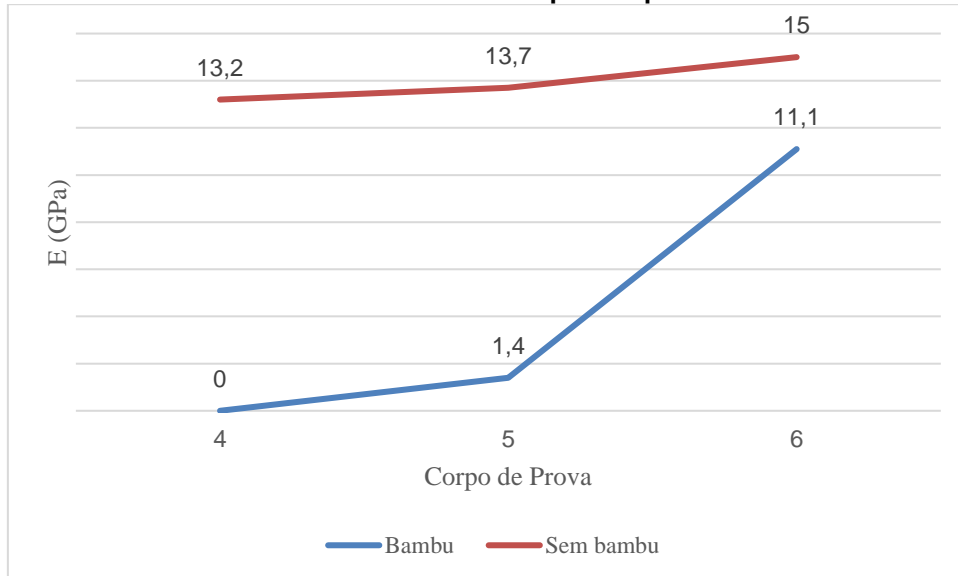
Da Tabela 11 conclui-se que módulo de elasticidade dos corpos de prova sem bambu diferiu em 50,18% do módulo de elasticidade do cimento apresentado pelo fabricante. Além disso, o módulo de elasticidade dos corpos de prova com bambu ficou abaixo do módulo de elasticidade dos corpos de prova sem bambu, tendo uma redução de 54,98% em relação a estes. O coeficiente de variação indica que os corpos de prova sem bambu apresentaram baixa dispersão, enquanto que, os corpos de prova com adição apresentaram uma dispersão nos resultados de mais de 100% em torno da média.

Assim como no ensaio de compressão axial, os corpos de prova foram envoltos em plástico filme para facilitar a limpeza do equipamento.

O rompimento do CP4B antes da finalização do ensaio, reitera a grande quantidade e espessura exagerada das fibras de bambu no corpo de prova.

No Gráfico 3 visualiza-se o módulo de elasticidade dos corpos de prova com e sem bambu.

Gráfico 3 – Módulo de elasticidade dos corpos de prova ensaiados.



Fonte: Aatoria própria (2018).

A análise do Gráfico 3, reforça o decréscimo nos resultados obtidos nos corpos de prova com bambu e a grande dispersão da resistência em cada corpo de prova cilíndrico. É possível, ainda, visualizar a homogeneidade dos módulos de elasticidade obtidos em cada corpo de prova sem bambu enquanto que os corpos de prova com bambu apresentaram valores muito dispersos.

Comparando-se, ainda, os dois corpos de prova com adição de bambu cujo ensaio foi finalizado, observa-se grande variação nos módulos de elasticidade obtidos, que pode ser explicada pela deformação em 0,5 MPa a qual apresentou valores diferentes para a mesma ruptura prevista.

7 CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos nesta pesquisa, pode-se concluir que o bambu é utilizado como material na construção civil em muitos países, porém tem seu uso restrito em artesanato no Brasil. O bambu apresenta elevada resistência mecânica, principalmente à esforços de tração, apontando para seu potencial uso aliado ao concreto. Atualmente, é o material de origem vegetal mais utilizado em pesquisas no concreto, apontando para a viabilidade dessa associação em obras menores ou em pequenos vãos.

Os resultados obtidos evidenciam que as vigas com armadura de bambu, confeccionadas nesta pesquisa, apresentaram bons resultados quando submetidas à tração na flexão, mesmo com o bambu flutuando no concreto e não desempenhando a função proposta neste trabalho. As vigas com bambu resistiram 12,23% mais que as vigas sem bambu. Além disso, durante a realização do ensaio, notou-se que o bambu conferiu ao conjunto “bambucreto” um comportamento elasto-plástico.

No que tange os resultados obtidos nos corpos de prova cilíndricos, estes demonstraram que o bambu reduziu a resistência à compressão do concreto em 64,75% e diminuiu o módulo de elasticidade em 54,98% em relação aos corpos de prova sem adição de bambu. Tal fato pode ser explicado pelo excesso de fibras de bambu utilizadas e sua espessura, que diferiram muito da pesquisa base.

Conclui-se que, para esta pesquisa, o bambu é um material alternativo viável para a construção civil, do ponto de vista econômico e ambiental e levando-se em consideração apenas os ensaios aqui mencionados, atingindo elevada resistência à tração, podendo ser empregado como aliado ao concreto. Para tanto, são necessárias pesquisas voltadas para o desempenho do bambu como material estrutural, visto a dificuldade em encontrar material para este trabalho e a ausência de normas com a temática.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1987). **NBR 7217**: Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 1987.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1998). **NBR NM 67**: Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro: ABNT, 1998.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2007). **NBR 5739**: Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2007.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2008). **NBR 5738**: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2008). **NBR 8522**: Concreto – Determinação do módulo estático de elasticidade à compressão. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2010). **NBR 12142**: Determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.
- BERALDO, A. L. **Bambucreto – o uso do bambu como reforço do concreto**. In: Anais do XIX CONBEA – Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, Piracicaba, SP, 1987.
- BERALDO, A. L.; AZZINI, A.; GHAVAMI, K.; PEREIRA, M. A. R. **Bambu: características e aplicações**. In: FREIRE, W. J. e BERALDO, A. L. (Edit.). Tecnologias e Materiais Alternativos de Construção. Editora da Unicamp, 2003.
- CARLESSI, A. S. **Avaliação da substituição de fibra de aço por fibra de bambu em piso de concreto não armado**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade do Extremo Sul Catarinense. Criciúma, SC, 2010.
- CARRASCO, E. V. M.; MOREIRA, L. E.; XAVIER, P. V. **Bambu laminado e colado**. In: Anais do VEBRAMEM – Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira, Belo Horizonte, MG, 1995.
- CEOTTO, L. H. **A Construção Civil e o Meio ambiente: 1ª parte**. Notícias da Construção, ed. 51 e 52, São Paulo, SP, 2008.
- CULZONI, R. A. M. **Características dos bambus e sua utilização como material alternativo no concreto**. Dissertação de Mestrado. Pontifícia Universidade Católica. Rio de Janeiro, RJ, 1985.

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

FERREIRA, G. C. S. **Vigas de concreto armadas com bambu**. Dissertação de Mestrado. UNICAMP. Campinas, SP, 2002.

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

GHAVAMI, K. **Concreto reforçado com bambu**. In: FREIRE, W. J. e BERALDO, A. L. (Edit.). *Tecnologias e Materiais Alternativos de Construção*. Editora da Unicamp, 2003.

GHAVAMI, K.; HOMBEECK, R.V. **Application of bamboo as a construction material. Part I- Mechanical properties & water - repellent treatment of bamboo, Part II- Bamboo reinforced concrete beams**. In: Latin American Symposium on Rational Organization of Building Applied to Low Cost Housing, 1981.

GUIMARÃES, R. J. **Avaliação do uso de bambu como estrutura em alvenaria de blocos de solo-cimento**. Dissertação de Mestrado. UTFPR. Curitiba, PR, 2017.

JANSSEN, J. J. A. **Building With Bamboo: a Handbook**. Technical University of Eindhoven Eindhoven, The Netherlands. 1995.

JANSSEN, J. J. A. **Designing and building with bamboo**. INTERNACIONAL NETWORK OF BAMBOO AND RATTAN – INBAR. Beijing, China, 2000.

LIESE, W. **Bamboos – Biology, silvics, properties, utilization**. GTZ, Germany, 1985.

LIMA Jr, H. C.; WILLRICH, F. L.; FABRO, G. **Vigas de concreto reforçadas com bambu *Dendrocalamus giganteus*. II: modelagem e critérios de dimensionamento**. In: *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. UNIOESTE, Cascavel, PR, 2005.

LLERENA, C. L. **Construções de bambu**. Ebiobambu. <http://www.celinalago.com.br/2015/09/construcoes-de-bambu.html>. Acesso em 27/08/2017.

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

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

MARÇAL, V. H. S. **Bambu pode suportar carga superior à do próprio aço**. AECweb. Revista digital. <https://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/bambu-pode-suportar-carga-superior-a-do-proprio-aco.html>. Acesso em 28/08/2017.

NOGUEIRA, F. M. **Bambucon – Bambu reforçado com microconcreto armado**. Monografia. Escola de Engenharia UFMG. Belo Horizonte, MG, 2009.

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.

OLIVEIRA, C. S.; VITO, M. **Substituição total do aço, usando bambu como armadura de combate a flexão em vigas de concreto**. UNESC, Criciúma, SC, 2012.

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

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

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

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

SULTHONI, A. **Tradicional preservation of bamboo in Java**. In: Recents research on bamboos. RAO, A. N.; DHANARAJAN, G.; SASTRY, C. B. (Edit.). Proc. Third International Bamboo Workshop, 1987.

ZHOU, F. **Selected Works of Bamboo Research**. Nanjing, China: Research Editorial Committee. Nanjing Forestry University, 2000.