

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE ENGENHARIA  
CÂMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

**EDUARDO SANCHES CAL**

**ESTUDO DO USO DE TALISCAS DE BAMBU COMO ADIÇÃO À ARMADURA  
DE FLEXÃO DE LAJES TRELIÇADAS PRÉ-MOLDADAS DE CONCRETO  
ARMADO**

Ilha Solteira – SP  
2021

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JULIO DE  
MESQUITA FILHO" FACULDADE DE ENGENHARIA –  
CÂMPUS DE ILHA SOLTEIRA CURSO DE ENGENHARIA  
CIVIL

**ESTUDO DO USODE TALISCAS DE BAMBUCO COMO ADIÇÃO À ARMADURA  
DE FLEXÃO DE LAJES TRELIÇADAS PRÉ-MOLDADAS DE CONCRETO  
ARMADO**

Eduardo Sanches Cal

Orientador: PROF. DR. JOSÉ LUIZ PINHEIRO MELGES

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado à Faculdade de  
Engenharia do Câmpus de Ilha  
Solteira – UNESP, como parte dos  
requisitos para obtenção do grau de  
Engenheiro Civil.

ILHA SOLTEIRA – SP

2021

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

C141e Cal, Eduardo Sanches.  
Estudo do uso de taliscas de bambu como adição à armadura de flexão de lajes treliçadas pré-moldadas de concreto armado / Eduardo Sanches Cal. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2021  
81 f. : il.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 2021

Orientador: José Luiz Pinheiro Melges  
Inclui bibliografia

1. Talisca de bambu. 2. Laje treliçada. 3. Concreto armado.

  
Raiane da Silva Santos



## ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**CURSO** : ENGENHARIA CIVIL  
**ÁREA DE CONCENTRAÇÃO**: Estruturas  
**REALIZADA EM** : 16/11/2021  
**DISCENTE** : Eduardo Sanches Cal

**COMISSÃO EXAMINADORA:**

1. Prof. Dr. José Luiz Pinheiro Melges (Orientador)
2. Prof. Dr. Rogério de Oliveira Rodrigues (Examinador)
3. Eng. MsC. Guilherme Augusto Nascimento Amorim (Examinador)

**TÍTULO:** " ESTUDO DO USO DE TALISCAS DE BAMBU COMO ADIÇÃO À ARMADURA DE FLEXÃO DE LAJES TRELIÇADAS PRÉ-MOLDADAS DE CONCRETO ARMADO "

**Local:** Por videoconferência - WEB – Via Google Meet

**Horário de início:** 14 horas

Em sessão pública, após exposição em torno de 40 (quarenta minutos), o discente foi arguido oralmente, e no final da exposição foi **"APROVADO"** pelos membros componentes da Comissão Examinadora. Nada mais havendo, foi lavrada a presente ATA, a qual é assinada pelos membros da Comissão Examinadora e pelo discente.....

Ilha Solteira, 16 de setembro de 2021.

Prof. Dr. José Luiz Pinheiro Melges  
UNESP/FE Ilha Solteira  
(Orientador)

Prof. Dr. Rogério de Oliveira Rodrigues  
UNESP/FE Ilha Solteira  
(Examinador)

Eng. MsC. Guilherme Augusto Nascimento Amorim  
UNESP/FE Ilha Solteira  
(Examinador)

Ciente:

*Eduardo Sanches Cal*

Discente:

*Eduardo Sanches Cal*

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente, agradeço ao meu orientador, José Luiz Pinheiro Melges, por toda sua paciência, por todo seu esforço em ajudar e ensinar seus alunos.

Aos meus companheiros de laboratório, por toda ajuda e companheirismo, pois sozinho nenhum trabalho poderia ter sido feito.

Agradeço aos técnicos do laboratório, por toda competência e ajuda prestada ao longo de todos os trabalhos.

Ao grupo de pesquisa MAC (materiais alternativos de construção), pela oportunidade de poder fazer parte, e pela boa convivência e fraternidade entre os membros, que sempre se prontificam à ajudar outras pesquisas.

Por fim, agradeço ao PIBIC-CNPq pela oportunidade de ter sido agraciado com uma bolsa de iniciação científica, momento este em que todo o trabalho no laboratório começou.

## Resumo

O mundo vem vivendo um aumento da consciência sustentável, abrangendo conceitos de se viver em um mundo mais natural, com menos taxas de emissões de gases e de produção de resíduos. Esse ideal de sustentabilidade não foge da engenharia civil, que está sempre desenvolvendo novas pesquisas na área de materiais de construção. O bambu é tido como um excelente candidato para uso como substituto de materiais há muito consagrados, como, por exemplo, o aço. Seu potencial advém de uma série de excelentes propriedades mecânicas aliadas a uma fácil produção, coleta e manejo, além de rápido crescimento. Este trabalho traz um estudo sobre o uso do bambu da espécie *Bambusa vulgaris*, na forma de taliscas como um acréscimo à armadura de flexão de lajes treliçadas pré-moldadas unidirecionais de concreto armado, buscando trazer estudos sobre o desempenho deste material como possível substituto (ou complemento) do aço. Para o andamento deste estudo foram realizados estudos bibliográficos sobre o tema e ensaios experimentais conjuntamente com Amorim (2020).

*Palavras-chave: Talisca de Bambu, Laje Treliçada, Concreto Armado.*

# Sumário

<b>1. Introdução</b> .....	8
1.1. Objetivo.....	9
1.2. Justificativa.....	10
<b>2. Revisão Bibliográfica</b> .....	11
2.1 O bambu.....	11
2.1.1. O cultivo e manejo.....	14
2.1.2. Propriedades mecânicas .....	18
2.1.3. Propriedades físicas.....	24
2.2. Lajes Treliçadas unidirecionais pré-moldadas de concreto armado.....	26
2.2.1. Considerações iniciais .....	26
2.2.2. Considerações para o dimensionamento de lajes treliçadas unidirecionais.....	30
2.3. Estudos anteriores: o uso do bambu como elemento estrutural.....	34
2.3.1 Tsutsumoto (2016).....	34
2.3.2 Bertacchini et al. (2020).....	46
<b>3. Materiais e métodos</b> .....	51
3.1. Coleta, tratamento e preparo do bambu.....	52
3.2. Dosagem do concreto .....	54
3.3. Confecção das vigotas treliçadas pré-moldadas .....	56
3.4. Confecção das lajes .....	60
3.5. Ensaio de flexão a quatro pontos .....	64
<b>4. Resultados e discussões</b> .....	66
<b>5. Conclusão</b> .....	75
<b>Referências Bibliográficas</b> .....	76
<b>Referências Bibliográficas Complementares</b> .....	80

# 1. Introdução

Os materiais industrializados, já muito consagrados no meio da construção civil, segundo Isaia (2010), mobilizam vastos recursos financeiros, consomem uma enorme quantidade de energia e requerem um processo centralizado para sua obtenção, resultando em custo elevado para grande parte da população mundial, gerando consequências como o desemprego, crise habitacional em áreas rurais e em pequenas cidades. Além disto, o autor cita que estes materiais geram resíduos não renováveis que são inaproveitáveis, causando permanente poluição. Sendo assim, materiais ecológicos podem satisfazer a algumas exigências fundamentais dos dias de hoje, como minimização do consumo de energia, conservação dos recursos naturais, redução da poluição e manutenção de um ambiente saudável. Assim, são intensas as pesquisas em andamento sobre materiais não poluentes, como, por exemplo, fibras vegetais, bambu, solo, entre outros. Com base nos estudos sobre os seus respectivos comportamentos e suas respectivas aplicações, esses materiais vêm se apresentando como alternativas na construção. Por isso, poderiam ser muito mais aproveitados nos locais onde são encontrados em abundância.

As principais vantagens desses materiais ecológicos podem ser segundo Barros e Souza (2004), a minimização do impacto ambiental, aliada ao baixo custo e à facilidade de obtenção desses bens, sendo ainda alternativas para os indivíduos de menor poder aquisitivo, em virtude de suas utilizações na construção de edificações contribuírem para a solução dos problemas habitacionais. Em específicos o bambu, os autores comentam como é possível empregá-lo na composição de elementos da construção civil como forma geradora de renda e de diversificação da economia, bem como aplicá-lo no sistema de autoconstrução de moradias em regime de mutirão.

O estudo do bambu como elemento estrutural, segundo Ferreira (2007), vem sendo realizado há dezenas de anos no Brasil, e apresentando excelentes resultados em relação às suas características físicas e mecânicas, tendo alguns



pesquisadores iniciados, nas últimas décadas, estudos para viabilizar a aplicação deste vegetal como armadura em elementos de concreto.

Com relação ao uso do bambu em grande escala como material de engenharia economicamente viável e com possibilidade de industrialização, faz-se necessário, de acordo com Ghavami e Marinho (2005), um estudo científico sistemático, através dos processos de plantação, colheita, cura, tratamento e pós-tratamento, além de uma completa análise estatística das propriedades físicas e mecânicas do colmo do bambu. A partir desses estudos, seria possível estabelecer critérios confiáveis de dimensionamento e de emprego de processos industriais viabilizando economicamente o uso do bambu em grande escala.

Segundo Tsutsumoto (2016), já é sabido que o bambu tem sido estudado para ser utilizado como um elemento de reforço do concreto, chegando, em alguns casos, a ser um possível substituto do aço. Citando Ghavami e Marinho (2005), o bambu pode ser utilizado como fôrmas de pilares e lajes, assim como elemento de reforço em pilares, lajes e vigas.

Como exemplo de estudos de bambu como elemento de reforço de elementos de concreto armado, tem-se a pesquisa de Ferreira (2002), citada por Tsutsumoto (2016), onde a autora ensaia vigas com armaduras de aço, de bambu no estado natural e de bambu com tratamento de verniz e envolvido com arame farpado (como forma de melhorar a aderência bambu-concreto). Os resultados obtidos revelam um comportamento estrutural satisfatório do bambu como reforço estrutural no concreto; a autora reforça que com o aumento de 9 cm<sup>2</sup> de reforço de bambu a carga de ruptura quadruplicou, mostrando o bom desempenho do material bambu na composição do elemento estrutural estudado.

## 1.1. Objetivo

O intuito deste trabalho é estudar a influência da adição de bambu, da espécie *Bambusa vulgaris*, a armadura de flexão de lajes unidirecionais treliçadas de concreto armado, verificando o seu desempenho com relação à sua resistência e comportamento a flexão.

## 1.2. Justificativa

A inspiração para se realizar este trabalho se deve a uma necessidade crescente do campo de pesquisa da engenharia civil para a descoberta e aplicação de novos materiais, tidos como sustentáveis, como opção favorável de uso em detrimento aos já largamente utilizados na indústria de construção, que se demonstraram altamente poluidores, não renováveis e muito dependentes de processos de fabricação em escala industrial. O bambu é um dos insumos que se mostrou como candidato ideal para este estudo, visto a sua grande capacidade de uso na construção civil, aliado às suas importantes características de ser um material renovável, pouco poluidor e de fácil obtenção na natureza, inclusive no território brasileiro, podendo ser um provável substituto aos insumos já consagrados do ramo de construção civil.

## 2. Revisão Bibliográfica

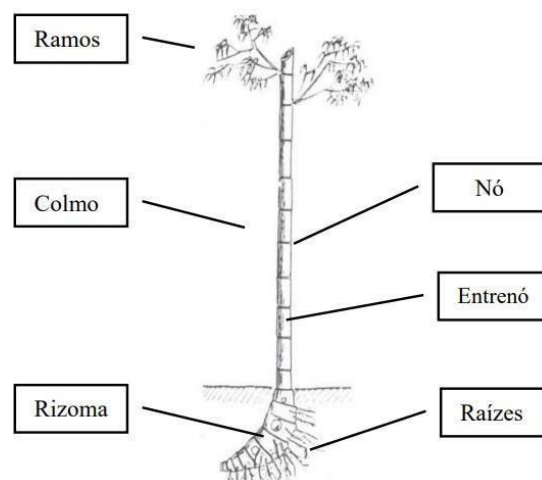
### 2.1.O bambu

O bambu, segundo Correa (2014), é classificado como um vegetal da família das Gramíneas, por se tratar de um tipo de relva ou grama. E pode ser subdividido, segundo Souza (2014), em basicamente dois grupos, os lenhosos e os herbáceos, tendo os primeiros um porte similar ao das árvores, com raízes, colmo, formação de galhos e folhas, e os segundos, um porte menor, arbustivo.

Ainda segundo Souza (2014), o bambu pode ser dividido, morfológicamente, em duas partes, sendo uma aérea, tida como o colmo do bambu, e a outra como subterrânea, constituída por rizomas e raízes. Da Silva *et. al.* (2011) define o rizoma como sendo caules subterrâneos que crescem, reproduzem-se e afastam-se do bambu central, colonizando novos territórios. Os rizomas dão origem a novos rizomas, ditos clones de seus geradores, e permanecem conectados. A partir dos rizomas cresce-se a parte aérea do bambu (colmos).

A parte aérea do bambu é constituída principalmente pelo colmo, região prolongada vertical do bambu à qual se divide em nós e entrenós, e ramos do vegetal que partem dos nós formando galhos. E estas características podem ser melhor visualizadas na Figura 1.

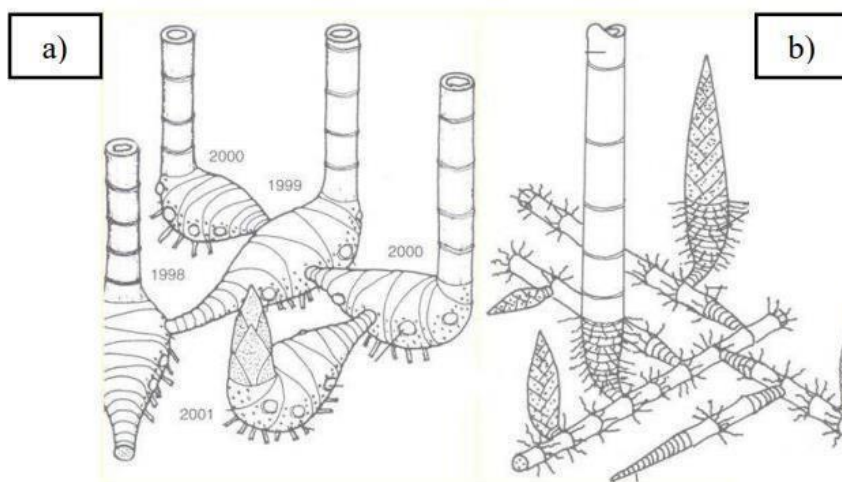
Figura 1 – Elementos que constituem o Bambu



Fonte: Adaptado por Targa (2011)

Targa (2011) comenta que, os bambus de clima tropical ou subtropical tendem a ser entouceirantes, enquanto que os de clima temperado tendem a ser alastrantes. Os bambus entouceirantes, conhecidos como leptomorfos, formam touceiras fechadas, e se propagam através do crescimento de rizomas volumosos subterrâneos, conforme a Figura 2a. Já os bambus alastrantes, chamados de paquimorfos, se propagam através de rizomas delgados e compridos e formam florestas abertas alcançando assim longas distâncias de propagação, conforme a Figura 2b.

Figura 2 – Diferentes tipos de rizoma



Fonte: Adaptado por Targa (2011)

O rizoma exerce um papel fundamental para o bambu, Pereira (2012) comenta que, seu papel não é só como um armazenador de nutrientes para posterior distribuição, mas também como órgão responsável pela propagação do bambu. O autor acrescenta que, 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.

Do rizoma nasce o broto de bambu, que, por sua vez, crescerá dando origem ao colmo. Segundo Da Silva *et.al.* (2011), o broto que cresce do rizoma é um colmo recolhido e totalmente protegido por folhas caulinárias.

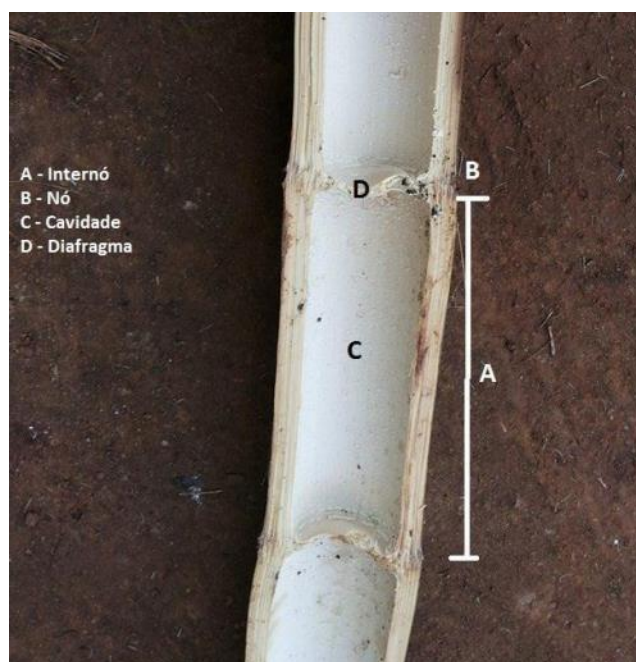
O colmo do bambu, segundo Targa (2011), é um tubo natural, oco na grande maioria das espécies, e quase sempre cilíndrico. É dividido ao longo de

seu comprimento por nós que possuem diafragmas internos quase sempre fechados. Os nós, apesar de serem pontos de fraqueza do colmo, devido à descontinuidade de fibras, são importantes para evitarem a flambagem do tubo. O autor ainda acrescenta que, o bambu afina em direção à ponta, como se formasse uma geometria de tronco de cone, e possui paredes que possuem uma estrutura gradiente, ou seja, suas propriedades mudam conforme o raio, sendo mais resistente e densa de fibras na parte externa (raio máximo), e menos resistente e mais mole na parte interna (raio mínimo).

Pereira (2012) comenta que, o colmo do bambu já nasce com seu diâmetro definitivo, máximo próximo da base, e nunca aumenta com o passar dos anos, apenas decresce como afirmado por Targa (2011) anteriormente, já que o bambu não apresenta crescimento radial como as madeiras.

Para a construção civil, o colmo do bambu seria o objeto de estudo mais valioso do vegetal, tendo propriedades mecânicas surpreendentes, como resistência à compressão, que quando comparada relativamente a de outros materiais de construção, como o concreto armado, pode ser considerado mais resistente, dependendo de espécie e geometria. Estas propriedades são determinadas pela estrutura anatômica do colmo (Figura 3).

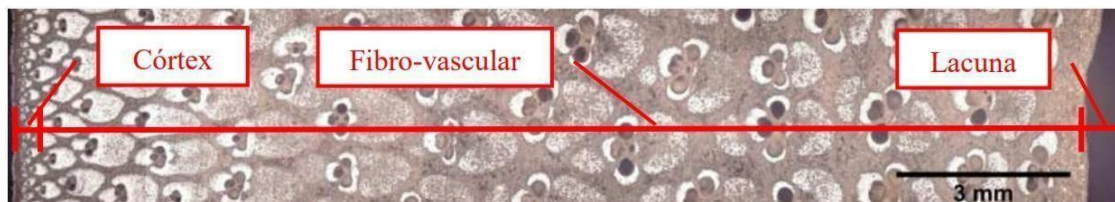
Figura 3 – Constituição do colmo de bambu



Fonte: Souza (2014)

Segundo Targa (2011), a seção transversal do colmo pode ser dividida em córtex (externa), fibrovascular (intermediária) e lacuna (interna), conforme ilustrada na Figura 4.

Figura 4 – Corte transversal de um colmo de bambu da espécie *Guadua angustifolia*



Fonte: Targa (2011)

Segundo Targa (2011), a estrutura do córtex é formada pela cutícula, epiderme e hipoderme. A cutícula é a camada mais externa e formada por celulose e pectina e coberta por uma camada de cera; a epiderme é formada por duas células epidérmicas com alto conteúdo de sílica ( $\text{SiO}_2$ ), o que a torna dura e resistente. Abaixo da epiderme, há a hipoderme, com células esclerenquimáticas. Estas camadas formam uma barreira intransponível para os insetos xilófagos, principalmente brocas e carunchos, que se alimentam da estrutura interna do bambu, rica em amido. Portanto, somente rachaduras e furos são pontos vulneráveis para o ataque destes insetos.

A camada denominada de fibrovascular é tida como uma camada de preenchimento, constituída por células de parênquima que, segundo Targa (2011), envolvem os feixes vasculares, formados por feixes de fibras e canais vasculares que transportam a seiva do bambu. As células do parênquima são ligeiramente alongadas e menos densas que as fibras do colmo, contribuindo para a elasticidade do mesmo, porém, por ser fonte armazenadora de amido, é também alvo de insetos xilófagos.

### 2.1.1.O cultivo e manejo

Uma das particularidades do bambu, que é vista como uma grande vantagem por parte dos estudos sobre este vegetal, é o seu rápido crescimento e fácil cultivo. Segundo Pereira (2012), o bambu é um vegetal de cultura predominantemente tropical, renovável, perene, de produção anual, de rápido

crescimento, com espécies espalhadas por todo o planeta e tendo diversas aplicações.

Como cita Targa (2011), uma vez plantado, o bambu cria touceiras em questão de poucos anos, sendo uma ótima alternativa para o reflorestamento de grandes áreas degradadas. Segundo o autor, o ciclo de vida do bambu dura cerca de 11 anos, passando pelos seguintes estágios: i) nascimento e crescimento do broto até atingir a altura máxima do colmo (~1 ano), ii) amadurecimento do colmo, aparecimento de todos os ramos e endurecimento da estrutura (~3 anos), iii) maturação do colmo (~3 anos) e apodrecimento (4 anos). Como todos os anos são gerados novos brotos, então há em uma touceira colmos de todas as idades.

Tendo capacidade para se desenvolver em quase todos os tipos de solo, Pereira (2012) comenta sobre os requisitos para um melhor cultivo do vegetal, destacando como importante a temperatura, tendo a maioria das espécies de bambu uma ótima adaptação ao clima tropical com temperaturas variando entre 8 a 36°C. Mesmo que algumas espécies suportem climas com baixa temperatura, em geral, as baixas temperaturas inibem o crescimento do bambu, enquanto as mais altas, respeitando-se a variação citada anteriormente, promovem o crescimento do bambu. Com relação aos solos, Pereira (2012) ainda comenta sobre a importância de um pH entre 5,0 e 6,5, sem umidade excessiva, como no caso de um lençol freático elevado, e não salinos.

Do ponto de vista do uso do bambu como material de construção civil, é importante o correto gerenciamento das touceiras que produzirão o bambu, sendo necessário o corte do bambu na idade correta, após seu amadurecimento de, aproximadamente, 3 anos e antes do seu apodrecimento, aos 4 anos, e o cultivar dos colmos jovens que ainda não atingiram a idade adequada de colheita.

A colheita deve ser efetuada anualmente, colhendo-se os colmos considerados maduros para utilização, os defeituosos e os que começaram a entrar em declínio na moita. Segundo Liese (1998), colmos jovens ou imaturos com propriedades mecânicas ainda não plenamente desenvolvidas, não devem ser colhidos, mas sim deixados na moita onde contribuem para o

armazenamento de energia no rizoma. O autor ainda acrescenta que, se uma moita não é explorada anualmente para retirada dos colmos maduros, ela acabará por congestionar devido ao número excessivo de colmos e o seu manejo se tornará extremamente difícil. Porém, não se deve cortar colmos em excesso sob o risco de enfraquecer a moita e diminuir a sua produtividade.

Devido ao elevado teor de amido na constituição dos colmos de bambu, Tiburtino *et al.* (2016), comenta que estes se tornam suscetíveis ao ataque de organismos xilógrafos, principalmente do coleóptero *Dinoderus minutus*, popularmente conhecido como caruncho. Dessa forma, visando garantir a qualidade, durabilidade e sua disponibilidade para utilização nos mais diversos fins, é de extrema importância a aplicação de técnicas adequadas de imunização. A maioria das desvantagens, no uso do bambu, podem ser eliminadas na aplicação de técnicas adequadas de preservação (PEIXOTO, 2008).

Nesta cadeia de processos o bambu inicia a maturação comumente no próprio meio natural, garantindo a retirada de toda a seiva do bambu por gravidade, evitando-se assim o ataque de insetos xilófagos. Os tipos de maturação são comentados a seguir, de acordo com Azzi ni e Salgado (1994), citados por Peixoto (2008):

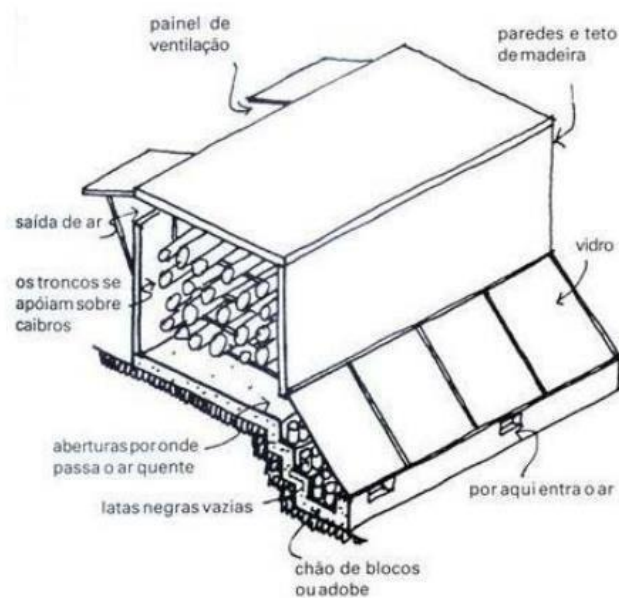
- na mata: após o corte dos colmos que serão coletados, estes são postos a secagem ao lado da moita (touceira) em posição inclinada.
- por imersão: segundo Peixoto (2008), os colmos são submergidos em água por mais de 4 semanas a fim de se retirar a seiva do vegetal, porém pode causar a aparição de manchas causadas por fungos e possui uma maior chance de aparecer rachaduras no colmo.
- por aquecimento: os colmos são postos a rodar acima do fogo, tomando-se todas as medidas para que não se queimem.

A secagem dos colmos nivela a umidade dos mesmos com a umidade ambiente, diminuindo as variações dimensionais das peças devido à presença de água, evitando-se rachaduras desnecessárias. Os tipos de secagem são comentados a seguir, de acordo com Lengen (2004), citado por Peixoto (2008):



- ao ar livre: os bambus são dispostos ao ambiente, e secam naturalmente pela ventilação natural, devendo ser mantidos protegidos dos raios solares;
- com fogo: cria-se uma cavidade no solo, revestida com alvenaria para se manter o calor interior, e então os bambus são postos a 50 cm acima da chama, secando de maneira uniforme; se bem desenvolvido o procedimento, este método reduz os riscos de rachaduras nas paredes dos colmos, assim como aumenta a resistência aos ataques de insetos;
- ar quente: um método rápido, mas que utiliza de equipamentos caros, dependendo de um armazém com aquecedor solar de ar, como mostrado na Figura 5.

Figura 5 – Armazém com aquecedor solar

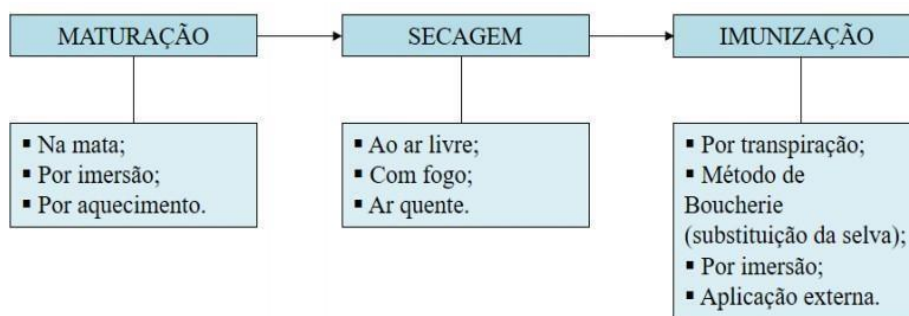


Fonte: Lengen (2004)

No final, é realizada uma imunização como o uso de produtos químicos para reforçar a proteção dos colmos contra qualquer agente biológico (Figura 6).

- Imunização por transpiração;
- Imunização por Boucherie;
- Imunização por imersão.

Figura 6 – Tratamento de imunização para colmos de bambu



Fonte: Lima (2019)

## 2.12. Propriedades Mecânicas

Rusch (2020) cita que, para a área da construção civil, as principais propriedades mecânicas de interesse são: resistência à tração paralela, resistência à compressão paralela, flexão e cisalhamento.

Amorim (2020), comenta que, devido a seu formato tubular, o colmo de bambu pode ser descrito como tendo três (3) dimensões características (ditas direções), sendo elas: longitudinal, radial e circunferencial. Onde a direção longitudinal é paralela às fibras do bambu, a radial uma direção normal à parede do colmo e a circunferencial refere-se à região perimetral da seção transversal. O autor acrescenta que, para cada uma destas direções, as propriedades mecânicas do bambu se alteram.

Segundo Rusch (2020), citando Pereira (2001), a resistência mecânica do bambu é influenciada, em sua maioria, pelo teor de fibras, sendo que seu valor máximo ocorre com a maturidade, a partir dos três anos de idade, sendo que até os seis anos ocorre um aumento na resistência à tração e à compressão, e até oito anos, na resistência à flexão; posteriormente, atingindo a senilidade, ocorre uma diminuição de todas as resistências mencionadas.

Ao se analisar as propriedades mecânicas do bambu, Rusch (2020) comenta que, deve-se considerar que as resistências à tração e à compressão deste vegetal, decrescem da parte externa para a interna do colmo do bambu, devido à uma menor quantidade de fibras nas regiões interiores. Portanto, o autor conclui que, a região de menor resistência é o terço interno da parede do colmo, enquanto que, no terço externo, ocorre a porção mais resistente.

A fim de estudar a resistência à compressão do bambu, e como ele pode ser comparado a outros materiais convencionais, Carbonari *et al.* (2017) ensaiou 9 espécies de bambu diferentes, submetidos a um conjunto de máquina universal e prensa hidráulica. Realizando a coleta dos módulos de resistências à compressão, assim como a seção média de um colmo de cada espécie (visto que, segundo o próprio autor, o colmo possui um raio interno variável com relação à altura).

Para o ensaio à compressão do bambu, mostrado na figura 8, segundo o autor, citando a norma ISO/TC165 N314 (1999), recomenda-se o uso de corpos de prova de bambu com altura próxima ao diâmetro externo da peça, lixadas e sem reentrâncias.

Figura 8 – Ensaio de compressão de colmo de bambu em prensa hidráulica



Fonte: Carbonari *et al.* (2017).

Os resultados dos ensaios de compressão de Carbonari *et al.* (2017) podem ser verificados na Tabela 1.

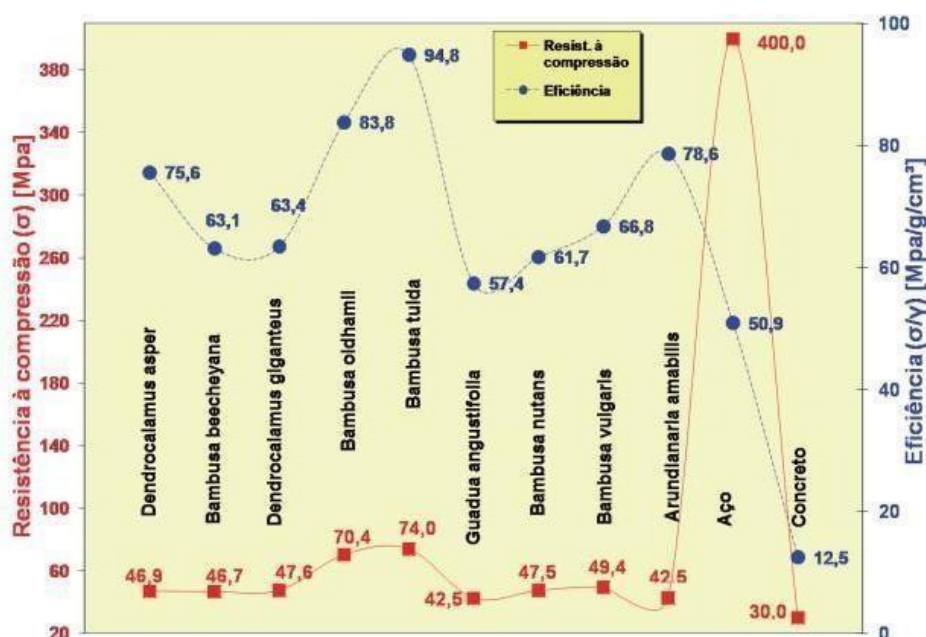
Tabela 1 – Resistências médias de compressão dos bambus estudados

Espécie de bambu	Resistência a compressão (MPa)	
	Com Nó	Sem Nó
Dendrocalamus Asper	51,15±5,2%	49,84±4,5%
Bambusa Beecheyana	50,16±6,8%	48,20±5,1%
Dendrocalamus Giganteus	48,27±3,5%	46,32±3,2%
Bambusa Oldhamii	72,17±6,1%	70,04±3,8%
Bambusa Tulda	75,18±7,0%	72,75±4,8%
Guada Angustifólia	45,45±4,3%	42,17±3,1%
Bambusa Nutans	47,63±4,7%	47,38±4,4%
Bambusa Vulgaris	50,40±6,7%	48,42±5,6%
Arundinaria Amabilis	38,35±5,4%	38,20±6,7%

Fonte: Carbonari *et al.* (2017).

Os mesmos autores compararam as resistências médias das espécies estudadas a outros materiais de construção comuns, como o aço e o concreto. Esta comparação pode ser vista na Figura 9:

Figura 9 – Comparativo entre espécies de bambu e outros materiais de construção



Fonte: Carbonari, *et al.* (2017).

Segundo o autor, a variação dos valores de resistência das diversas espécies de bambu foi significativa, de 38 MPa até 75 MPa, porém, em termos comparativos com sua massa específica, todas as espécies superaram o concreto e o aço. Janssen (2000) comenta que a propriedade mecânica mais importante do bambu é a sua relação entre massa e unidade de volume, usualmente dada em  $\text{kg/m}^3$ , pois quanto maior este valor, que usualmente varia entre 700-800  $\text{kg/m}^3$ , maior a quantidade de moléculas por unidade de volume, conseqüentemente maior o número de fibras que contribuirão para um aumento em propriedades desejadas.

A massa específica aparente, segundo Padovan (2010), é importante para se avaliar o peso próprio das estruturas de bambu, pois dentre as qualidades estruturais do bambu, está a relação entre sua massa específica aparente pela resistência e a massa específica aparente pela dureza, que demonstram as possibilidades de aplicação do bambu como material de construção civil, integralmente ou em conjunto com outros materiais já comumente utilizados, como concreto, tornando-os mais leves, sem perder a resistência final.

O experimento mostrado na Figura 9 identifica que, mesmo que os módulos de resistência das espécies não superem o do aço, em termos de eficiência, eles são próximos, sendo esta uma característica marcante do bambu, como comentada por Padovan (2010) no parágrafo anterior.

Comentando sobre a resistência à tração paralela às fibras, Rusch (2020) cita que na parte central do bambu, no sentido longitudinal, constata-se a porção de maior resistência, provavelmente em virtude da menor quantidade de nós, já que os entrenós são mais longos nesta região. O mesmo autor, citando López (2003), e Padovan (2010), acrescenta que para os nós, a resistência à tração, flexão, compressão e cisalhamento é menor que nos entrenós, devido à descontinuidade da seção e aos desvios dos feixes de fibras. No entrenó, a resistência é menor na região mais próxima do nó do que no restante da região central, que apresenta fibras mais longas e mais resistentes.

A região nodal é bastante crítica com relação à manutenção de uma boa resistência à tração do bambu, como mostra o experimento de Ghavami e Marinho (2005) com a espécie *Guadua Angustifolia*, que utiliza colmos de

diferentes regiões longitudinais do bambu (base, centro e topo), com a presença ou não de nós. Na Tabela 2 pode-se verificar que a resistência à tração diminuiu drasticamente nas regiões nodais, tendo menos interferência nas regiões centrais, como afirmou Rusch (2020).

Tabela 2 – Resistência à tração do bambu *Guadua Angustifolia*

Parte do bambu	Resistência à tração $\sigma_t$ (MPa)	Módulo Elasticidade-E (GPa)	Coef. 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	86,96	14,59	0,26
Variação	64,26 - 115,84	8,0 - 18,36	0,19 - 0,33

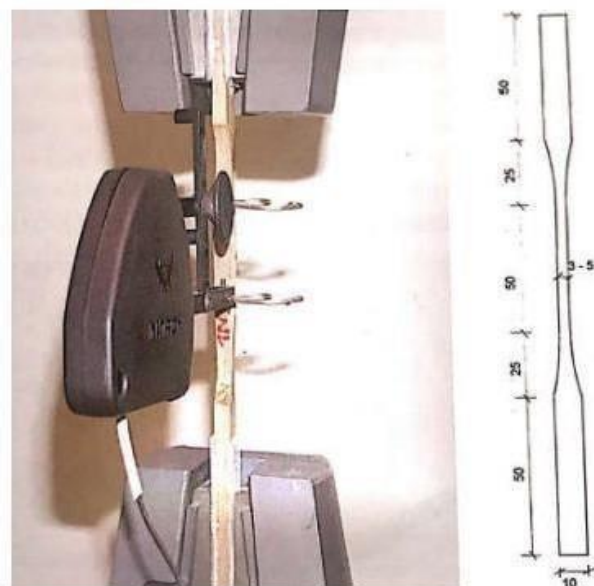
Fonte: Ghavami e Marinho (2005)

As resistências à tração demonstradas na Tabela 2, segundo Ghavami e Marinho (2005), possuem uma queda na região dos nós devido à descontinuidade das fibras na região dos nós; observou-se que esta queda de resistência não é tão acentuada em ensaios de compressão.

Segundo Isaia (2010), a resistência à compressão é, em geral, 30% menor que a resistência à tração; porém, este valor pode variar muito com relação à espécie, sendo que os valores de resistência à tração e à compressão podem chegar, respectivamente, a 300 MPa, e a 120 MPa. Amorim (2020), citando Pereira e Beraldo (2008), afirma que algumas espécies podem chegar a até 370 MPa de resistência à tração, porém este resultado é uma exceção.

Para a realização dos ensaios de tração, Isaia (2010) cita que por recomendação do INBAR (International Bamboo and Rattan), os corpos de prova devem ser da forma ilustrada na Figura 10, com espessuras variando de 3mm até à espessura da parede do colmo.

Figura 10 – Dimensões do corpo de prova de bambu para ensaio de resistência à tração, recomendado pelo INBAR



Fonte: Isaia (2010).

Com relação à resistência ao cisalhamento, Ghavami e Marinho (2005), em seu experimento com o bambu *Guadua Angustifolia*, comenta sobre a quase uniformidade dos valores obtidos dentre a base, centro e topo de corpos de prova sem a presença de nós, e da grande variação destes mesmos valores em corpos de prova com a presença de nós, como pode ser verificado na Tabela 3.

Tabela 3 – Resistência ao cisalhamento interlaminar do bambu *Guadua Angustifolia*

Partes do colmo		Tensão de cisalhamento $\tau$ (MPa)
Base	Com nó	1,668
	Sem nó	2,198
Centro	Com nó	1,433
	Sem nó	2,272
Topo	Com nó	2,113
	Sem nó	2,421
Valor médio		2,017

Fonte: Ghavami e Marinho (2005).

Segundo Padovan (2010), o bambu apresenta uma limitada resistência ao cisalhamento na direção paralela às fibras, devido ao fato de as fibras serem unidas umas às outras unicamente por elementos naturais colantes e o descolamento das fibras iniciar mesmo com baixos valores de tensão. O aparecimento de fissuras, devido ao efeito do cisalhamento, pode se tornar um problema sério em estruturas de bambu. Além de surgirem preocupações quanto à queda de resistência da estrutura, o aparecimento de fissuras também serve de local de entrada de água e penetração de insetos, fatores que podem diminuir a vida útil do bambu.

### **2.13. Propriedades físicas**

Segundo Isaia (2010), as propriedades físicas do bambu, como comprimento de colmo, distância entre os nós, diâmetro, espessura da parede, peso específico, dentre outras, dependem de diversos fatores, como:

- espécie;
- fatores locais: qualidade do solo, temperatura, umidade relativa do ambiente, regime de chuvas, altitude, etc.;
- manejo do bambuzal;
- posição ao longo do colmo.

Segundo Ghavami e Marinho (2005), os bambus têm diminuição gradual, no sentido da base para o topo, das seguintes características: diâmetro do colmo, espessura da parede e comprimento internodal. Segundo os autores, observa-se que, na parte basal, os comprimentos internodais são menores, enquanto que na parte central do colmo atingem o valor máximo, e na parte superior, decrescem. Esta característica é apresentada na Figura 11.



Figura 11 – Representação da variação radial dos colmos de bambu da espécie *Guadua Angustifolia*



Fonte: Ghavami e Marinho (2005).

Rusch (2020), comenta que, no caso da adsorção d'água, denominada higroscópica ou de impregnação, ocorre aumento de peso e de volume (inchamento), até atingir seu ponto de saturação das fibras (PSF). A partir do PSF, a absorção da água, denominada livre ou capilar, provoca aumento somente de peso, ocupando as cavidades, principalmente o lúmen celular.

As consequências da absorção de água, segundo Isaia (2010), são as deformações dimensionais sofridas pelos colmos de bambu, podendo ter um acréscimo (pela absorção de água), ou decréscimo (pela perda da mesma), nas dimensões longitudinal, radial ou circunferencial. O mesmo autor comenta, como exemplo, que para o bambu *Bambusa vulgaris*, a sua deformação longitudinal é quase nula; porém, a radial pode chegar a uma ordem de 6%. Para o controle da absorção de água, podem ser aplicados tratamentos impermeabilizantes.

Segundo Padovan (2010), quando em contato com a água, o bambu demonstra grande fragilidade, tanto na questão da sua conservação quanto na sua resistência, merecendo cuidados quando exposto à chuva e à umidade.

## **2.2. Lajes Treliçadas unidirecionais pré-moldadas de concreto armado**

### **2.2.1. Definições iniciais**

O concreto armado é considerado o material estrutural mais aplicado em obras de construção civil no mundo, segundo Trigo (2008), isto se deve à facilidade de ser moldado em diversas geometrias, mão-de-obra barata e não especializada, disponibilidade dos materiais que o compõem em várias regiões do planeta. Sendo um material largamente utilizado, o autor ainda cita como consequência deste uso, o elevado consumo de matérias-primas como cimento, brita e areia.

As lajes são responsáveis por elevada parcela do consumo de concreto nas construções *ci vis*, segundo Barbieri (2016), se torna oportuno o estudo dos critérios de escolha dos tipos de lajes, para a obtenção de soluções tecnicamente corretas e econômicas.

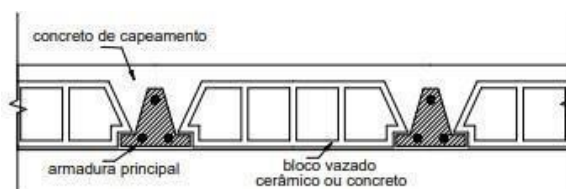
Segundo a NBR 6118 (2014), dentre os tipos de lajes que podem ser identificadas, as nervuradas, objeto de estudo desta pesquisa, pode ser descrita como lajes moldadas no local ou com nervuras pré-moldadas, cuja zona de tração para momentos positivos é localizada nas nervuras entre as quais pode ser colocado material inerte (de enchimento).

As lajes nervuradas, segundo Trigo (2008), são sistemas formados por vigotas (parte da nervura) pré-moldadas de concreto armado do tipo treliça, espaçadas de maneira uniforme por elementos de enchimento leves (blocos cerâmicos, de poliestireno expandido, etc.) e cobertas por uma capa de concreto moldada no local, cuja função é garantir a distribuição dos esforços atuantes no elemento, aumentar sua resistência à flexão e nivelar o piso.

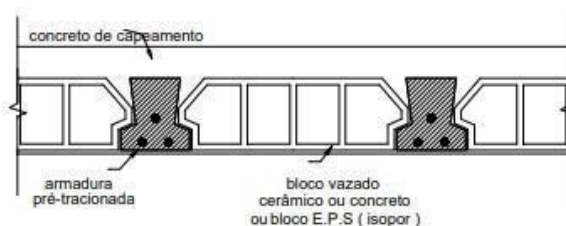
Com relação às vigotas pré-moldadas, segundo Droppa Junior (1999), elas podem ser caracterizadas em três tipos principais, demonstradas também na Figura 12.

- vigotas de concreto armado comum, não protendido, com seção transversal com a forma aproximada de uma letra T invertida, com armadura passiva totalmente envolvida pelo concreto;
- vigotas de concreto protendido, com seção transversal com a forma aproximada de um T invertido, com armadura de protensão pré-tracionada e totalmente envolvida pelo concreto;
- vigotas treliçadas, formadas por uma armadura treliçada de aço e por uma placa de concreto envolvendo as barras inferiores da treliça que irão compor a armadura da face tracionada da laje.

Figura 12 – Tipos de Vigotas pré-moldadas



vigota de concreto armado comum



vigota de concreto armado protendido



vigota com armadura treliçada

Fonte: Droppa Junior (1999)

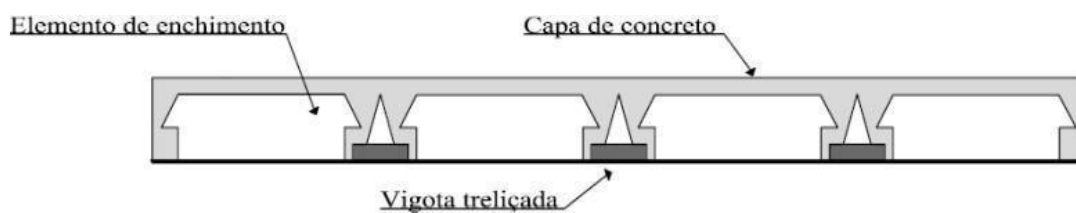
Na confecção das peças pré-moldadas, o autor ainda cita o uso de micro concreto, ou seja, concreto rico em pasta de cimento, e com agregado de diâmetro máximo correspondente à brita 0, visando o melhor enchimento da fôrma, evitando problemas na formação do elemento, e tornando desnecessário, ou pouco necessário, a vibração do elemento.

Por final, Droppa Junior (1999) cita as vantagens do uso das lajes treliçadas com vigotas pré-moldadas:

- fácil manuseio no transporte horizontal e vertical, pois possui baixo peso próprio (aproximadamente 0,1 kN/m);
- redução dos escoramentos, proporcionando redução de mão-de-obra e materiais;
- redução da possibilidade do aparecimento de fissuras pela condição que oferece de grande aderência entre as vigotas e o concreto do capeamento, esta condição de aderência é muito bem desenvolvida pela treliça da vigota;
- facilidade da colocação de nervuras na direção perpendicular às vigotas;
- oferecimento de uma maior resistência ao cisalhamento devido à presença das diagonais que podem chegar a exercerem a função de estribos.

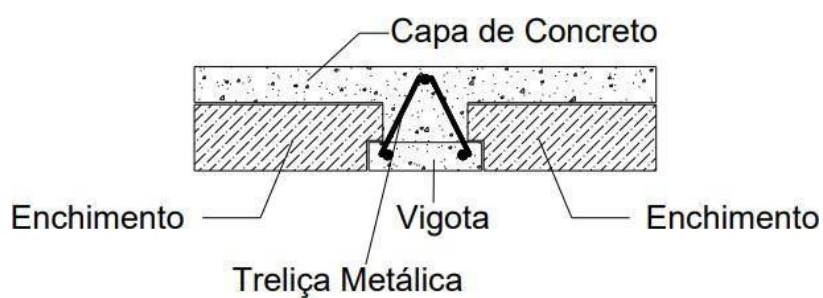
Barbieri (2016) define que lajes pré-fabricadas unidirecionais são compostas por nervuras principais longitudinais ordenadas em apenas uma direção, podendo ser utilizadas nervuras transversais perpendiculares às nervuras principais. Os modelos de lajes treliçadas unidirecionais, seus componentes, e as treliças que formam as vigotas são apresentadas nas Figuras 13, 14 e 15, respectivamente.

Figura 13 – Laje pré-fabricada



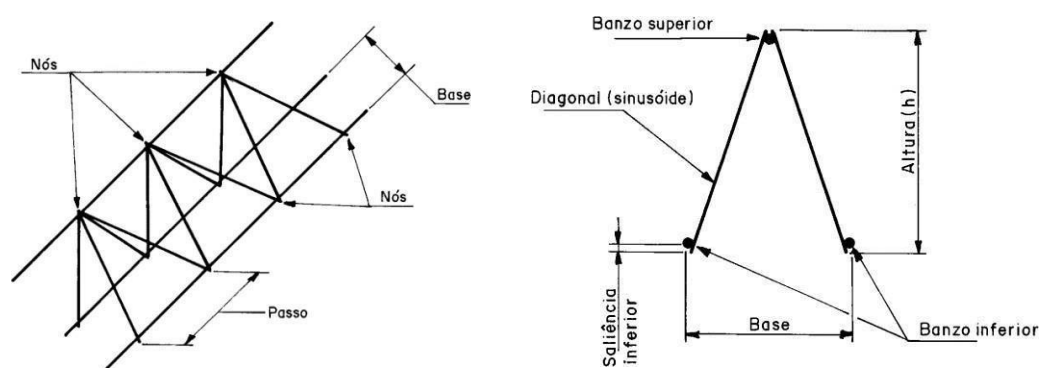
Fonte: Barbieri (2016).

Figura 14 – Componentes da laje treliçada



Fonte: Oliveira (2010)

Figura 15 – Vistas da treliça



Fonte: NBR 14862 (2002).

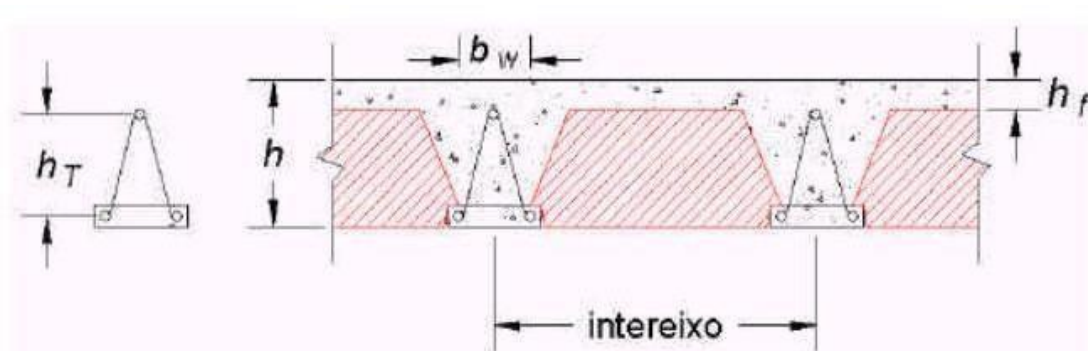
## 2.2.2. Considerações para o dimensionamento de lajes treliçadas unidirecionais

O dimensionamento de lajes pré-moldadas treliçadas é baseado nas informações da norma NBR 6118 (2014), e nas bibliografias que serão citadas adiante.

Segundo Droppa Junior (1999), as principais características a serem consideradas no dimensionamento de uma laje treliçada pré-moldada, são mostradas a seguir, e ilustradas na Figura 16:

- valor do vão a ser vencido;
- valor da sobrecarga (carga/área);
- presença ou não de cargas lineares ou pontuais (ex: paredes de alvenaria);
- valor da altura total da laje ( $h$ );
- Espessura da capa de concreto ( $h_f$ );
- Valor da resistência característica de compressão do concreto ( $f_{ck}$ );
- Valor do comprimento do intereixo de nervuras (*intereixo*);
- Valor da espessura das nervuras ( $b_w$ );
- tipo de material de enchimento;
- altura e diâmetros das barras que compõem a armadura da treliça ( $h_T$ );

Figura 16 – Elementos importantes para dimensionamento da laje



Fonte: Droppa Junior (1999).

A norma NBR 6118 (2014) garante que algumas condições devem ser seguidas no dimensionamento de lajes nervuradas, dentre elas são descritas:

- para lajes com espaçamento entre eixos de nervuras menor ou igual a 65 cm, pode ser dispensada a verificação da flexão da mesa, e para a verificação do cisalhamento da região das nervuras, permite-se a consideração dos critérios de laje;
- para lajes com espaçamento entre eixos de nervuras entre 65 cm e 110 cm, exige-se a verificação da flexão da mesa e as nervuras devem ser verificadas ao cisalhamento como vigas; permite-se essa verificação como lajes se o espaçamento entre eixos de nervuras for até 90 cm e a largura média das nervuras for maior que 12 cm;
- para lajes nervuradas com espaçamento entre eixos de nervuras maior que 110 cm, exige-se que a mesa seja projetada como laje maciça, apoiada na grelha de vigas, respeitando-se os seus limites mínimos de espessura.

Além disto, as condições de espessura da mesa devem obedecer ao valor mínimo de 1/15 do espaçamento entre eixos de nervuras, não menor que 3 cm, para lajes onde não há tubulações horizontais embutidas. Já para lajes com instalações embutidas, exige-se uma espessura não menor que 4 cm para instalações embutidas com diâmetro máximo de 12,5 mm.

Segundo Barbieri (2016), citando a norma NBR 6118 (2014), quando os apoios da laje são suficientemente rígidos verticalmente, o vão pode ser considerado pela seguinte equação 4.2.1, em conformidade com a Figura 17.

$$l_{ef} = l_0 + a_1 + a_2 \quad (4.2.1)$$

Onde,

$l_{ef}$  = comprimento total do vão efetivo;

$l_0$  = comprimento do vão entre vigas que servem de apoio à laje;

$a_1$  = corresponde ao menor valor entre:  $t_1/2$  e  $0,3 * h$ ;

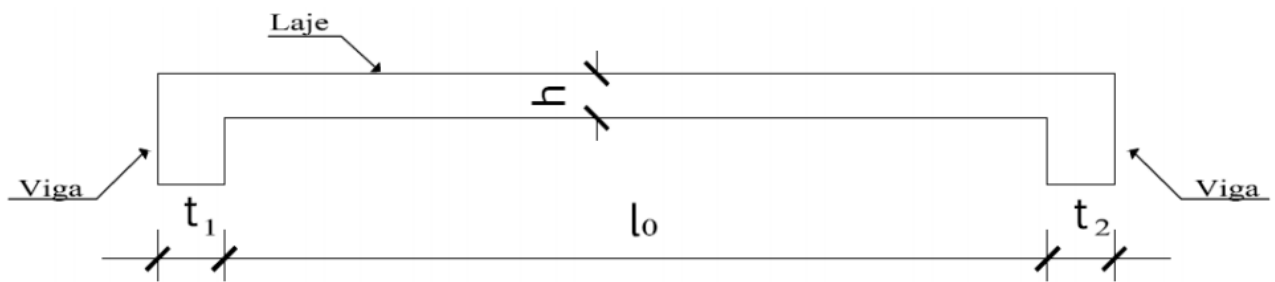
$a_2$  = corresponde ao menor valor entre:  $t_2/2$  e  $0,3 * h$ ;

$t_1$  = largura total do apoio 1;

$t_2$  = largura total do apoio 2;

$h$  = altura da laje.

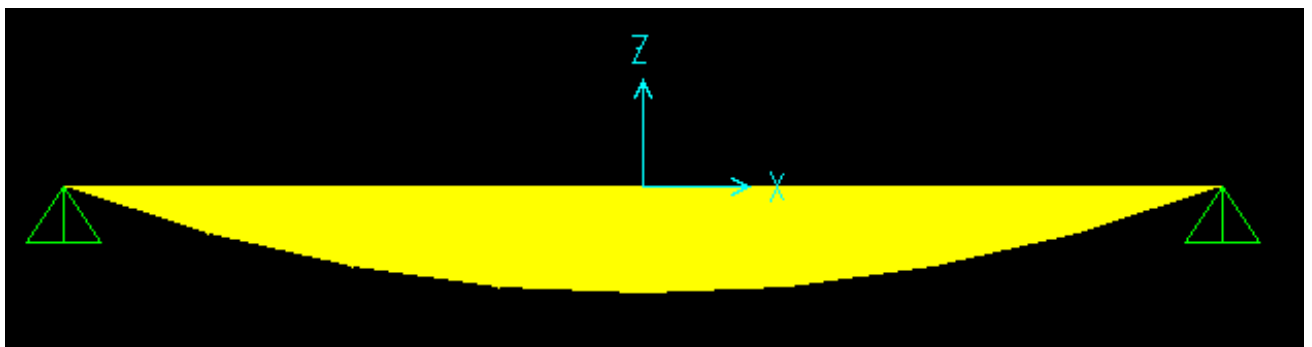
Figura 17 – Representação do vão efetivo de uma laje



Fonte: Barbieri (2016)

Para o dimensionamento de uma laje treliçada, é fundamental o estudo dos esforços solicitantes que atuam sobre a mesma. Na Figura 18, tem-se representado o diagrama de momento fletor para uma laje considerada biapoiada em suas extremidades.

Figura 18 – Diagrama momento fletor de laje biapoiada



Fonte: Próprio Autor (2021).



O maior momento fletor que atua na laje ocorre no meio do vão, e pode ser definido pela equação 2.2.2.

$$M_{at} = \frac{P \cdot L^2}{8} \quad (2.2.2)$$

Onde,

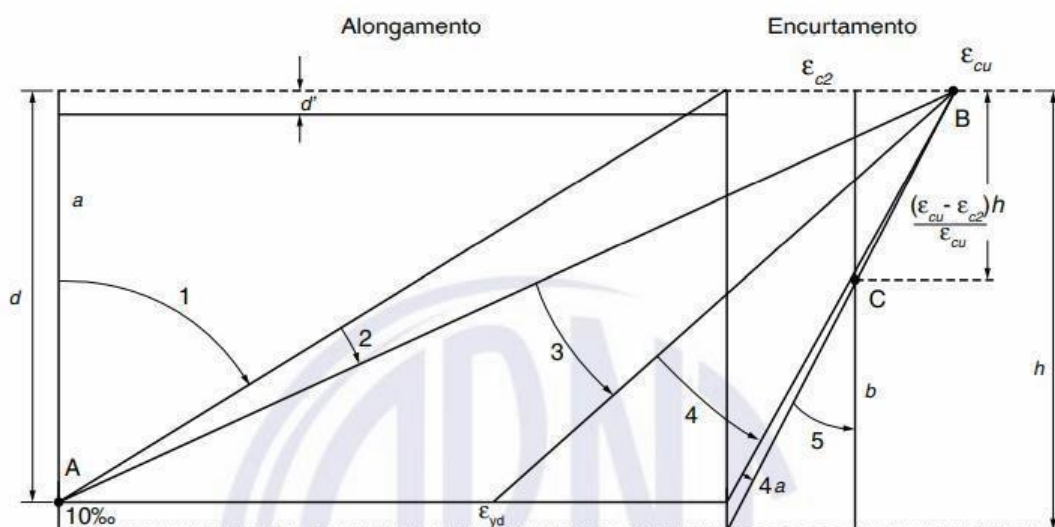
$M_{at}$  = Momento atuante de maior efeito solicitante;

$P$  = Carga linear (kN/m) atuante na seção longitudinal da vigota;

$L$  = Comprimento de dimensionamento de armadura (vigota).

Para se realizar o dimensionamento das armaduras, é necessário a identificação dos domínios de deformação das seções das vigotas, verificando se a mesma possui uma deformação dúctil, visando garantir a segurança da estrutura. Portanto, em vista de se melhor aproveitar a capacidade resistiva dos elementos da laje, e considerando uma máxima deformação das vigotas no ELU (estado limite último), garantindo-se uma ruptura dúctil, segundo a NBR 6118 (2014), é aconselhável o dimensionamento das armaduras das vigotas entre os domínios 2 e 3. Os domínios possíveis para uma seção de concreto armado, em estado limite último (ELU), podem ser verificados na Figura 19.

Figura 19 – Domínios de uma seção de concreto armado em estado limite último (ELU)



Fonte: NBR 6118 (2014).

## 2.3. Estudos anteriores: o uso do bambu como elemento estrutural

Nesta etapa do trabalho são comentados alguns aspectos sobre pesquisas anteriores que contribuíram para o estudo do bambu na forma de taliscas, seja como um substituto total do aço, seja apenas como uma adição ao concreto armado. Tais estudos formaram uma base bibliográfica rica para um consenso sobre a eficácia da utilização de taliscas de bambu como material de construção, e o seu uso em lajes treliçadas.

### 2.3.1. Tsutsumoto (2016)

Visando o estudo de materiais alternativos de construção, Tsutsumoto (2016) realizou uma série de ensaios de vigas de concreto armado com adições de taliscas de bambu da espécie *Bambusa vulgaris*, encontrado facilmente na região de Ilha Solteira-SP. As taliscas de bambus utilizadas foram de dois tipos: a primeira sem reforço nos nós e a segunda com a colagem de reforços nos nós.

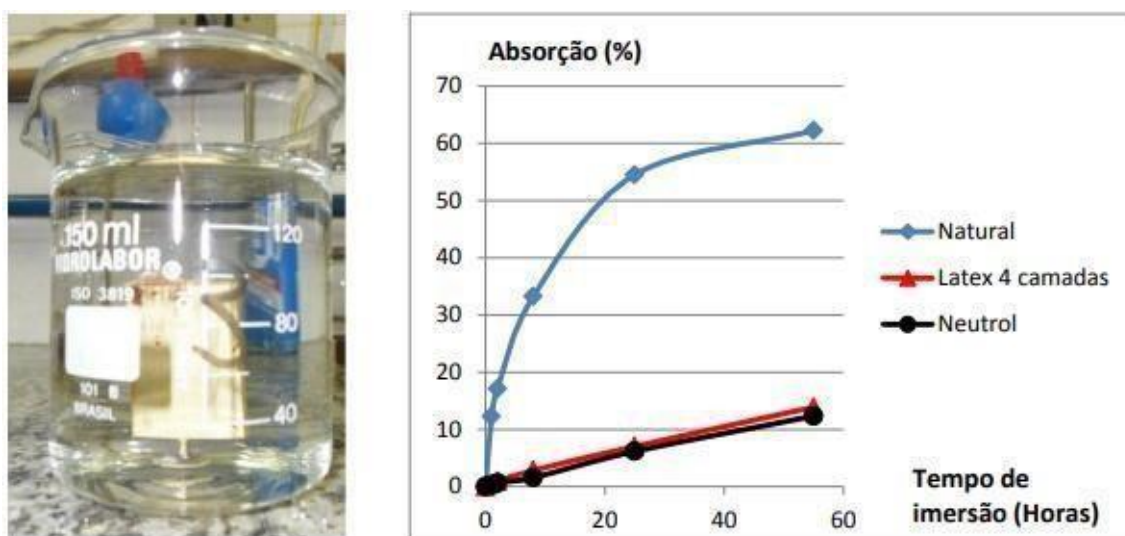
Para se estudar melhor as propriedades mecânicas das taliscas, e verificar sua validade estrutural como adição à armadura de vigas de concreto armado, Tsutsumoto (2016) realizou três ensaios distintos: ensaio de tração do bambu, ensaio de arrancamento (aderência bambu/concreto), e ensaio de flexão de vigas de concreto armado com adição de taliscas.

Citando Ghavami e Marinho (2005), a autora acrescenta que o bambu absorve água quando em contato com concreto fresco, inchando e tendo suas dimensões aumentadas. E quando após o endurecimento do concreto, o bambu perde água, reduzindo o seu volume, o que pode ocasionar a aparição de espaços vazios entre o concreto endurecido e as taliscas de bambu, diminuindo a aderência entre esses materiais. Desta forma, a autora realizou um processo de impermeabilização nas taliscas de bambu, com o uso de 4 camadas de látex.

A técnica de impermeabilização com uso de 4 camadas de látex foi realizada com base nos estudos de impermeabilização de bambu feitos por Moraes e Melges (2012), citados por Tsutsumoto (2016). Segundo a autora, este estudo se baseou na comparação da absorção de água entre 3 corpos de prova

sem qualquer tratamento impermeabilizante, 3 corpos de prova com 4 camadas de látex, e 3 corpos de prova com tratamento utilizando Neutrol® (produto impermeabilizante). Os corpos de prova foram imersos em água destilada e, após 1,2,8,25 e 55 horas de imersão, foram pesados, visando obter os ganhos de massa. Segundo os resultados obtidos pelos autores, o látex é um bom impermeabilizante para o bambu, conforme a Figura 20 ilustra.

Figura 20 – Ensaio de absorção de água de amostras de bambu



Fonte: Moraes e Melges (2012), citados por Tsutsumoto (2016).

A fim de se impermeabilizarem as taliscas de bambu, foi seguido o seguinte procedimento, ilustrado na Figura 21.

- a talisca foi imersa em látex por um minuto, utilizando-se um tubo de 115 cm de comprimento e 5 cm de diâmetro;
- após a imersão das taliscas, estas foram postas a secar por 24 horas;
- concluída a secagem, o procedimento foi realizado novamente, até totalizarem 4 camadas de impermeabilização.

Figura 21 – Tubo de látex e processo de secagem de taliscas



Fonte: Tsutsumoto (2016).

Os ensaios de tração do bambu, conforme as Figuras 22 e 23, foram realizados com taliscas de 30 cm de comprimento, 2 cm de largura, e 0,5 cm de espessura. As taliscas que possuiriam reforços nos nós tiveram pedaços de taliscas de 10 cm de comprimento, 2 cm de largura, e 0,5 cm de espessura, coladas em ambas as faces da região nodal. A colagem foi realizada com resina à base de óleo de mamona, com proporção 1:1 em massa.

Figura 22 – Ensaio de tração de talisca



Fonte: Tsutsumoto (2016)

Figura 23 – Taliscas após ruptura no ensaio de tração



Fonte: Tsutsumoto (2016).

O ensaio de tração realizado pela autora pôde ser expresso pelo gráfico mostrado na Figura 24, onde foram obtidos uma tensão média de ruptura por tração de 103,5 MPa e um módulo de elasticidade médio de 20,77 GPa para as taliscas sem reforço nos nós.

Figura 24 – Ensaio de tração de taliscas sem reforço nos nós



Fonte: Tsutsumoto (2016).

As taliscas com nós reforçados obtiveram um acréscimo da tensão de ruptura, podendo induzir um melhor desempenho devido ao reforço. A tensão média de ruptura por tração foi de 137,5 MPa, frente aos 103,5 MPa descritos anteriormente.

Os ensaios de aderência bambu/concreto foram realizados com taliscas de mesmas larguras e espessuras, porém com 70 cm de comprimento (Figura 25), sendo que 30 cm destas eram imersas no cilindro de concreto armado, com 30 cm de altura e 15 cm de diâmetro.

Figura 25 – Taliscas utilizadas nos ensaios de arrancamento



Fonte: Tsutsumoto (2016).

As taliscas utilizadas nos ensaios de aderência foram impermeabilizadas com solução de látex e então aplicadas graxa a 5 cm do começo e do final do trecho imerso no cilindro de concreto, também revestidos com jornal e fita crepe (Figura 26). Este procedimento foi realizado visando garantir que não houvesse ruptura por tração, facilitando o estudo do escorregamento da talisca.

Figura 26 – Taliscas prontas para o ensaio de arrancamento



Fonte: Tsutsumoto (2016).

Os corpos de prova de arrancamento foram feitos a partir da centralização das taliscas (Figura 27). Para evitar qualquer não conformidade geométrica no ensaio, sua desforma foi feita após 24 horas de concretagem; a cura do concreto foi de 28 dias. Os corpos de prova foram divididos em dois grupos:

- 5 corpos de prova com taliscas imersas no concreto com nós reforçados;
- 5 corpos de prova com taliscas imersas no concreto sem reforço nos nós;

Figura 27 – Corpos de prova elaborados para o ensaio de arrancamento



Fonte: Tsutsumoto (2016).

Antes da realização dos ensaios de arrancamento, a autora realizou o nivelamento da superfície (capeamento) de concreto por meio da aplicação de revestimento de gesso (Figura 28), que foi pressionado por uma placa metálica enquanto ainda em estado plástico, para se manter o nível adequado. A centralização foi realizada por meio do uso de uma rótula metálica.

Figura 28 – Corpo de prova de arrancamento capeado com gesso



Fonte: Tsutsumoto (2016)

Nos ensaios de arrancamento, a autora constatou que todos os corpos de prova sem reforço nas taliscas sofreram um escorregamento dentro do concreto, conforme mostrado na Figura 29, com uma tensão de aderência de 0,889 MPa, e com uma tensão de tração de 76,5 MPa, que é um valor menor que o de 97,0MPa obtidos para as taliscas com reforço nos nós, que romperam por tração, caracterizando uma grande eficiência do reforço no nó na ancoragem do trecho das taliscas imersas no cilindro de concreto. Os resultados do ensaio de arrancamento podem ser verificados na Figura 30.

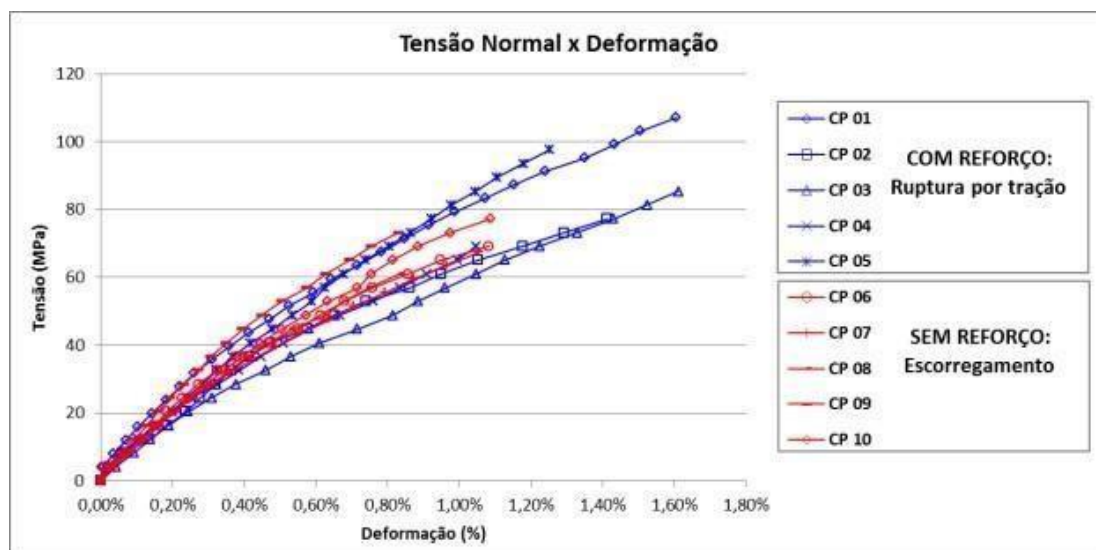
Figura 29 – Exemplo de escorregamento durante ensaio de arrancamento



Fonte: Tsutsumoto (2016).



Figura 30 – Ensaio de arrancamento



Fonte: Tsutsumoto (2016).

Para se estudar o comportamento das taliscas, como reforço de armadura de flexão das vigas, a autora elaborou 10 vigas diferentes, sendo elas:

- 1 viga piloto, utilizada apenas para verificar o procedimento do ensaio;
- 3 vigas referências, não tendo nenhum reforço de bambu;
- 3 vigas de bambu, com a adição de taliscas de bambu sem reforço nos nós;
- 3 vigas de bambu reforçado, onde foram adicionadas taliscas com reforços nos nós.

Exemplos das armaduras utilizadas nas vigas com e sem bambu, assim como exemplos de vigas concretadas, são mostradas nas Figuras 31 e 32, respectivamente.

Figura 31 – Armadura com bambu reforçado (à esquerda), e armadura referência (à direita)



Fonte: Tsutsumoto (2016).

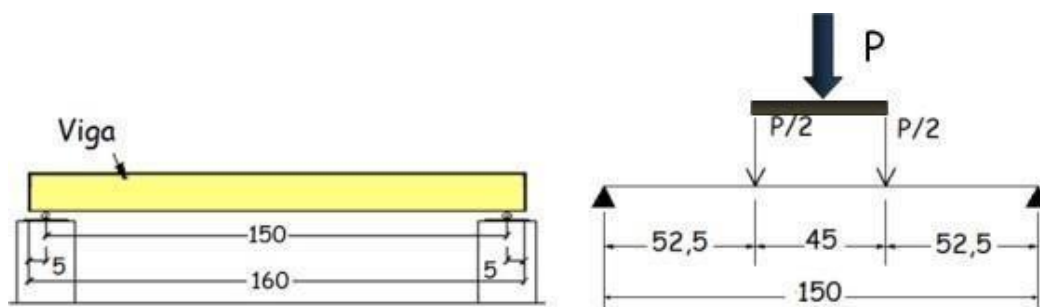
Figura 32 – Vigas concretadas com seus respectivos corpos de prova



Fonte: Tsutsumoto (2016).

As vigas, já concretadas e curadas, foram submetidas a ensaios de flexão, simulando uma ação de flexão pura sobre o vão central das vigas. O esquema do ensaio utilizado por Tsutsumoto (2016) é mostrado na Figura 33.

Figura 33 – Esquema do ensaio de flexão pura (unidades em cm)

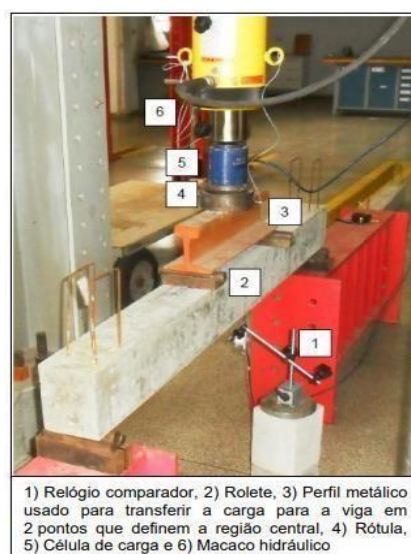


Fonte: Tsutsumoto (2016).

A estrutura de reação foi composta por um pórtico metálico e pela laje de reação do Laboratório do Núcleo de Ensino e Pesquisa da Alvenaria Estrutural (NEPAE), da UNESP – campus de Ilha Solteira (TSUTSUMOTO, 2016). Segundo a autora, a força foi aplicada por um macaco hidráulico acoplado a uma célula de carga de 30 tf. Para distribuir a força no vão central da viga, foi utilizado um perfil metálico e entre a célula de carga e o perfil metálico, foi posto uma rótula metálica, permitindo a acomodação do cilindro hidráulico em função de qualquer imperfeição na superfície do perfil.

O modelo real do ensaio, utilizado pela autora, pode ser verificado na Figura 34, mostrada a seguir.

Figura 34 – Ensaio de flexão pura



Fonte: Tsutsumoto (2016).

Ao longo do ensaio de flexão, os momentos correspondentes a uma flecha de 6 mm, valor limite do estado limite de serviço para deformação excessiva L/250, e a uma flecha de 8 mm, ruína da viga, foram devidamente registrados e mostrados na Tabela 4. Na Tabela 5, adicionalmente, são apresentados os momentos e as respectivas flechas referentes ao início da fissuração das vigas.

Tabela 4 – Resultado dos ensaios de flexão

VIGA		Momento de ruptura (kN.m) (E.L.Último)	Momento correspondente à flecha de 6 mm (kN.m) (E.L.Serviço)	Momento correspondente à flecha de 8 mm (kN.m)
REFERÊNCIA	1	4,671	3,551	4,225
	2	4,233	3,191	3,836
	3	4,405	3,341	3,897
Média		4,436	3,361	3,986
Desvio Padrão		± 0,180	± 0,148	± 0,171
BAMBU	1	6,191	3,769	4,298
	2*	-	-	-
	3	6,177	3,555	4,216
Média		6,184	3,662	4,257
Desvio Padrão		± 0,007	± 0,107	± 0,041
BAMBU REFORÇADO	1	7,132	3,621	4,527
	2*	-	-	-
	3	6,890	3,579	4,280
Média		7,011	3,600	4,404
Desvio Padrão		± 0,121	± 0,021	± 0,124
* Optou-se por ensaiar a VIGA BAMBU 2 e a VIGA BAMBU REFORÇADO 2 com uma idade mais avançada, acima de 360 dias, de modo a se ter uma indicação se o tempo irá afetar a resistência das taliscas e, conseqüentemente, das vigas.				

Fonte: Tsutsumoto (2016).

Tabela 5 – Resultado dos ensaios de flexão considerando o momento de fissuração e a sua flecha correspondente

VIGA		Momento correspondente à 1ª fissura (kN.m)	Flecha do momento correspondente à 1ª fissura (mm)
REFERÊNCIA	1	1,411	0,51
	2	1,333	0,45
	3	1,392	0,76
Média		1,379	0,58
Desvio Padrão		± 0,033	± 0,13
BAMBU	1	1,206	0,45
	2*	-	-
	3	1,210	0,75
Média		1,208	0,60
Desvio Padrão		± 0,002	± 0,15
BAMBU REFORÇADO	1	0,942	0,45
	2*	-	-
	3	1,126	0,64
Média		1,034	0,55
Desvio Padrão		± 0,092	± 0,09
* Optou-se por ensaiar a VIGA BAMBU 2 e a VIGA BAMBU REFORÇADO 2 com uma idade mais avançada, acima de 360 dias, de modo a se ter uma indicação se o tempo irá afetar a resistência das taliscas e, conseqüentemente, das vigas.			

Fonte: Tsutsumoto (2016).

A partir dos resultados obtidos por Tsutsumoto (2016), é possível afirmar que a presença de taliscas de bambu contribuiu para um acréscimo nos valores de momento fletor, atingido no ELU das vigas, com relação as vigas-referência. Em relação ao ELS, é possível afirmar que o momento relativo à flecha de 6 mm foi maior que o momento atingido pela viga referência, resultando em um ELS tardio para as vigas com adição de bambu.

A adição de taliscas com reforço ou sem reforço nos nós, evidencia uma mudança de comportamento mais nítida quando observado o caso de ruptura da seção (ELU), tendo as vigas com adição de taliscas com reforço um momento de ruptura maior.

Com relação aos resultados referentes ao momento fletor de fissuração das vigas, a autora comenta que o bambu não contribuiu positivamente neste caso, visto que as vigas com adição de bambu obtiveram uma fissuração precoce, se comparada à viga referência. Este fato pode estar relacionado ao módulo de elasticidade do bambu, que é menor do que o do concreto armado, contribuindo para uma aparição de fissuras precoces na região tracionada do elemento.

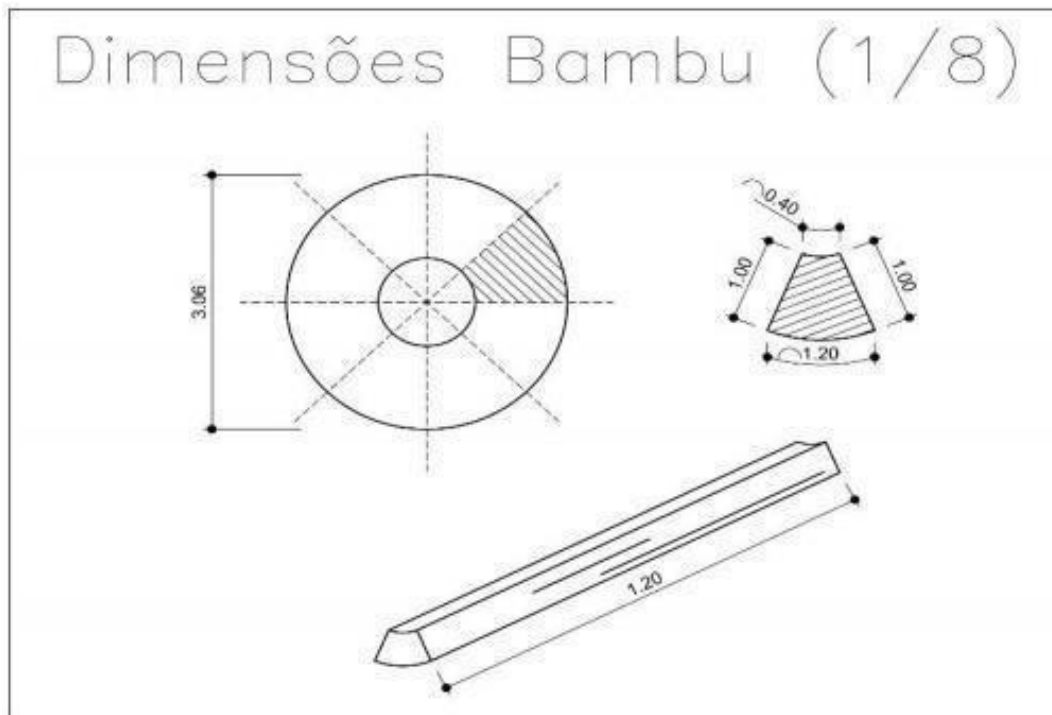
### **2.3.2. Bertacchini *et al.* (2020)**

Visando estudar o desempenho do bambu como material de construção sustentável, Bertacchini *et al.* (2020) comparou o desempenho estrutural de vigotas treliçadas pré-moldadas de concreto armado com e sem a presença de bambu da espécie *dendrocalamus asper* como armadura auxiliar, obtendo dados da carga máxima suportada e deformação de cada vigota.

Bertacchini *et al.* (2020) argumentou, com base em citação de Vellini (2018) e Pereira e Beraldo (2016), que a espécie *dendrocalamus asper* seria uma boa alternativa de estudo, pois, mesmo sendo uma espécie exótica de bambu, esta possui altos índices de lignina em sua composição, material ideal para sua resistência mecânica, e é adaptável a climas úmidos e semiáridos.

Para o uso do bambu como armadura auxiliar, foi efetuado o corte dos colmos (Figura 36) em aberturas de 45°, totalizando 8 “varetas”, como os autores denominam, para um colmo. As dimensões de corte (em metros) podem ser vistas na Figura 35.

Figura 35 – Corte de colmos em varetas



Fonte: Bertacchini *et al.* (2020).

Figura 36 – Corte de colmos



Fonte: Bertacchini *et al.* (2020).

Para a realização dos ensaios foram confeccionadas 6 vigotas (ilustradas na Figura 37), sendo 3 sem a adição de bambu (SB), e as outras 3 com adição de duas varetas de bambu cada (CB); a concretagem se deu a partir do traço de concreto mostrado na Tabela 6, e as características de armadura treliçada utilizadas estão mostradas na Tabela 7.

Tabela 6 – Traço do concreto utilizado nas vigotas

Concreto traço 1:3:3 - Resistência 25 MPa		
Material	Tipo	Quantidade
Cimento	CP V-ARI-RS	1 saco (50 kg)
Areia	Média	3 kg
Brita	5/8	3 kg
Água	-	26 litros
Fator água/cimento = 0,52		

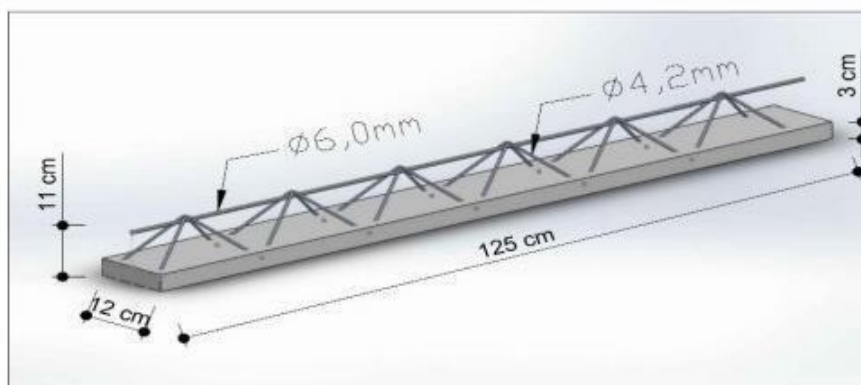
Fonte: Bertacchini *et al.*, 2020 (adaptado).

Tabela 7 – Informações técnicas de treliça

Aço CA60 - TG 8L – TR8644	
Fio	Φ Diâmetro (mm)
Banzo Superior	6,0
Banzos Inferiores	4,2
Diagonais	4,2

Fonte: Bertacchini *et al.* (2020).

Figura 37 – Vigota treliçada utilizada



Fonte: Bertacchini *et al.* (2020).



Para o começo do teste a viga foi posicionada com 10 cm de apoio de cada lado, resultando em 105 cm de vão livre, conforme mostrado na Figura 38. A prensa aplicou uma carga pontual no centro da vigota a uma velocidade de 20 N/s. O teste ocorreu em duas etapas de carga, descritas como F1 e F2 (sendo estas 572N e 1749N, respectivamente), onde ocorrem medições de flecha após atingir cada uma destas cargas. O teste foi finalizado após o aparecimento de fissuras no elemento.

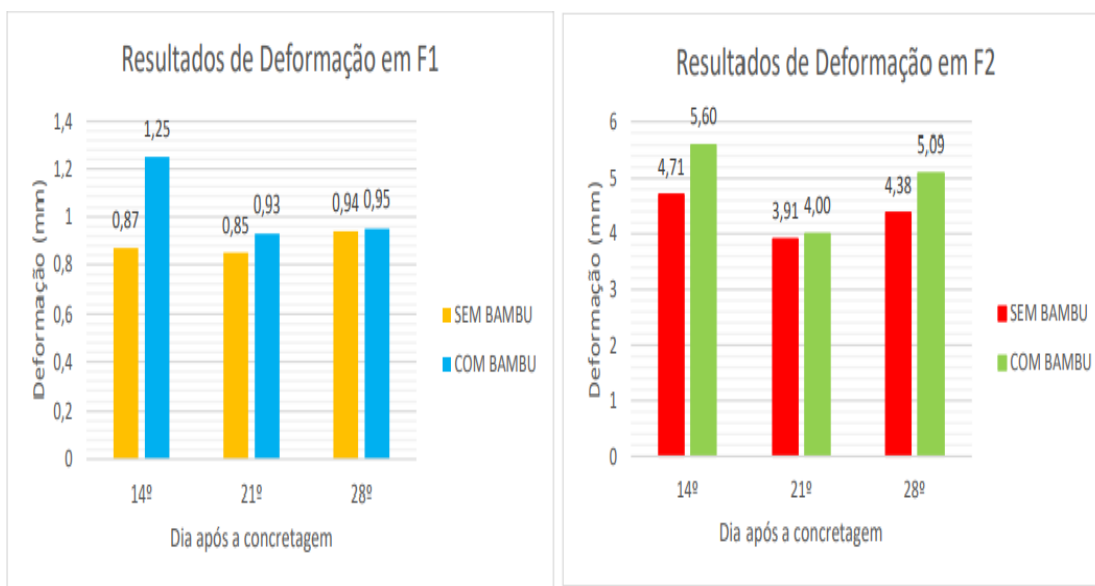
Os ensaios se deram em 3 dias distintos, cada dia ensaiando duas vigotas, uma com e outra sem a adição de bambu; os dias de ensaio foram programados para serem ao 14º, 21º e 28º dias após a concretagem das peças. O resultado dos ensaios é mostrado na Figura 39.

Figura 38 – Posicionamento da vigota para o começo do ensaio



Fonte: Bertacchini *et al.* (2020).

Figura 39 – Resultados dos ensaios das vigotas



Fonte: Bertacchini *et al.* (2020).

A partir dos ensaios Bertacchini *et al.* (2020) é possível verificar um aumento das flechas provocado pela adição de bambu nas vigotas, isto pode indicar uma maior deformação da peça, ou seja, uma menor rigidez do elemento.

O autor também cita diversas dificuldades que devem ser exploradas para garantir o uso do bambu como uma adição ao concreto armado: a não uniformidade do material, dado pela presença de nós nos colmos e o seu formato de tronco de cone no sentido longitudinal da peça; a sua absorção de água por ser um material higroscópico.

Diferente de Tsutsumoto (2016), o autor não utiliza nenhuma forma de impermeabilização no bambu, caso a impermeabilização pudesse ter sido feita nos componentes de bambu utilizados, os resultados apresentados na Figura 39 poderiam vir a ser diferentes, devido à menor absorção do bambu da água da mistura de concreto fresco. Porém, para se melhor prever as mudanças mecânicas dos corpos de prova com o tempo, perante à impermeabilização do bambu, seria necessário a realização de novos ensaios.

### 3. Materiais e Métodos

Para este experimento foram utilizados os seguintes materiais tidos como principais:

- taliscas de Bambu;
- fôrmas de madeira para confecção de lajes de concreto armado, dimensões da laje, de 9,5 x 86 x 210 cm de altura, largura e comprimento, respectivamente;
- fôrma metálica para confecção de vigas treliçadas pré-moldadas de concreto;
- cimento CP II Z – 32 (Itaú)
- brita de origem basáltica, do tipo 1, mesma utilizada por Amorim (2020);
- areia da região de Três Lagoas (MS), do tipo natural média, mesma utilizada por Amorim (2020);
- água do sistema de abastecimento da cidade de Ilha Solteira - SP;
- lajotas de EPS, para serem usadas como material de enchimento, intercaladas com as vigotas treliçadas pré-moldadas, de dimensões 6 x 30 x 120 cm, de altura, largura e comprimento, respectivamente;
- vigotas treliçadas pré-moldadas, de dimensões 6 x 30 x 120 cm de altura, largura e comprimento, respectivamente;
- armadura de distribuição transversal, com diâmetro de 4,2 mm (classe CA-60);
- armadura de distribuição longitudinal, com diâmetro de 6,3 mm (classe CA-50);
- treliça metálica fornecida pela empresa Gerdau.

### 3.1. Coleta, tratamento e preparo do bambu

O bambu utilizado na pesquisa foi coletado na FEPE- Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão, pertencente à Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP), câmpus de Ilha Solteira.

Inicialmente foi feita a extração dos colmos de bambu por meio de uma serra elétrica, manuseada por técnico devidamente habilitado (Figura 40).

Figura 40– Extração dos colmos



Fonte: foto de José Luiz P. Melges

Em seguida, os mesmos foram aspergidos com uma solução de octoborato de sódio, visando protegê-los contra ataques biológicos, e, posteriormente, foram postos para secar, em ambiente protegido, durante um período de 40 dias. Com isso, grande parte da seiva foi eliminada, assim garantindo maior durabilidade e prevenção aos ataques biológicos.

Posteriormente ao tratamento contra agentes biológicos e à secagem, os colmos foram levados à marcenaria da UNESP, onde foram cortados de tal forma a se obterem taliscas com uma seção transversal retangular de largura, espessura e comprimento correspondentes a, respectivamente, 2 cm, 0,5 cm e 210 cm. Mostrado na Figura 41.

Figura 41 – Corte dos colmos nas dimensões solicitadas



Fonte: foto de José Luiz P. Melges

As taliscas, já cortadas nas dimensões desejadas, foram impermeabilizadas com látex, para assim diminuir ou evitar a absorção de água pelo bambu, que é um material higroscópico. O látex utilizado na pesquisa foi coletado das seringueiras do sítio “Floresta”, na cidade de Bilac-SP (Figura 42).

Figura 42 – Extração do Látex

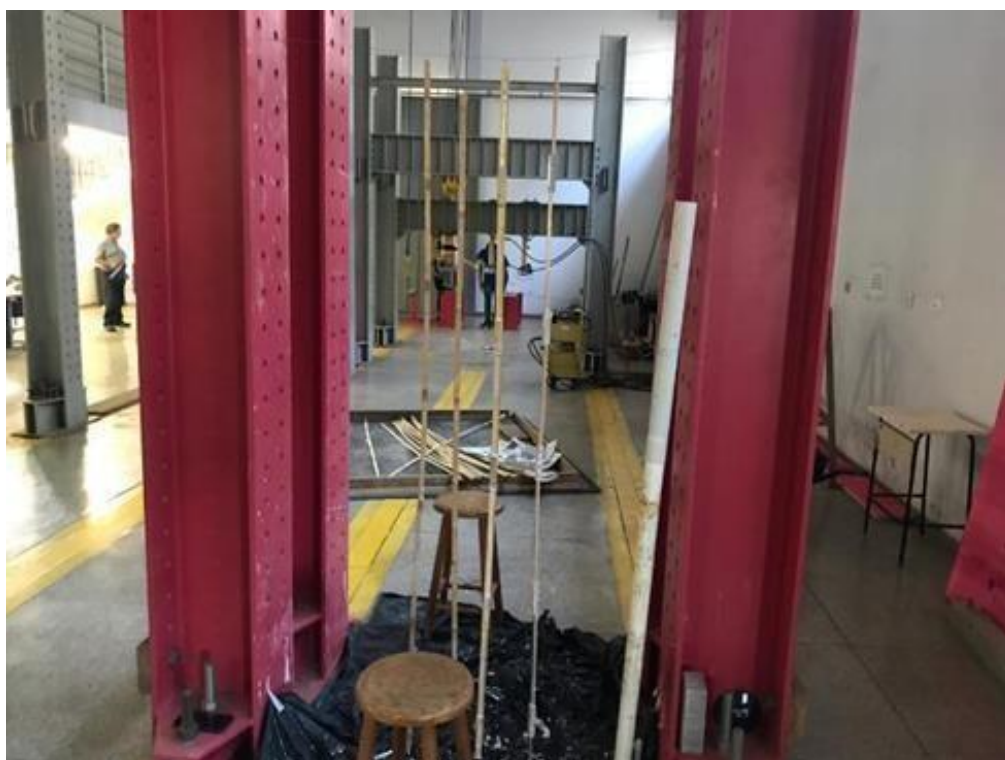


Foto de José Luiz P. Melges

A impermeabilização se deu pela imersão das taliscas em um tubo de 165 cm de altura e 5 cm de diâmetro, preenchido com látex, durante o período de 1 minuto. Como o comprimento da talisca era maior do que o do tubo, fez-se necessária uma nova imersão, alternando-se as extremidades, de modo que

todo o comprimento da mesma ficasse untado com látex. Em seguida, a talisca foi posta para secar por um período de 24 horas, pendurada verticalmente em um varal. Este processo foi repetido por mais 3 vezes, visando garantir uma melhor impermeabilização, conforme recomendado por Tsutsumoto (2016). Na Figura 43 apresenta-se o modo de secagem das taliscas de bambu, após terem sido imersas no tubo com látex.

Figura 43 – Secagem de Taliscas de Bambu após imersão no látex

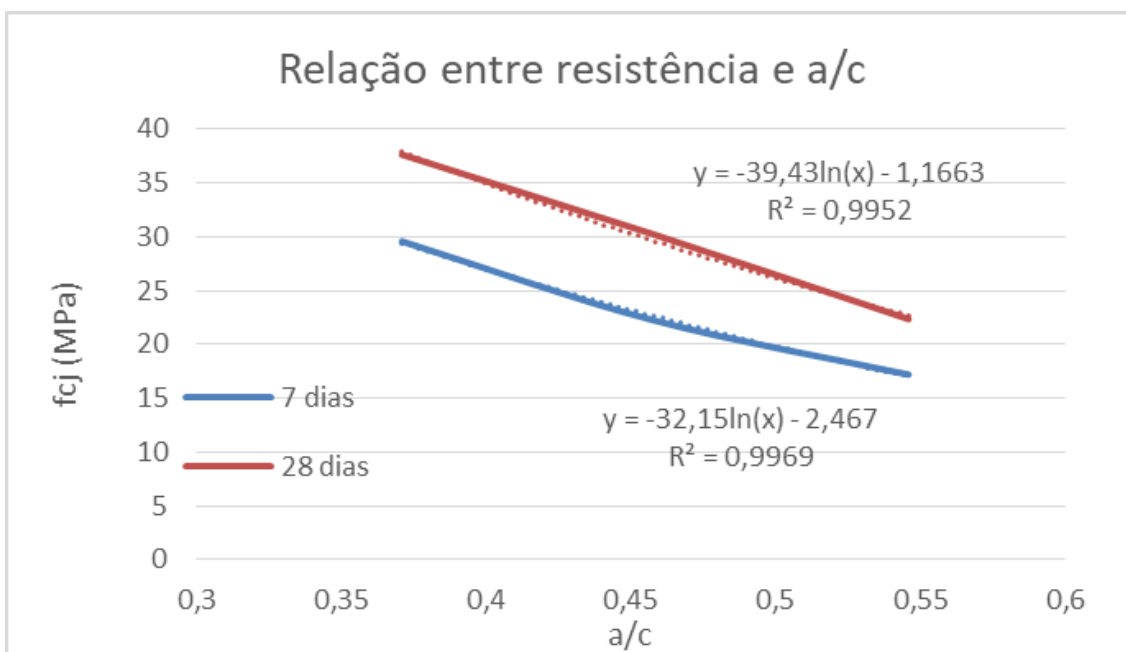


Fonte: Amorim (2020)

### 3.2 Dosagem do concreto

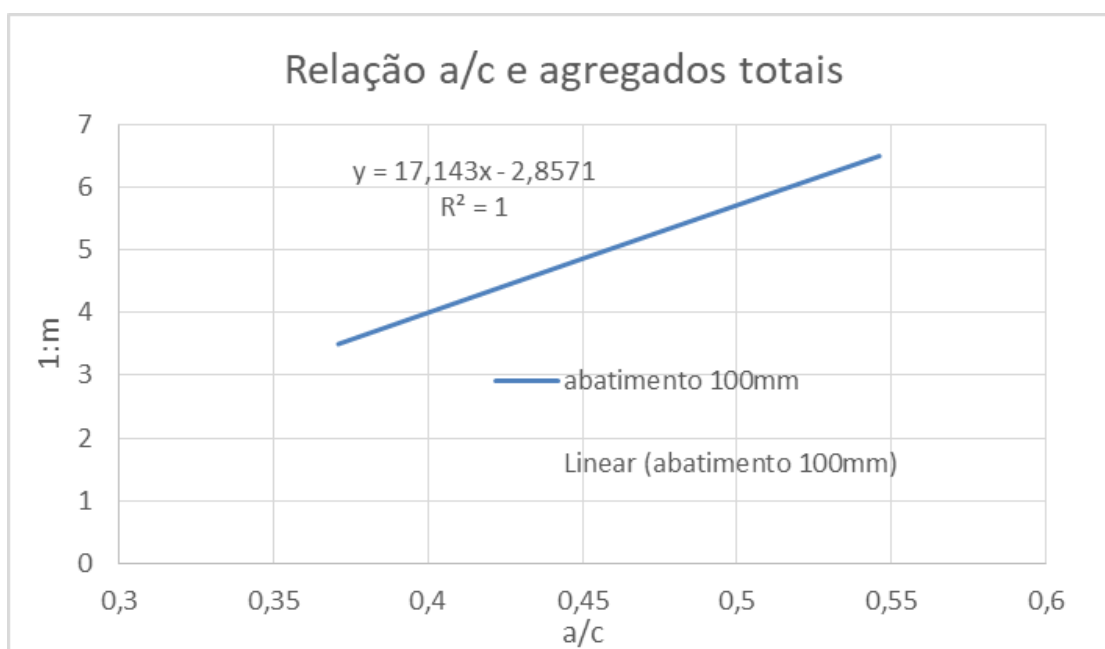
O traço utilizado para a dosagem do concreto utilizado neste trabalho foi o mesmo que o utilizado por Amorim (2020), em sua dissertação de mestrado. A dosagem foi baseada no método do IPT, apresentado por Helene e Terzian (1992), onde foi construído um diagrama de dosagem para a obtenção de um traço com resistência à compressão aos 28 dias entre 25MPa e 30MPa. Os resultados obtidos que serviram para a construção do diagrama estão mostrados nas Figuras 44, 45 e 46.

Figura 44 – Relação entre a resistência à compressão e o fator a/c

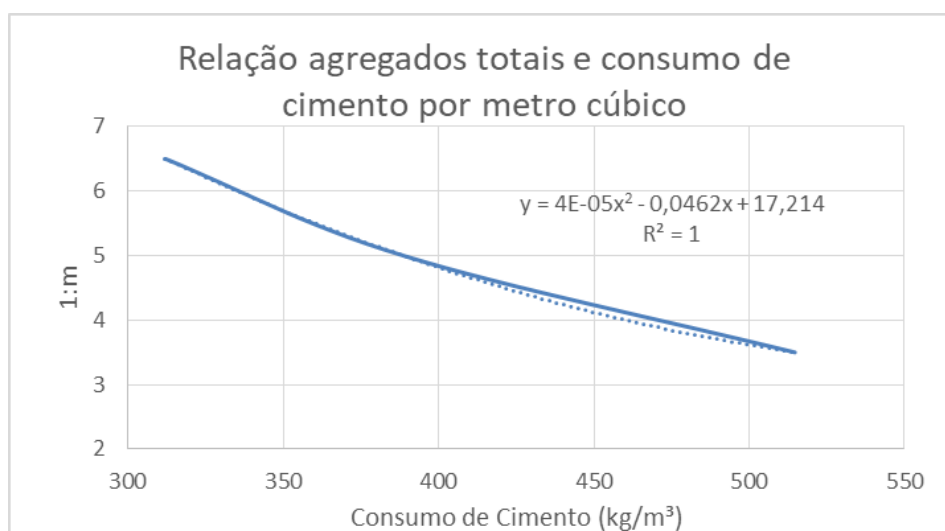


Fonte: Amorim (2020)

Figura 45 – Relação entre o fator a/c e agregados totais



Fonte: Amorim (2020)

Figura 46 – Relação entre os agregados totais e o consumo por m<sup>3</sup> de cimento

Fonte: Amorim (2020)

O traço utilizado por Amorim (2020) foi de 1:2:3,53:0,49, em massa, para cimento, areia, brita e água, respectivamente. Destaca-se que este mesmo traço também foi utilizado nesta pesquisa em função de ser um trabalho conjunto entre ambos autores.

### 3.3 Confeção das vigotas treliçadas pré-moldadas

A confecção das vigotas treliçadas pré-moldadas utilizadas neste trabalho seguiram o mesmo padrão que o apresentado por Amorim (2020). Na Tabela 4, apresentam-se as informações técnicas referentes à armadura treliçada.

Tabela 8 – Informações da Treliça Utilizada

Designação Gerdau	Designação normativa	Peso (kg/m)	Altura(cm)	Diâmetros (mm)		
				Banzo superior	Diagonal	Banzo Inferior
TG 8	TR 08644	0,735	8	6	4,2	4,2

Fonte: Gerdau (2019).

A concretagem das vigotas se deu em fôrmas metálicas cujo comprimento total era de 600cm, e de dimensões iguais a 12,5cm, 13cm e 3cm, correspondentes a, respectivamente, base inferior, base superior e altura.



Na preparação da superfície interna das fôrmas, realizou-se uma limpeza manual, evitando-se a impregnação de qualquer partícula em sua superfície que pudesse vir a prejudicar o trabalho. Em seguida, foi feita uma aplicação de óleo desmoldante visando a futura desforma das vigotas, programada para ocorrer após 24 horas após a concretagem.

Devido ao tamanho da fôrma, foi possível concretar duas vigotas por betonada, utilizando-se marcadores de madeira fixados por prendedores, ditos sargentos, a fim de se fixar o comprimento das treliças em 210 cm (Figura 47).

Figura 47 – Fôrma Metálica Utilizada na Concretagem das Vigotas



Fonte: Amorim (2020).

Sendo necessária a confecção de duas lajes para o estudo, foram necessárias 4 vigotas no total, sendo duas para a laje referência, dita REF, e duas para a laje com adição de taliscas de bambu, dita CT. Foram utilizados espaçadores plásticos, da marca JERUELPLAST, visando garantir um cobrimento adequado e também facilitar o posicionamento da talisca entre as barras longitudinais inferiores da armadura treliçada (Figura 48).

Figura 48 – Vigota treliçada com adição de bambu e já posicionada na Laje a ser concretada



Fonte: Próprio Autor (2020).

Estas vigotas foram concretadas utilizando-se o traço discutido na seção 3.2. 3.2.

O processo de concretagem das vigotas, após o preparo da fôrma, consistiu nas seguintes etapas:

- foi realizada a limpeza da betoneira para se evitar a contaminação do concreto por substâncias utilizadas anteriormente;
- foi feita a molhagem da superfície interna da caçamba da betoneira a fim de se evitar qualquer perda de água do traço durante o processo de concretagem;
- após a limpeza da betoneira, foi realizada uma imprimação da mesma, por meio de um traço na proporção de 1:2:4:0,5, de cimento, areia, brita e água, respectivamente, tendo sido empregados 2 kg de cimento;
- foi iniciada a concretagem propriamente dita, primeiramente pela mistura dos agregados totais (areia e brita) junto com metade da quantidade de água (medida em massa), por um período de 1 minuto, por meio do acionamento da betoneira;
- foi acrescentado o cimento, juntamente com a outra metade da água, à mistura, e acionou-se a betoneira por 3 minutos;

- foi realizada uma pausa para o descanso do concreto e análise da sua consistência pelo período de 3 minutos;
- acionou-se novamente a betoneira por mais 3 minutos;
- realizou-se o teste de abatimento (*Slump Test*);
- confeccionaram-se os corpos de prova necessários para a caracterização das propriedades mecânicas do concreto elaborado e foi feito o enchimento das fôrmas metálicas.

Este procedimento foi realizado duas vezes. Para cada concretagem, era possível a confecção de duas treliças.

O processo de cura das treliças foi feito por meio do uso de piscina inflável, conforme a Figura 49, preenchida com uma mistura de água e cal pelo período mínimo de 7 dias. A inserção da cal na água que ficaria parada durante o período da cura evitou que a mesma pudesse abrigar vetores biológicos utilizados na transmissão da dengue.

Figura 49 – Cura das treliças realizada por imersão em água



Fonte: Amorim (2020).

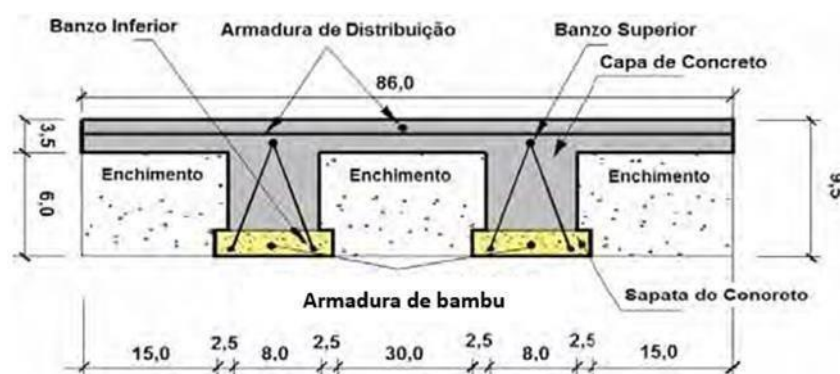
### 3.4.Confecção das lajes

O modelo de laje empregado foi o mesmo que o utilizado por Amorim (2020). A configuração utilizada nesta pesquisa está exemplificada na Figura 50, onde pode ser observado um sistema de laje com duas nervuras formadas por sapatas treliçadas que formam uma seção transversal em T com dimensão total de 86 cm para a parte superior (capa de concreto) e 26 cm de base inferior (vigotas treliçadas de concreto).

Durante a pesquisa, foram confeccionadas duas lajes, sendo estas uma com vigotas sem a adição de taliscas de bambu, utilizada como referência para a pesquisa, designada pelo termo LREF, e outra com vigotas com adição de taliscas de bambu utilizada para avaliar o desempenho do bambu no comportamento estrutural da laje, designada pelo termo LSR.

A partir da cura das vigotas pré-moldadas, posicionaram-se as mesmas nas fôrmas de madeira com fundo formado por um recorte retangular de madeirite de dimensões correspondentes a 86cm, 210cm e 1cm, de largura, comprimento e altura, respectivamente, para a obtenção de lajes de dimensões correspondentes a 9,5cm, 86cm e 210 cm, de altura, largura e comprimento, respectivamente. Entre as vigotas, e nas suas laterais, foram utilizados, como elementos de enchimento, algumas lajotas de EPS, já mencionadas na seção 2.1. A seção transversal da laje está mostrada na Figura 50.

Figura 50 – Seção Transversal da Laje



Fonte: Amorim (2020), adaptado de Fazzan (2011).

As lajotas de EPS utilizadas nas laterais da laje tiveram que ser cortadas para que a configuração, mostrada na Figura 51, pudesse ser alcançada. Após o posicionamento das vigotas e da colocação dos elementos de enchimento de EPS, foi posicionada, na altura da capa, uma armadura de distribuição composta por barras posicionadas transversalmente ao eixo da laje e por uma barra longitudinal posicionada no eixo de simetria da mesma. Para essas barras, já mencionadas na seção 2.1, foi adotado um cobrimento correspondente a 2,5 cm. O espaçamento das barras com 4,2mm de diâmetro (aço CA-60), colocadas perpendicularmente ao eixo da laje, foi de aproximadamente 20,5 cm; já a única barra de 6,3mm (aço CA-50), posicionada na direção do eixo da laje, foi colocada no eixo da seção transversal.

Figura 51 – Laje armada e pronta para ser concretada



Fonte: Próprio Autor (2020).

Na laje, foram também instalados, próximo a cada canto, um gancho, que foi amarrado ao banzo superior da treliça. A finalidade desses ganchos foi a de facilitar o içamento da laje concretada e a sua movimentação, mediante o uso de faixas de içamento e da ponte rolante disponível no laboratório do NEPAE – Núcleo de Ensino e Pesquisa da Alvenaria Estrutural.

O processo de concretagem da laje se deu da mesma forma que o das vigotas, já descrito na seção 5.2.5. Porém, devido à necessidade de um maior volume de concreto, foram necessárias duas betonadas do traço 1:2:3,53:0,49, comentado na seção 5.2.4, cada uma com uma massa de cimento de 23 kg. Para cada betonada de concreto foram retirados corpos de prova para se medir posteriormente o desempenho do traço, sendo coletados 4 corpos de prova da primeira betonada e 16 da segunda. Foram coletados mais corpos de prova da segunda betonada, pois desta, havia mais concreto disponível para a sua confecção. Após cada mistura de massa, foi realizado o ensaio de abatimento (*slump test*).

Após a mistura do concreto ser concluída e o *slump test* ter sido realizado, procedeu-se à moldagem dos corpos de prova e ao lançamento do concreto nas fôrmas de madeira. Tanto para a execução da laje protótipo como para a laje com talisca, o procedimento seguido foi o mesmo:

- despejo do concreto na fôrma com uso de colher de pedreiro (Figura 52);
- adensamento da massa utilizando-se um vibrador de imersão (Figura 52);
- nivelamento da superfície por meio de régua niveladora de metal e desempenadeira (Figura 53).

A confecção da laje ocorreu ao mesmo tempo da confecção dos corpos de prova, para que ambos os procedimentos ocorressem antes do término do tempo de pega da massa, evitando qualquer dano ao concreto elaborado. Desta forma, operadores diferentes se incumbiram de diferentes tarefas.

Figura 52 – Despejo e Adensamento do Concreto



Fonte: Próprio Autor (2020).

Figura 53 – Nivelamento da massa de concreto da laje



Fonte: Próprio Autor (2020).

A cura das lajes se deu por um período de, no mínimo, 7 dias. A superfície superior das lajes era inteiramente umedecida duas vezes ao dia, uma de manhã e outra à tarde, e então cobertas com lona plástica para garantir um isolamento e manutenção da umidade, contribuindo para uma melhor cura do concreto conforme ilustrado na Figura 54.

Figura 54 – Cura da Laje



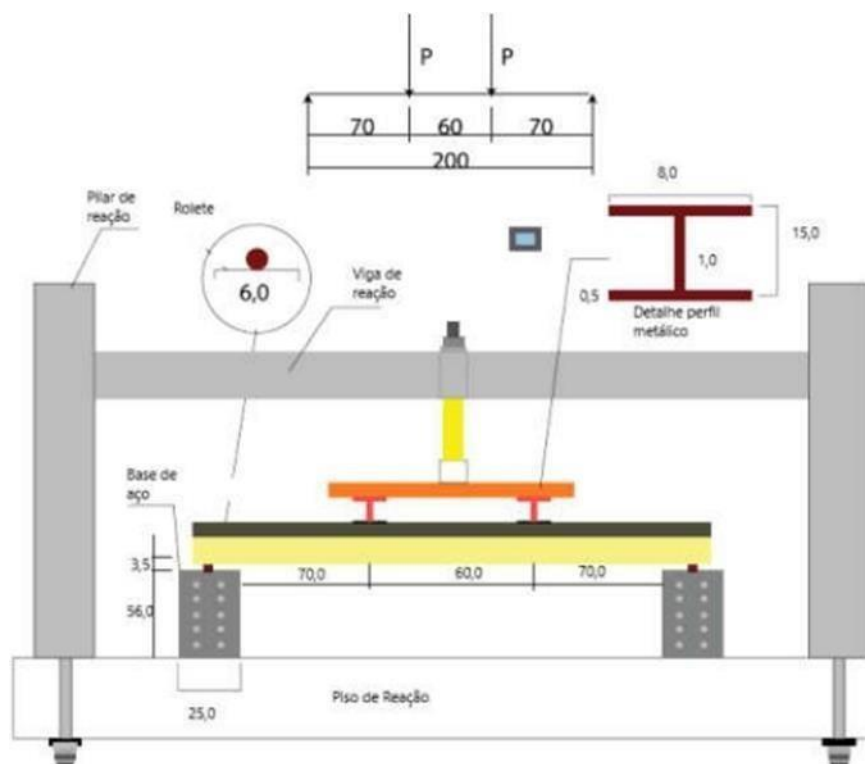
Fonte: Próprio Autor, 2020

### **3.5. Ensaio de flexão a quatro pontos**

Para se estudar a interferência das taliscas de bambu como adição à armadura treliçada das lajes, foram realizados ensaios de flexão à 4 pontos, simulando uma situação de flexão pura no terço médio da laje. Cada laje foi posicionada simplesmente apoiada sobre perfis metálicos. A carga foi aplicada por meio de um macaco hidráulico, e distribuída para a laje por meio de dois perfis de peso 89,2 Kgf cada, conforme Figura 55.



Figura 55 – Esquema do ensaio de flexão a 4 pontos



Fonte: Amorim (2020).

O ensaio foi realizado no laboratório NEPAE, e têm seu término a partir do rompimento de cada laje. O exemplo do posicionamento de uma laje é apresentado na Figura 56.

Figura 56 – Exemplo de laje posicionada para o ensaio de flexão a 4 pontos



Fonte: Amorim (2020).

## 4. Resultados e Discussões

Os resultados obtidos nesta pesquisa são os utilizados na dissertação de Amorim (2020), por se tratar de um trabalho conjunto.

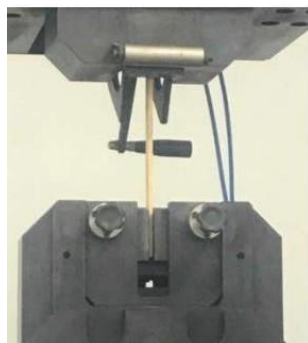
Taliscas de bambu da espécie *Bambusa vulgaris*, foram utilizadas como adições às armaduras das vigotas de protótipos de lajes treliçadas pré-moldadas de concreto armado. Foram realizados ensaios de flexão pura a fim de se estudar o comportamento dos mesmos, e verificar o comportamento mecânico e físico do bambu nestes ensaios.

Para se realizar o trabalho com esse bambu em específico, foi necessária a realização de todo um estudo das propriedades mecânicas e físicas do mesmo. Por ser um material higroscópico, foi necessário realizar uma impermeabilização antes de incorporar as taliscas junto à armadura das vigotas. Ensaios para determinar a resistência à tração da talisca, e para determinar a tensão de aderência, por meio de ensaios de arranchamento, foram realizados em seguida.

Os colmos bambu utilizados foram coletados com diâmetros maiores que 12 cm e foram posteriormente cortados na forma de taliscas com as seguintes dimensões: 2 cm de largura, 0,5 cm de espessura e comprimento variável de acordo com o ensaio, sendo 38 cm para taliscas utilizadas nos ensaios de tração e 210 cm para as que foram utilizadas como reforço à armadura treliçada posicionada nas vigotas das lajes pré-moldadas.

Os ensaios de tração foram realizados com a fixação das extremidades de taliscas sem nós, nas garras da máquina Instron EMIC, com capacidade de 30 tf. As taliscas que obtiveram rupturas perto das garras foram desconsideradas para efeito de estudo de resultados. Foram ensaiadas 10 taliscas com nó e 10 taliscas sem nós (Figura 57). A Tabela 12 apresenta os resultados obtidos.

Figura 57 – Ensaio de tração de taliscas de bambu



Fonte: Amorim, 2020 (adaptado).

Tabela 9 – Resultados do ensaio de tração aplicado à taliscas com e sem nós

	Taliscas sem nós	Taliscas com nós
Média (MPa)	84,4	61,3
Desvio Padrão (MPa)	15,8	10
Coefficiente de Variação (%)	18,8	16,3

Fonte: Amorim, 2020 (adaptado).

Assim como o esperado, os resultados de tração demonstram a queda na resistência das taliscas de bambu com a presença de nós, confirmando a bibliografia sobre o tema. Exemplos de taliscas rompidas após o ensaio são mostradas pela Figura 58.

Figura 58 – Exemplo de rompimento de taliscas



Fonte: Amorim (2020).

Os resultados obtidos nas resistências podem diferir dos obtidos em outros trabalhos correlacionados, como, por exemplo, os de Tsutsumoto (2016), que utilizou a mesma espécie de bambu, visto que as variáveis ambientais, como solo, idade de colheita, posição geográfica, dentre outros, influenciam nas qualidades resistivas do bambu.

Assim como Tsutsumoto (2016), neste trabalho também foi feito um tratamento impermeabilizante nas taliscas de bambu, visando controlar o seu comportamento higroscópico, que poderia vir a se tornar um problema quando empregado junto ao concreto, interferindo na sua adesão ao mesmo.

Com relação à impermeabilização, após a aplicação do látex, as taliscas foram pesadas a fim de se saber a quantidade de massa de borracha aderida, considerando-se uma área de superfície de cada talisca de 1052 cm<sup>2</sup>, os resultados obtidos foram considerados satisfatórios (Tabela 10).

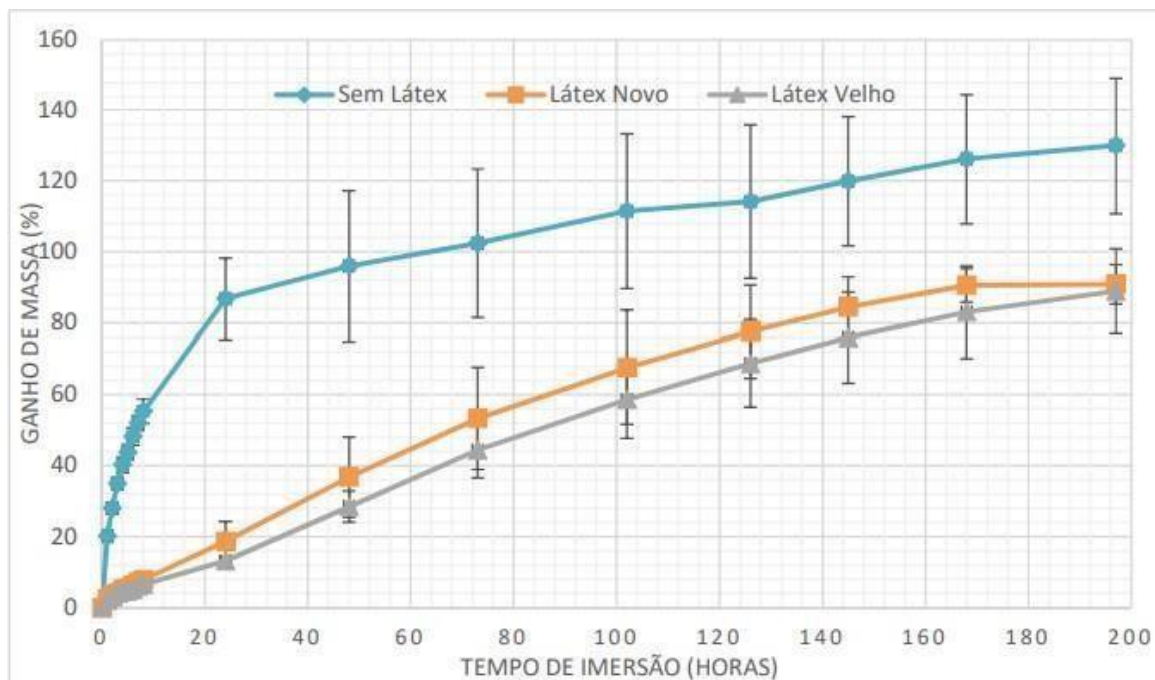
Tabela 10 – Ganho de massa das taliscas devido ao processo de impermeabilização

CP	Massa antes (g)	Massa depois (g)	Diferença (g)	Ganho de massa (g/cm <sup>2</sup> )
1	121,8	144,9	23,0	2,2 E-2
2	122,4	144,2	21,8	2,1 E-2
3	121,5	143,4	21,9	2,1 E-2
4	111,0	132,1	21,0	2,0 E-2
<b>Média</b>				2,1 E-2
<b>Desvio-padrão</b>				7,8 E-4
<b>Coefficiente de Variação (%)</b>				3,76

Fonte: Amorim (2020)

Após a pesagem das taliscas, 3 corpos de prova sem impermeabilização e 3 com impermeabilização foram imersos em água. Os ensaios de ganho de massa por absorção de água pelas taliscas demonstraram o impacto da impermeabilização pelo látex, conforme demonstra a Figura 59.

Figura 59 – Ensaio de absorção de água pelas taliscas de bambu impermeabilizadas



Fonte: Amorim (2020)

O ensaio de arrancamento, realizado por Amorim (2020), se sucedeu de forma parecida como que descrito por Tsutsumoto (2016), utilizando desta vez 5 corpos de prova com taliscas de 60 cm cada, com imersão de trechos sem reforços nos nós, em moldes de 15 cm de diâmetro e 30 cm de altura, porém com os 12 cm finais e iniciais ungidos com graxa e envoltos com jornal e fita crepe, delimitando a zona de ensaio de arrancamento. Os corpos de prova foram desformados em 24 horas, mas obtiveram apenas 7 dias de cura. Os resultados obtidos dos ensaios são mostrados na Tabela 11.

Tabela 11 – Resultados dos ensaios de arranchamento

CP	Força (kgf)	comprimento (cm)	espessura (cm)	largura (cm)	Área (cm <sup>2</sup> )	Tensão de aderência (MPa)
1	218,72	6,3	0,65	2,05	34,02	0,63
2	225,74	6,5	0,55	2,1	34,45	0,64
3	217,72	6,5	0,65	2,1	35,75	0,60
4	210,69	6,65	0,6	2,05	35,245	0,59
5	240,79	6,3	0,6	2,1	34,02	0,69
<b>Média (MPa)</b>						0,63
<b>Desvio-padrão (MPa)</b>						0,04
<b>Coefficiente de variação (%)</b>						6,05

Fonte: Amorim (2020).

Mesmo sendo um bambu da mesma espécie que a utilizada por Tsutsumoto (2016), o valor médio da tensão de aderência obtido neste trabalho igual a 0,63 MPa, diferiu do obtido por Tsutsumoto (2016) igual a 0,89 MPa, a diferença pode ser explicada como sendo devida a fatores geográficos, pelo fato do bambu ter sido colhido em tempos diferentes e em touceiras diferentes, portanto, terem qualidades diferentes. É enfatizado que todos os corpos de prova sofreram rompimento por escorregamento.

Partindo para o estudo das lajes treliçadas pré-moldadas, foi utilizado como modelo uma laje de seção T, com 86 cm de largura, 210 cm de comprimento e 9,5 cm de altura, composta por duas vigotas pré-moldadas. O modelo da laje utilizado é o ilustrado na Figura 50.

As lajes estudadas foram divididas em 2 tipos com relação às armaduras das vigotas, sendo uma laje tida como referência (LRef), e a outra laje com a adição de taliscas de bambu (LSR). As treliças utilizadas para a produção das vigotas pré-moldadas eram do modelo TG8 conforme o catálogo da Gerdau, fabricadas a partir de aço CA-60, e suas informações são descritas pela Tabela 8.

Cada laje foi construída a partir de fôrmas de madeira de dimensão 86 cm de largura, 210 cm de comprimento e 1 cm de espessura, tendo os espaços entre as vigotas preenchidos por material EPS (poliestireno expansível). Barras

transversais de 4,2 mm<sup>2</sup> espaçadas a cada 20,5 cm (totalizando 11 barras) e uma (1) barra no sentido longitudinal de 6,3 mm<sup>2</sup> com 205 cm de comprimento foram posicionadas na fôrma, na região correspondente à capa da laje. Para finalizar a montagem das lajes, junto com as vigotas, enchimentos e armaduras complementares, foram instalados 4 ganchos (um em cada canto da laje) para poder facilitar a movimentação do elemento estrutural, por meio do uso de ponte rolante, após o seu endurecimento. Os modelos de uma laje pronta para ser concretada e o de uma laje concretada é mostrada na Figura 60.

Figura 60 – Laje pronta para ser concretada e laje já concretada



Fonte: Amorim (2020).

As lajes produzidas foram submetidas a ensaios de flexão pura a 4 pontos, conforme mostrado nas Figuras 35 e 36.

Todos os protótipos ensaiados obtiveram ruptura no terço central, região de flexão pura, passando por um momento de escoamento e então ruptura da armadura inferior das vigotas.

Os valores de momentos fletores característicos obtidos ao longo dos ensaios são mostrados na Tabela 12.

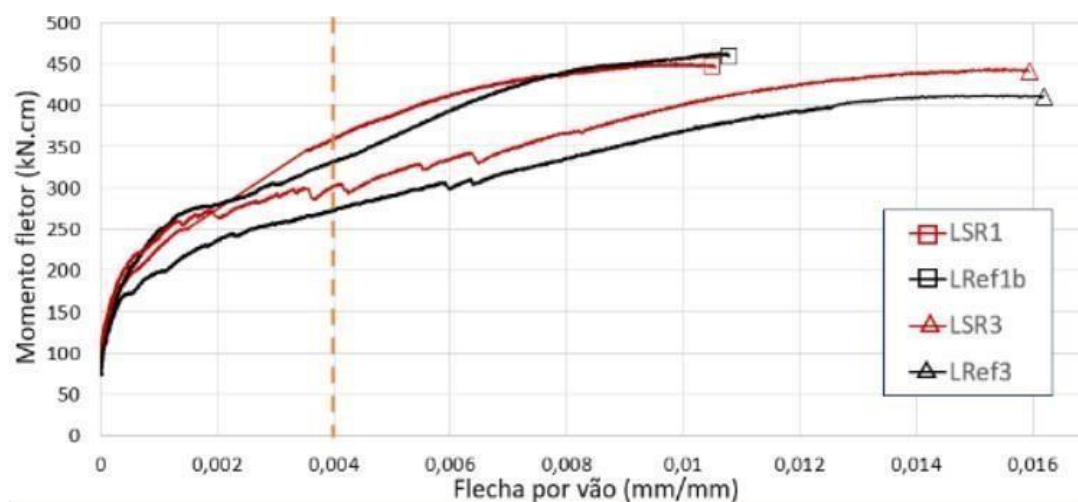
Tabela 12 – Momentos fletores característicos (unidades kN.cm)

Protótipo	Momento Último	Momento ELS	Momento de Fissuração
LRef1b	462,74	331,55	121,32
LRef2	428,62	331,31	121,33
LRef3	411,46	272,63	88,3
LSR1	450,31	359,21	156,41
LSR2	476,15	324,96	115,81
LSR3	443,57	301,65	118,32

Fonte: Amorim, 2020 (adaptado).

A Figura 61 demonstra a relação entre o momento fletor e a razão flecha/vão das lajes, ao longo dos ensaios, onde a linha tracejada da figura representa o ponto representativo do ELS por deformação excessiva, ou seja, quando a flecha de 8 mm era atingida. Como por um erro de dosagem a resistência do concreto usado nas lajes LSR2 e LREF2 ficou muito acima das outras, seus resultados foram desconsiderados.

Figura 61 – Gráfico de momento fletor x flecha/vão



Fonte: Amorim, 2020 (adaptado).



Os valores dos momentos fletores médios correspondentes ao início do Estado Limite de Serviço (M,els), e para o Estado limite último (M,elu), obtidos por meio dos ensaios encontram-se expostos na Tabela 13.

Tabela 13 – Momentos fletores médios para o ELS e o ELU (unidades em kN.cm)

<b>Protótipo</b>	<b>M,els</b>	<b>M,elu</b>
<b>LREF</b>	302,09	437,1
<b>LSR</b>	330,43	446,94

Fonte: Amorim, 2020 (adaptado).

Os resultados apresentados demonstram um melhor desempenho estrutural da laje com adição de taliscas de bambu. Podendo ser verificado um aumento no momento fletor necessário para que se atinja o ELS de aproximadamente 9,4%.

Já com relação ao ELU, a diferença percentual entre as resistências das lajes sem e com reforço de taliscas foi de apenas 2,25%, não sendo um acréscimo significativo.

Com relação ao momento de fissuração, caso seja observado os mesmos protótipos listados na Figura 61, têm-se um momento de fissuração médio para as lajes com adição de reforço de 137,36 kN.cm, em relação à 104,81 kN.cm da média referente as lajes sem a adição de bambu. Porém, é conveniente comparar os valores de momento de fissuração juntamente com as resistências à tração do concreto utilizado nas vigotas, pois estas são as peças que seriam primeiramente submetidas à fissuração durante o ensaio (devido os esforços de tração). Os valores de resistência à tração do concreto utilizado nas vigotas pré-moldadas são mostrados na Tabela 14.

Tabela 14 – Resistências características das vigotas pré-moldadas aos 28 dias

<b>Identificação do Traço</b>	<b>Abatimento (cm)</b>	<b>Resist. Compressão (MPa)</b>	<b>Resist. Tração (MPa)</b>	<b>Módulo de Elasticidade (Gpa)</b>
<b>LSR1</b>	9,5	21,11	2,2	41,27
<b>LREF2 e LSR2</b>	9,7	26,32	3,44	32,04
<b>LREF1b</b>	10	23,11	3,17	35,93
<b>LREF3</b>	8,9	31,11	3,23	35,4
<b>LSR3</b>	11,2	26,53	2,56	-

Fonte: Amorim (2020).

A partir dos valores de resistência à tração mostrados na Tabela 14, foram consideradas apenas as amostras LRef 2, LRef1b e LSR2, que correspondem aos momentos de fissuração de 121,33 kN.cm, 121,32 kN.cm e 115,81 kN.cm, respectivamente, sendo um resultado compatível com a bibliografia, pois o momento de fissuração da laje com adição de bambu obteve o menor valor. Isto se deve ao fato do bambu possuir um menor valor de módulo de elasticidade que o concreto, assim, a adição dos reforços de bambu à armadura das lajes contribui para a fissuração precoce das mesmas.

## 5. Conclusão

O bambu é um material com propriedades ímpares, e, portanto, não pode ser desconsiderado dos estudos de engenharia de materiais, e da sua aplicabilidade na construção civil. Mesmo com todas as suas potencialidades, é necessário ter todo o cuidado, uma vez que este material é orgânico, e higroscópico, devendo ser submetido à tratamentos, como por exemplo, tratamentos contra agentes biológicos, devido à possível presença de seiva da peça recém coletada da natureza e a impermeabilização para poder ser utilizado em peças de concreto armado, como em Tsutsumoto (2016). Com relação ao seu uso estrutural, de acordo com os trabalhos apresentados, e principalmente em Amorim (2020), o bambu como adição a armaduras de aço obteve um efeito benéfico, aumentando o módulo do momento fletor necessário para que a peça atinja o estado limite de serviço (ELS) por deformação excessiva. Por outro lado, este material não obteve nenhum efeito relativamente positivo referente ao estado limite último (ELU) do elemento estrutural, não tendo um acréscimo expressivo, e contribuiu para uma diminuição do módulo do momento de fissuração das lajes. Desta forma, em termos construtivos, o bambu poderia ser um bom candidato para o uso em construções de menor porte, como residências, caracterizadas por não apresentarem cargas expressivas que precisem ser suportadas, e o estado limite de serviço se torna uma dificuldade de projeto maior que o estado limite último, podendo ser uma opção válida estruturalmente, além de uma opção econômica e sustentável.

## Referências Bibliográficas

AMORIM, GUILHERME AUGUSTO NASCIMENTO. Estudo do comportamento estrutural de lajes treliçadas pré-moldadas adicionalmente reforçadas com taliscas de bambu. 2020. 189 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 14862: Armaduras treliçadas eletrossoldadas - Requisitos. Rio de Janeiro, 2002. 10 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, 2014. 238 p.

BARBIERI, PAOLA. Análise teórica e experimental de lajes treliçadas. 2016. 73 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade de Santa Cruz do Sul – Unisc, Santa Cruz do Sul, 2016.

BARROS, B. R.; SOUZA, F. A. M. Bambu: alternativa construtiva de baixo impacto ambiental. In: Conferência Latino-Americana de Construção Sustentável, São Paulo, 2004.

BERTACCHINI, GUILHERME HENRIQUE; VIOLIN, RONAN YUZO TAKEDA; LIMA, KAROLYNE MARTINS DE; VAROTO, RAFAEL ALVES PEREIRA. Utilização do bambu da espécie *dendrocalamus asper* em vigotas pré-moldadas de concreto armado para análise da deformação. *Brazilian Journal of Development*, v. 6, n. 4, p. 20654-20666, 2020.

CARBONARI, GILBERTO *et al.* Bambu—O aço vegetal. *Mix Sustentável*, v. 3, n. 1, p. 17-25, 2017.

CORREA, MARCIO A. P. Utilização de Bambu na Construção. 2014. 107f.

DA SILVA, Isaac Freitas; DOS SANTOS PEREIRA, Daniel; SILVA, Silvana Rocha Ferreira. Estudos morfológicos do bambu (*Bambusa cf. vulgaris* L.), uma espécie invasora em área de mata atlântica no parque municipal de Maceió-Alagoas. *Revista Semente*, v. 6, n. 6, 2011.

DROPPA JÚNIOR, ALONSO. Análise estrutural de lajes formadas por elementos pré-moldados tipo vigota com armação treliçada. 1999. PhD Thesis. Universidade de São Paulo.

FERREIRA, G. C. S. Vigas de concreto armadas com bambu. 2002. 143 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002.

FERREIRA, GISLEIVA CRISTINA DOS SANTOS. VIGAS DE CONCRETO ARMADAS COM TALISCAS DE BAMBU DENDROCALAMUS GIGANTEUS. 2007. 174 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.

GERDAU (Brasil). Treliça Gerdau. 2019. Disponível em: <https://www2.gerdau.com/pt-br/produtos/trelica-gerdau>. Acesso em: 10 nov. 2020.

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

HELENE, PAULO RL; TERZIAN, Paulo. Manual de dosagem e controle do concreto, Ed. PINI, S.Paulo, SP, 1992.

ISAIA, G. (ed.). Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia dos materiais. 2. ed. São Paulo: IBRACON, 2010. v. 2.

JANSSEN, JULES JA. Design and building with bamboo. Technical University of Eindhoven. Netherlands: INBAR, 2000.

LIESE, W. The anatomy of bamboo culms. INBAR – International Network for bamboo and rattan, 1998. China. Technical Report. 204 p.

LIMA, LEONARDO MEDEIROS *et al.* Produção e caracterização de compósitos cimentícios reforçados com fibras de bambu (*Bambusa vulgaris*). 2019.

OLIVEIRA, ANDERSON DE. Lajes treliçadas pré-moldadas produzidas com concreto leve estrutural / Anderson de Oliveira. – Campos dos Goytacazes, 2010.

xii, 76 f. : il. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) --Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Centro de Ciência e Tecnologia. Laboratório de Engenharia Civil. Campos dos Goytacazes, 2010.

PADOVAN, ROBERVAL BRÁZ. O bambu na arquitetura: design de conexões estruturais. 2010. 182 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Design, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Bauru, 2010. PEREIRA, M. A. dos R.; BERARDO, A.L. Bambu de corpo e alma. Bauru – SP: Canal 6 Editora. 2008. 240 p.

PEREIRA, MARCO ANTONIO DOS REIS. Projeto bambu: introdução de espécies, manejo, caracterização e aplicações. 2012. 210 f. Tese (Livre-Docência) - Curso de Design, Universidade Estadual Paulista "Julio de Mesquita Filho", Bauru, 2012.

RUSCH, FERNANDO, *et al.* Propriedades físicas e mecânicas de hastes adultas de diferentes espécies de bambu: uma revisão. *Brazilian Journal of Development*, 2020, 6.4: 22549-22566.

SOUZA, ADRIENE PEREIRA COBRA COSTA. Bambu na habitação de interesse social no Brasil. *Cadernos de Arquitetura e Urbanismo*, v. 11, n. 12, 2004.

TARGA, GABRIEL NORCIA *et al.* 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.

TIBURTINO, R.F. PAES, J. B. VIDAURRE, G. B. ARANTES, M. D. C. ROSA, F. A. Influência do diafragma no tratamento preservativo de duas espécies de bambu por substituição de seiva. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 26, n. 3, p. 925-938, 2016.

TRIGO, A. P. M. Estudo de lajes com adição de resíduo de pneu. 2008. 112 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Ilha Solteira, 2008.

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

## Referências Bibliográficas Complementares

ANDRIOLO, FRANCISCO RODRIGUES; SGARBOZA, BENTO CARLOS. Inspeção e controle de qualidade do concreto . 3. ed. São Paulo: Newswork, 1993. 572 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 14859-1: Laje pré-fabricada – Requisitos Parte 1: Lajes unidirecionais. Rio de Janeiro, 2002. 15 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 14859-2: Laje pré-fabricada – Requisitos Parte 2: Lajes bidirecionais. Rio de Janeiro, 2002. 15 p.

CAIXETA, D. P. Contribuição ao Estudo de Lajes Pré -fabricadas com Vigas Treliçadas. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, Campinas - SP, 1998.

DOS SANTOS FERREIRA, BEATRIZ; CODÁ, AMARO. A Utilização de Taliscas de Bambu como Reforço da Armadura em Vigas de Concreto Armado. Gestão e Gerenciamento, v. 12, n. 12, p. 12-24, 2020.

LIMA, A. G. T. Caracterização Do Isolamento Acústico De Polímeros Reciclados Adicionados De Fibras De Bambu Utilizando Análise Do Coeficiente De Absorção Sonora Em Tubos De Impedância, 2016.

OLIVEIRA, CLAITON SOMMARIVA DE. Substituição total do aço, usando bambu como armadura de combate a flexão em vigas de concreto. UNESC. Criciúma. 12p. 2013.

OLIVEIRA, THAISA FRANCIS CÉSAR SAMPAIO DE. Sustentabilidade e arquitetura: Uma reflexão sobre o uso do bambu na construção civil. 2006. 136 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Arquitetura, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2006.

PINHEIRO, LIBÂNIO MIRANDA; GIONGO, JOSÉ SAMUEL. Concreto Armado Propriedades dos Materiais. 1986. Disponível em:



[http://repositorio.eesc.usp.br/bitstream/handle/RIEESC/6198/Pinheiro\\_Libanio\\_Concretoarmado.pdf?sequence=1](http://repositorio.eesc.usp.br/bitstream/handle/RIEESC/6198/Pinheiro_Libanio_Concretoarmado.pdf?sequence=1).

PIRES, JANAÍNA CARLOS; PEDROSA, JOYCE VIEIRA. Estudo do Concreto Reforçado utilizando taliscas de bambu como substituto do aço. TCC, Curso de Engenharia Civil, UniEvangélica, Anápolis, GO, 65p. 2019.

RODRIGUES, G. S. S. (2010). Contribuição ao Estudo da Retração e da Fluência e seus Mecanismos de Atuação a Baixas Idades em Concretos Estruturais. Tese de Doutorado em Estruturas e Construção Civil, Publicação: E.TD – 005 A/10, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 222p.

SANTI, THAIS. Bambu para toda obra. São Paulo: ABTCP – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA TÉCNICA DE CELULOSE E PAPEL, abr. 2015. Mensal.

SOUZA, ANDRESSA MARTINELLI DE. OS DIVERSOS USOS DO BAMBUNO NA CONSTRUÇÃO CIVIL. 2014. 102 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2014.

SOUZA, LUCIMEIRE BRENZAN ZAMPAR DE; VESPA, TALITA DOMINGUES; ARAÚJO, MAURO JOSÉ DE SOUZA. Lajes com armadura de bambu: um estudo comparativo com as lajes convencionais de aço. 2009.

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.