

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA**

**Caracterização físico-mecânica de colmos de bambu na preferência e colonização pela broca-de-bambu (*Dinoderus minutus* F.; *Coleoptera*: Bostrichidae)**

Pedro Rodrigues Junior  
*Magister Scientiae*

**VIÇOSA - MINAS GERAIS  
2025**

**PEDRO RODRIGUES JUNIOR**

**Caracterização físico-mecânica de colmos de bambu na preferência e colonização pela broca-de-bambu (*Dinoderus minutus* F.; *Coleoptera*: Bostrichidae)**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Entomologia, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Orientador: Raul N. Carvalho Guedes

Coorientador: Vinicius Resende de Castro

**VIÇOSA - MINAS GERAIS  
2025**

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade  
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

R696c  
2025  
Rodrigues Júnior, Pedro, 1998-  
Caracterização físico-mecânica de colmos de bambu  
(Poaceae: Bambusoideae) na preferência e colonização pela  
broca-de-bambu (*Dinoderus minutus* F.; Coleoptera:  
Bostrichidae) / Pedro Rodrigues Júnior. – Viçosa, MG, 2025.  
1 dissertação eletrônica (63 f.): il. (algumas color.).

Inclui apêndices.

Orientador: Raul Narciso Carvalho Guedes.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa,  
Departamento de Entomologia, 2025.

Referências bibliográficas: f. 59-61.

DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2025.241>

Modo de acesso: World Wide Web.

1. Bambu - Resistência à doenças e pragas. 2. Insetos como  
transmissores de doenças das plantas. 3. Broca (Inseto).  
I. Guedes, Raul Narciso Carvalho, 1967-. II. Universidade  
Federal de Viçosa. Departamento de Entomologia. Programa de  
Pós-Graduação em Entomologia. III. Título.

CDD 22. ed. 633.58

**PEDRO RODRIGUES JUNIOR**

**Caracterização físico-mecânica de colmos de bambu na preferência e colonização pela broca-de-bambu (*Dinoderus minutus* F.; *Coleoptera*: Bostrichidae)**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Entomologia, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 24 de fevereiro de 2025.

Assentimento:

---

Pedro Rodrigues Junior  
Autor

---

Raul Narciso Carvalho Guedes  
Orientador

Essa dissertação foi assinada digitalmente pelo autor em 07/05/2025 às 18:38:18 e pelo orientador em 07/05/2025 às 20:15:29. As assinaturas têm validade legal, conforme o disposto na Medida Provisória 2.200-2/2001 e na Resolução nº 37/2012 do CONARQ. Para conferir a autenticidade, acesse <https://siadoc.ufv.br/validar-documento>. No campo 'Código de registro', informe o código **RS4Q.QAK7.PDAC** e clique no botão 'Validar documento'.

***Dedico este trabalho***

*Aos biólogos recém-formados que se aventurarem (ou forem empurrados) para fora da zona de conforto: o mundo é surpreendentemente divertido quando você se coloca à prova.*

## AGRADECIMENTOS

Aos meus orientadores, Dr. Raul Guedes e Dr. Vinícius Castro, obrigado por se fazerem presentes durante todo o trabalho, mesmo que de longe. Expresso minha gratidão por todas as contribuições para a realização deste estudo, o qual me orgulho profundamente. Obrigado pelo direcionamento teórico e prático em todos os processos que culminaram até aqui.

À banca, em especial ao professor Dr. Carlos Flechtmann, que para além do aceite em contribuir para melhorar este estudo, participou da identificação dos insetos, essencial para o início de toda a pesquisa. É uma honra ser agraciado com sua expertise.

Aos meus pais, que me apoiaram durante toda a minha jornada até aqui, desde minha decisão ao me tornar biólogo até o findar desta etapa tão importante. O carinho deles está na metodologia do estudo. As mãos de meu pai estão no preparo dos corpos de prova, enquanto a linha e a agulha de minha mãe fecham a costura das bolsas de armazenamento. Amo vocês.

Ao meu companheiro Igor, que esteve ao meu lado, vibrando, torcendo, surtando e se compadecendo em cada processo. Obrigado por ouvir meus delírios de êxtase quando algo fluía e principalmente meus lamentos quando as coisas não iam bem. O seu abraço me deu forças para continuar. É sempre bom saber que alguém no mundo ama, confia e torce por você. Agradeço muito por ter conquistado isso.

Aos meus amigos, que sempre acreditaram que eu seria capaz, especialmente ao meu amado Coven e as moradoras da digníssima República Grandes Gostasas. Dedessa, Juju, Dorinha, Thaís, Adrielly e nosso pequeno grande gostosinho Benjamin. Vocês são minha família de Viçosa e foram importantes para a conclusão de mais uma etapa importante da minha vida. Vocês estarão sempre em meu coração.

À equipe do Laboratório de Ecotoxicologia e Ecofisiologia de Insetos, o ECOTOX. Obrigado por terem tornado essa experiência única. Em destaque: Dra. Karina Amaral e Diego Souza, que, com seus conhecimentos e boa vontade em ensinar, contribuíram para elevar esse trabalho a um patamar antes inimaginável. Espero que mantenham sempre essa chama de cientista dentro de seus corações, pois assim como

ela me ajuda agora, será essencial para outros trilharem seus caminhos futuramente. Obrigado por expandirem meus horizontes.

Aos meus estagiários, Wellison, Tamara, Esther, Raquel e Maria Clara, que compõem minha equipe de pesquisa. Tudo o que foi feito aqui, só foi possível com o auxílio de vocês. Confio no potencial de cada um e torço para que realizem todos os seus objetivos acadêmicos, assim como me ajudaram a realizar o meu. Independentemente do caminho que decidirem trilhar, a história do “Clube das Broquinhas” já foi escrita! Contem sempre comigo.

À equipe do Viveiro de Pesquisas Florestais, em especial ao professor Dr. Glêison dos Santos e às alunas Ricarla e Nathália, que coordenaram o corte dos bambus. Sua gentileza possibilitou a realização deste estudo.

À equipe do Laboratório de Propriedades da Madeira e do Laboratório de Painéis e Energia da Madeira, em especial à professora Dra. Ana Márcia, aos alunos William Colatino e William Moreira e aos técnicos Leila, Wellington, Jamille e Rodrigo. Obrigado por serem sempre tão dispostos, solícitos e acolhedores.

À equipe da Serraria e Marcenaria da UFV, em especial ao Paulinho, o mestre da confecção dos corpos de prova. Todas as ideias mais excêntricas que tive (incluindo realizar cortes com precisão de 5 centímetros em motosserra) ele topou e com isso se tornou um grande amigo. Este estudo não seria possível sem a sua experiência e dedicação com seu trabalho. De coração, muito obrigado.

À equipe do Laboratório de Ensaios Mecânicos, em especial ao professor Dr. Gustavo Veríssimo e aos alunos João, Camilla, Paloma, Caio e Pedro. O esforço de cada um para criar todas as adaptações mirabolantes necessárias para a realização dos ensaios mecânicos vai ficar guardado em minha memória. Obrigado por me ensinarem um mundo de coisas sobre fórmulas matemáticas e os poderes do concreto. Sucesso!

À equipe do Laboratório de Análises Bioquímicas, em especial à professora Dra. Gabriela Alfenas e a pesquisadora Rafaela Ladeira, com quem aprendi muito sobre a composição química das plantas. Que esse seja só o começo de algo ainda maior.

Aos professores, colegas e colaboradores do Programa de Pós-Graduação em Entomologia da UFV, que abriram seus laboratórios e me permitiram

realizar diferentes etapas deste estudo. Agradeço especialmente ao professor Dr. José Lino, aos alunos Deyvisson, Witallo, Ana e toda a equipe do Laboratório de Ultraestrutura Celular. Obrigado por ajudarem minha equipe de pesquisa a se aventurar no estudo da biologia reprodutiva de Bostrichidae. Professor Dr. Frederico Salles, Verônica Fialho, Ana Dária, Pedro Bonfá, Mellis, Millena, Igor, Erika e demais integrantes do Museu de Entomologia, obrigado pelas fotos, pelo auxílio na lupa e por todas as conversas informais e entomológicas que tivemos. É sempre bom retornar onde iniciei minha carreira na ciência. Diana Mendonça e Nívea Pacheco, obrigado por serem grandes facilitadoras de processos aqui dentro. Que vocês nunca percam esse ímpeto de ajudar. Agradeço pelo carinho de mãe. obrigado por Júlio Chaul, obrigado por ser um cientista tão excepcional. Definitivamente é alguém que admiro e quero próximo. Aprendi e aprendo muito ao seu lado. A ciência não se faz sozinha, caminhando juntos somos mais fortes. Essa é essa a máxima que eu prezo. Espero que no futuro, outros como eu despontem no programa e assumam postos de liderança para alavancar ainda mais nosso potencial, tornando-o unido e justo.

Este trabalho foi realizado com o apoio das seguintes agências de pesquisa brasileiras: Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) e Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

"Fairy tales always have a happy ending...  
if you're not happy...Then it's not the ending."

**Lana Del Rey**

## RESUMO

JUNIOR, Pedro Rodrigues, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2025. **Caracterização físico-mecânica de colmos de bambu na preferência e colonização pela broca-de-bambu (*Dinoderus minutus* F.; *Coleoptera: Bostrichidae*)**. Orientador: Raul Narciso Carvalho Guedes. Coorientador: Vinicius Resende de Castro.

A microestrutura anatômica dos bambus (Poaceae: Bambusoideae) Lueres reflete sua resistência física e mecânica, podendo influenciar sua susceptibilidade ou resistência ao ataque de insetos-praga. A broca-de-bambu, *Dinoderus minutus* Fabricius, 1775 (Coleoptera: Bostrichidae) é a maior praga pós-colheita de bambu, comprometendo sua utilização em escala global. Neste estudo, testamos a hipótese de que haveria uma correlação entre a preferência e colonização da broca-de-bambu e as características físicas e mecânicas do substrato. Assim, avaliamos a preferência e colonização da broca-de-bambu em relação à caracterização físico-mecânica de *Bambusa tuldoides* Munro, *Bambusa vulgaris* Schrad, *Dendrocalamus asper* (Schult. & Schult.f.) Baker e *Dendrocalamus strictus* (Roxb.) Nees. Para isso, bioensaios com e sem chance de escolha foram conduzidos para quantificar a preferência dos insetos e o número de orifícios, galerias e larvas durante a colonização. *Dendrocalamus asper* foi a espécie preferida, mas *Bambusa vulgaris* mostrou-se mais adequada à colonização, sendo o único substrato com ovos, no qual os insetos se desenvolveram até o estágio de pupa. A menor atividade da broca-de-bambu foi observada em espécies de bambu com menor teor de umidade, maior resistência à compressão e maiores módulos de ruptura e da elasticidade, parâmetros essenciais para a resistência à infestação. Esses resultados são aplicáveis na seleção de bambus mais resistentes para uso comercial, além de serem relevantes para o melhoramento genético da planta frente ao ataque da broca-de-bambu.

Palavras-chave: Xilófago; Broqueador; Compressão; Resistência estrutural

## ABSTRACT

JUNIOR, Pedro Rodrigues, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2025. **Physico-mechanical characterization of bamboo culms in the preference and colonization by the bamboo powderpost beetle (*Dinoderus minutus* F.; *Coleoptera: Bostrichidae*)**. Adviser: Raul Narciso Carvalho Guedes. Co-adviser: Vinicius Resende de Castro.

The anatomical microstructure of bamboos (Poaceae: Bambusoideae) Luer's reflects their physical and mechanical strength, which may influence their susceptibility or resistance to insect pests. The bamboo powderpost beetle, *Dinoderus minutus* Fabricius, 1775 (Coleoptera: Bostrichidae), is the most significant post-harvest pest of bamboo, posing a major challenge to its global utilization. In this study, we tested the hypothesis that there is a correlation between the bamboo beetle's preference and colonization behavior and the physical and mechanical properties of the bamboo substrate. To that end, we assessed the bamboo beetle's preference and colonization in relation to the physico-mechanical characterization of *Bambusa tuldoidea* Munro, *Bambusa vulgaris* Schrad, *Dendrocalamus asper* (Sult. & Sult.f.) Baker, and *Dendrocalamus strictus* (Roxb.) Nees. Choice and no-choice bioassays were conducted to quantify insect preference, as well as the number of entry holes, galleries, and larvae during colonization. *Dendrocalamus asper* was the initially preferred species, but *Bambusa vulgaris* proved to be more suitable for colonization, being the only substrate with eggs and insect development up to the pupal stage. The lowest activity of the bamboo powderpost beetle was observed in species with lower moisture content, higher compression resistance, and greater modulus of rupture and elasticity, which are essential properties to withstand the infestation. These results are applicable in the selection of more resistant bamboo genotypes for commercial use, as well as being relevant for the genetic improvement of the plant against attack by the bamboo powderpost beetle.

Keywords: Xylophagous ; Wood-boring ; Compression; Structural resistance

# SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b>	<b>12</b>
2. OBJETIVOS	16
2.1 Objetivo geral	16
2.2. Objetivos específicos	16
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS</b>	<b>17</b>
3.1. Corte, armazenamento e secagem dos bambus	17
3.2. Caracterização físico-mecânica dos bambus	19
3.2.1. Propriedades físicas	19
3.2.1.1. Densidade aparente	20
3.2.1.2. Teor de umidade (base seca)	20
3.3. Propriedades mecânicas	21
3.3.1. Resistência à compressão paralela às fibras	21
3.3.2. Resistência ao cisalhamento paralelo às fibras	23
3.3.3. Resistência à tração paralela às fibras	25
3.3.4. Módulos de ruptura (MOR) e da elasticidade (MOE) na flexão estática do colmo	27
3.4. Obtenção, identificação e criação dos insetos	29
3.5. Bioensaios	30
3.5.1. Bioensaios com chance de escolha	31
3.5.1.1. Bioensaio de preferência 1	31
3.5.1.2. Bioensaio de preferência 2	32
3.5.2. Bioensaio sem chance de escolha	34
3.5.2.1. Bioensaio de colonização	34
3.6. Análises estatísticas	35
<b>3. RESULTADOS</b>	<b>35</b>
3.1. Caracterização físico-mecânica dos bambus	35
3.1.1. Propriedades físicas	36
3.1.1.1. Densidade aparente	36
3.1.1.2. Teor de umidade (base seca)	37
3.1.2. Propriedades mecânicas	38
3.1.2.1. Resistência à compressão paralela às fibras	38
3.1.2.2. Resistência ao cisalhamento paralelo às fibras	39
3.1.2.3. Resistência à tração paralela às fibras	40
3.1.2.4. Módulos de ruptura (MOR) e da elasticidade (MOE) na flexão estática do colmo	41
3.2. Bioensaios	43
3.2.1. Bioensaios com chance de escolha	43
3.2.1.1. Bioensaio de preferência 1	43
3.2.1.2. Bioensaio de preferência 2	45

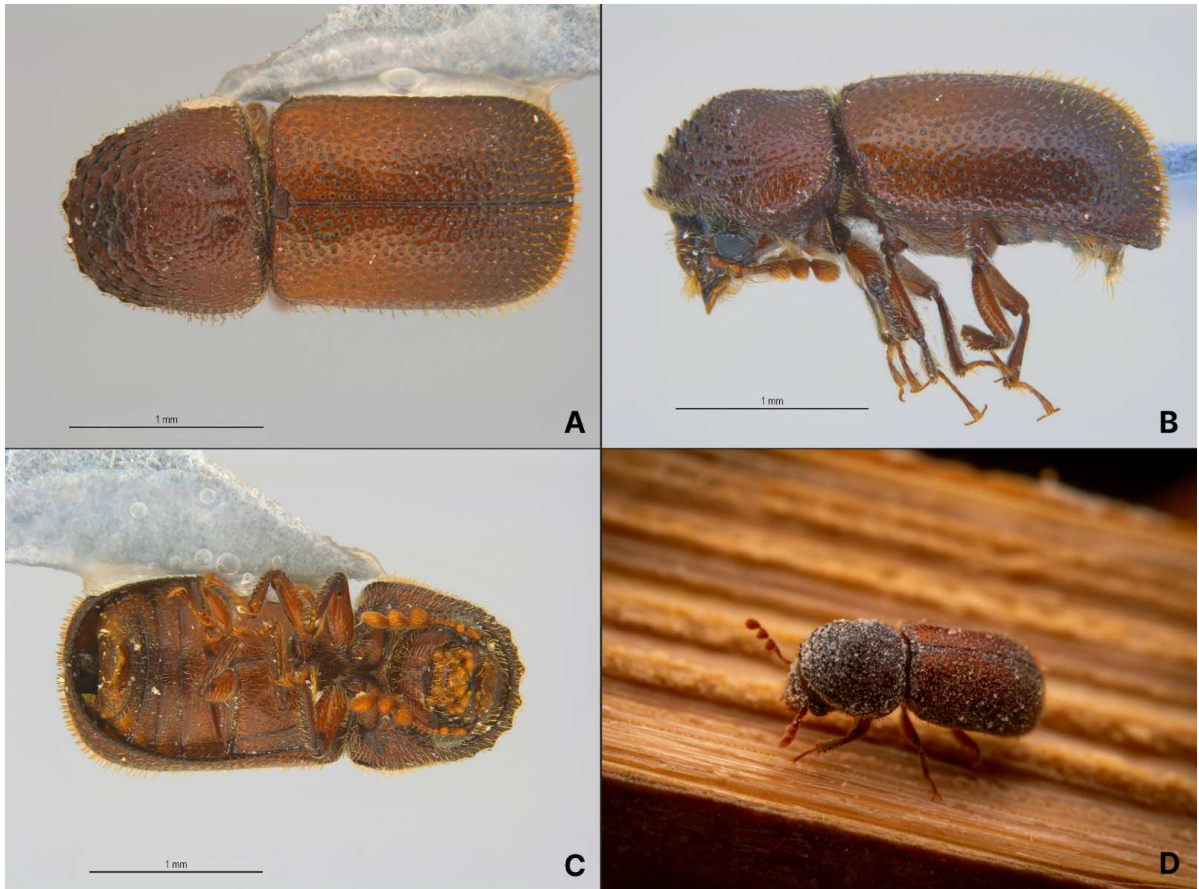
3.2.2. Bioensaio sem chance de escolha	47
3.2.2.1 Bioensaio de colonização	47
3.3. Correlação Canônica	50
<b>4. DISCUSSÃO</b>	<b>51</b>
<b>5. MATERIAL COMPLEMENTAR</b>	<b>56</b>
<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>59</b>
<b>APÊNDICE</b>	<b>62</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O estudo do comportamento dos insetos xilófagos enfrenta desafios inerentes à natureza críptica desses organismos, o que frequentemente impede a observação direta de seu desenvolvimento. As limitações no rastreamento e monitoramento de indivíduos em tempo real comprometem os esforços de pesquisa, gerando uma lacuna no conhecimento sobre sua atividade biológica (SAINT-GERMAIN, 2007). Esses obstáculos contribuem para a subestimação da importância ecológica da entomofauna xilófaga, especialmente no processo de decomposição da madeira, no qual desempenham papel fundamental (ULYSHEN, 2018).

Dentro da entomofauna xilófaga, a família Bostrichidae abriga cerca de 650 espécies, muitas das quais alimentam-se de diferentes tipos de madeira (EDDE et al., 2012). Este grupo taxonômico apresenta maior diversidade biológica em regiões tropicais (LEGALOV & HÁVA, 2022) e, em decorrência de seu hábito broqueador, os bostriquídeos são conhecidos como “*powderpost beetles*” (LIU et al., 2008).

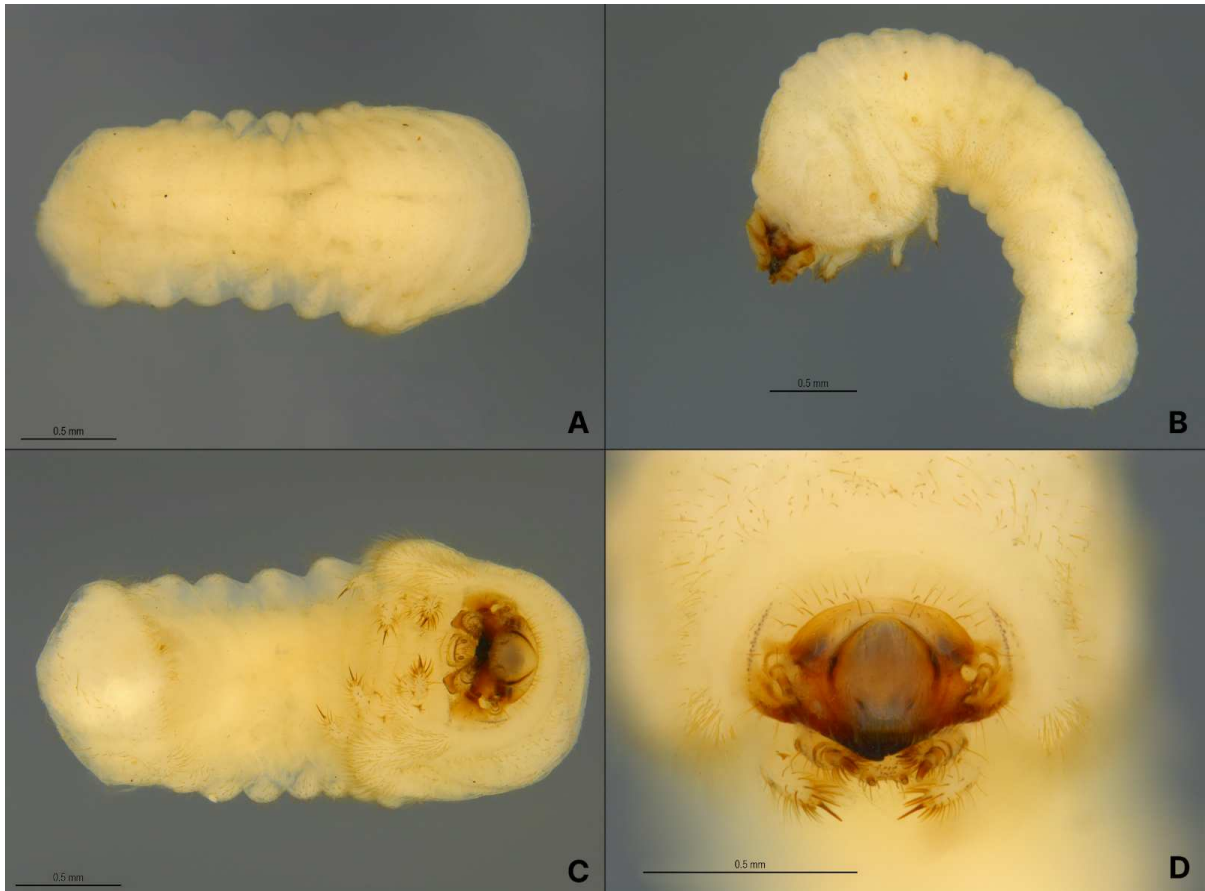
Conhecida comumente como “*bamboo powderpost beetle*”, a broca-de-bambu, *Dinoderus minutus* Fabricius, 1775 (Figura 1) é um bostriquídeo de importância econômica mundial que ataca colmos cortados e produtos secos e armazenados de bambu (FISHER, 1950; EDDE et al., 2012). Nativa do sul da Ásia, é uma colebroca multivoltina, com ciclo de vida que dura entre 40 e 60 dias desde a eclosão dos ovos até a emergência dos adultos (ABOOD et al., 2010; GONÇALVES et al., 2021). Embora represente a maior praga pós-colheita de bambu mundialmente, a atividade do inseto já foi registrada em outros substratos vegetais, como cana-de-açúcar, arroz, mandioca, trigo sarraceno e madeira de pinus (FISHER, 1950; WANG et al., 1998; WATANABE et al., 2015). No Brasil, a presença da broca-de-bambu já foi reportada em plantações de eucalipto no estado do Mato Grosso (MONTEIRO et al., 2016).



**Figura 1** - Adulto da broca-de-bambu (*Dinoderus minutus*) em vista dorsal (A), lateral (B), ventral (C) e hábito (D).

Fonte: Wellison Domiciano de Almeida Araujo (A, B e C) e Frederico Falcão Salles (D).

As larvas (Figura 2) e adultos da broca-de-bambu podem ser detectados a partir da presença de um pó característico, que é ejetado dos orifícios feitos pelo inseto nos colmos de bambu durante a infestação (ABOOD et al., 2010; NORHISHAM et al., 2015; WATANABE et al., 2020). Os adultos utilizam cortes e aberturas previamente realizados no bambu para dar início à sua colonização (GARCIA & MORREL, 2009). Após o corte, compostos orgânicos voláteis liberados pelo bambu são responsáveis pela atração do inseto até a planta hospedeira, podendo ainda mediar o encontro e a relação macho-fêmea (RAINHO et al., 2022).



**Figura 2** - Larva da broca-de-bambu (*Dinoderus minutus*) em vista dorsal (A), lateral (B), ventral (C) e cabeça (D).

Fonte: Wellison Domiciano de Almeida Araujo.

Bambus (Poaceae: Bambusoideae) Lueres são plantas monocotiledôneas perenes e de rápido crescimento, assumindo desde formas herbáceas não lignificadas com apenas alguns centímetros de altura até variedades lenhosas que ultrapassam 30 m de altura e 20 cm de diâmetro (MIRANDA et al., 2017; RUSCH et al., 2018). Este grupo de plantas ocorre em quase todos os continentes do globo, apresentando 1.482 espécies, distribuídas em 119 gêneros, divididos em três tribos: Arundinarieae, Bambuseae e Olyreae (RUSCH et al., 2018). A Mata Atlântica brasileira representa um dos principais centros de diversidade de Bambusoideae nas Américas (GRECO et al., 2015). Dentre os bambus nativos da Ásia e introduzidos no Brasil, destacam-se as espécies dos gêneros *Bambusa* e *Dendrocalamus* (PEREIRA, 2012), amplamente utilizados na alimentação, construção civil, indústria moveleira, produção de papel e outros produtos artesanais e industriais (BELTRAME et al., 2023), possuindo importância na esfera socioeconômica global (YEASMIN et al., 2014; RUSCH et al., 2018).

*Bambusa tuldoides* Munro é conhecido por sua versatilidade e resistência. Seus

colmos finos e flexíveis são muito valorizados na ornamentação, no artesanato e na fabricação de espetos, varetas e cercados (OLIVEIRA et al., 2012; PROJETO BAMBU, 2025). *Bambusa vulgaris* Schrad é leve e durável, usado na construção de casas e pontes, na fabricação de móveis, papel cartão, produção de remédios e recuperação de áreas degradadas (SILVEIRA et al., 2015; AKHTAR & PATOWARY, 2022; PROJETO BAMBU, 2025). *Dendrocalamus asper* (Schult. & Schult.f.) Baker possui alto valor comercial, sendo apreciado na fabricação de instrumentos musicais, construção civil e rural e no sistema agroflorestal. Seus brotos comestíveis são valorizados na culinária (MUSTAFA et al, 2013; CHAOWANA et al., 2021; PROJETO BAMBU, 2025). *Dendrocalamus strictus* (Roxb.) Nees tem colmos maciços e flexíveis, sendo um ótimo material de construção, além de muito utilizado na indústria de papel, polpa e celulose e na medicina popular (GOYAL et al., 2011; PROJETO BAMBU, 2025).

O amplo espectro de utilização dos bambus esbarra na baixa durabilidade natural da maioria das espécies. O manejo inadequado dos colmos, desde o corte até seu destino final, permite o ataque por coleobrocas (SILVA et al., 2011). O ataque da broca-de-bambu pode reduzir bambus armazenados, seja como colmo ou produtos finalizados, a pó em larga escala, ano após ano (WANG et al., 1998) (Figura 3).



**Figura 3** - Adulto e larva da broca-de-bambu em meio ao pó resultante da infestação.

Fonte: Autor.

O teor de amido, a idade do colmo, a época de corte, o clima e características geológicas da região de crescimento da planta são fatores frequentemente relacionados à susceptibilidade de diferentes espécies de bambu ao ataque da broca-de-bambu (WANG et al., 1998; NORHISHAM et al., 2015). Entretanto, a atividade da colebroca ainda não foi analisada sob a perspectiva das propriedades físicas e mecânicas em bambus. A disposição e organização dos feixes de fibras variam entre as espécies de bambu, conferindo-lhes diferentes níveis de resistência mecânica e estrutural (LIESE & TANG, 2015; RUSCH et al., 2018). Nossa hipótese é que as diferenças entre os parâmetros físicos e mecânicos das espécies de bambu podem afetar a preferência e o comportamento de colonização do inseto e que essas características influenciam na susceptibilidade das espécies de bambu ao ataque da broca-de-bambu.

Neste estudo, buscamos relacionar os fatores determinantes para a infestação por *Dinoderus minutus* por meio da caracterização físico-mecânica de quatro espécies diferentes de bambus: *Bambusa tuldoides*, *Bambusa vulgaris*, *Dendrocalamus asper* e *Dendrocalamus strictus*. A preferência e colonização da colebroca foram avaliadas por meio do monitoramento do seu desenvolvimento desde a escolha inicial do substrato até a reprodução. Esperamos que a broca-de-bambu demonstre preferência por uma dessas espécies e que essa escolha esteja ligada à características físicas e/ou mecânicas da planta. Assim, será possível estabelecer padrões de susceptibilidade entre as quatro espécies de bambu avaliadas, levantando informações aplicáveis na previsão da incidência de infestação pela broca-de-bambu em diferentes contextos.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

Identificar e relacionar fatores determinantes para a infestação por broca-de-bambu aos parâmetros físicos e mecânicos de *Bambusa tuldoides*, *Bambusa vulgaris*, *Dendrocalamus asper* e *Dendrocalamus strictus*.

### **2.2. Objetivos específicos**

1. Realizar a caracterização físico-mecânica de espécimes de *B. tuldoides*, *B. vulgaris*, *D. asper* e *D. strictus* não atacadas por broca-de-bambu.
2. Avaliar a preferência e colonização da broca-de-bambu, verificando o consumo dos insetos e realizando o mapeamento da evolução das galerias.
3. Identificar uma possível correlação entre a resistência física e mecânica das fibras das espécies de bambu e a preferência e colonização da broca-de-bambu.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. Corte, armazenamento e secagem dos bambus

Colmos de *B. tuldoides*, *B. vulgaris*, *D. asper* e *D. strictus* com cerca de 2 m de altura foram cortados na Universidade Federal de Viçosa (UFV), no município de Viçosa, Minas Gerais, Brasil, pela equipe do Viveiro de Pesquisas Florestais da UFV, em dezembro de 2023. Os equipamentos utilizados para o corte dos bambus foram a motosserra e o machado. Após o corte, uma parte dos colmos foi transportada para o Departamento de Entomologia (DDE) da UFV e a outra para o Laboratório de Propriedades da Madeira (LPM) da UFV.

Os colmos de bambus transportados ao DDE foram destinados aos ensaios físicos e mecânicos. Durante o processo de secagem dos bambus recém-cortados, foi realizada a verificação mensal do teor de umidade até atingir o valor ideal, entre 16 e 20%. Além disso, os colmos deveriam manter-se livres da atividade de agentes deterioradores até a realização dos ensaios físicos e mecânicos. Para isso, o material foi armazenado em bolsas de voil branco ou preto, 100% poliéster (gramatura de 140 g/m<sup>2</sup>, evitando o acesso de qualquer invertebrado ao bambu e permitindo que houvesse a perda de água do bambu para o ambiente. As dimensões de cada bolsa variavam de acordo com o tamanho e quantidade de colmos em seu interior, tendo cerca de 3 m de comprimento, 1,5 m de largura e 80 cm de altura e formato retangular. Para facilitar o acesso ao material em seu interior, as bolsas possuíam zíper como mecanismo de abertura e fechamento. Quatro bolsas de armazenamento contendo colmos de cada espécie foram dispostas verticalmente em uma sala climatizada situada no DDE, sob temperaturas entre 16 e 20 °C e umidade relativa do ar (UR) de aproximadamente 20% (Figura 4).



**Figura 4** - Bolsas de armazenamento em sala climatizada.

Fonte: Autor.

A cada 20 dias, foram retirados fragmentos de 5 cm de largura, 5 cm de comprimento e espessura igual à da parede dos colmos das quatro espécies de bambu utilizando uma lâmina de serra manual bimetálica de 24 dentes fixada a arco de serra de 12". Os fragmentos foram utilizados para monitorar o teor de umidade dos colmos de cada espécie, determinado pela média da diferença entre a massa úmida e a massa seca, com precisão de 0,01 g. A massa seca foi obtida após secagem dos fragmentos de bambu em estufa a 103 °C por 24 horas. O teor de umidade ideal para todas as espécies de bambu foi alcançado entre quatro e seis meses após o corte dos colmos.

Os colmos de bambus transportados ao LPM destinavam-se à colonização natural por broca-de-bambu. Era esperado que os colmos recém cortados atraíssem os insetos, iniciando o processo de colonização e infestação do material. Para isso, os colmos foram identificados e dispostos sobre cavaletes de madeira em área aberta, protegidos de chuva e radiação solar direta (Figura 5). A presença dos insetos foi detectada cerca de 40 dias após a chegada dos bambus ao LPM, em janeiro de 2024. Após a detecção da presença dos insetos, amostras dos colmos infestados foram levadas ao DDE para o estabelecimento de colônia e criação dos insetos.



**Figura 5** - Colmos de bambu sobre cavaletes de madeira para colonização natural da broca-de-bambu.

Fonte: Autor.

### **3.2. Caracterização físico-mecânica dos bambus**

Após os bambus atingirem teor de umidade entre 16 e 20%, foram confeccionados corpos de prova para cada espécie de bambu seguindo, respectivamente, a NBR-ABNT 11941 (2003) - “Determinação da densidade básica” e a NBR-ABNT 16282-2 (2020) - “Estruturas de bambu. Parte 2: Determinação das propriedades físicas e mecânicas do bambu”. Adaptações, quando necessárias, foram realizadas a partir da NBR-ABNT 7190-1 (2022) - “Projeto de estruturas de madeira. Parte 1: Critérios de dimensionamento”.

#### **3.2.1. Propriedades físicas**

Foram confeccionados corpos de prova para os ensaios de densidade aparente e teor de

umidade (base seca) de acordo com a ABNT NBR 11941 (2003). Os corpos de prova foram confeccionados com uma lâmina de serra manual bimetal de 24 dentes fixada a arco de serra de 12". Os ensaios físicos foram realizados no Laboratório de Propriedades da Madeira (LPM) e no Insetário da UFV.

### 3.2.1.1. Densidade aparente

Quatro corpos de prova, extraídos paralelamente às fibras, foram confeccionados para cada espécie de bambu. Os corpos de prova eram quadrangulares e possuíam 2 cm de largura, 2 cm de comprimento e espessura igual à da parede do colmo. As peças foram armazenadas em sacos plásticos estéreis e aclimatadas em condições que asseguraram que o teor de umidade permanecesse inalterado até o momento oportuno para a realização do ensaio. Todos os corpos de prova foram pesados em balança analítica com precisão de 0,01 g e, em seguida, tiveram seu volume calculado por imersão em água. A densidade aparente de cada corpo de prova foi calculada como a razão entre a massa do corpo de prova e o volume de água deslocado por ele de acordo com a seguinte equação:

$$\rho = \frac{m}{v}$$

onde

$\rho$  (g/cm<sup>3</sup>) é a densidade aparente do corpo de prova;

$m$  (g) é a massa do corpo de prova;

$v$  (cm<sup>3</sup>) é o volume de água deslocado pelo corpo de prova após imersão.

A média aritmética dos resultados para os quatro corpos de prova de cada espécie foi considerada como o valor do teor de umidade representativo para a espécie.

### 3.2.1.2. Teor de umidade (base seca)

Quatro corpos de prova, extraídos paralelamente às fibras, foram confeccionados para cada espécie de bambu. Os corpos de prova eram retangulares, com cerca de 2,5 cm de largura, 5 cm de comprimento e espessura igual à da parede do colmo. As peças foram

armazenadas em sacos plásticos estéreis e aclimatadas em condições que asseguraram que o teor de umidade permanecesse inalterado até o momento oportuno para a realização do ensaio. Todos os corpos de prova foram então pesados em balança analítica com precisão de 0,01 g e, em seguida, secos em estufa a uma temperatura de 103 °C por 24 horas. Imediatamente após a secagem, os corpos de prova foram pesados novamente. O teor de umidade de cada corpo de prova foi calculado como a perda de massa, expressa em percentagem da massa seca em estufa, de acordo com a seguinte equação:

$$U = \left[ \left( \frac{m - m_0}{m_0} \right) \right] \times 100$$

onde

$U$  (%) é o teor de umidade na base seca do corpo de prova;

$m$  (g) é a massa do corpo de prova antes da secagem em estufa;

$m_0$  (g) é a massa do corpo de prova depois da secagem.

A média aritmética dos resultados para os três corpos de prova de cada espécie foi considerada como o valor do teor de umidade representativo para a espécie.

### 3.3. Propriedades mecânicas

Corpos de prova para os ensaios de resistência à compressão, cisalhamento e tração paralela às fibras e flexão estática do colmo foram confeccionados de acordo com as NBR-ABNT 16282-2 e 7190-1. Os corpos de prova foram confeccionados pela equipe do Laboratório de Serraria e Marcenaria da UFV em serra circular e serra de fita. Todos os ensaios mecânicos foram realizados na Máquina Universal de Ensaio (modelo DL-60000, EMIC/INSTRON, Brasil) do Laboratório de Ensaio Mecânicos (LEM) da UFV.

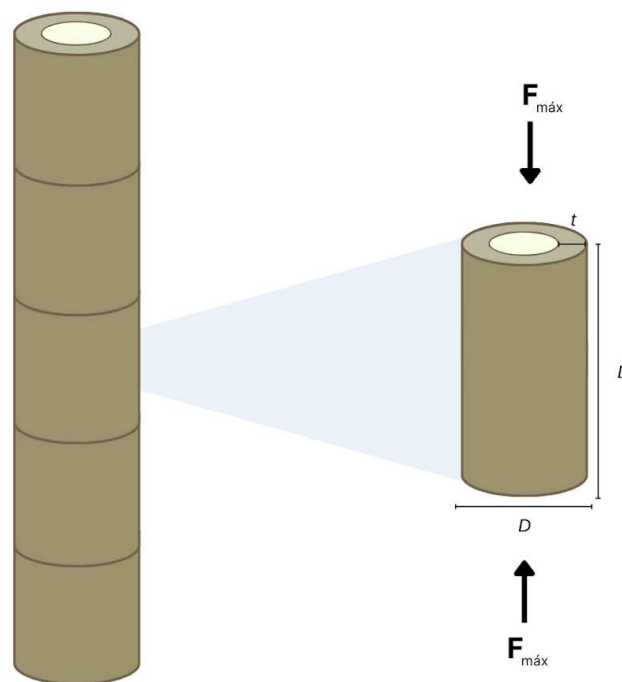
#### 3.3.1. Resistência à compressão paralela às fibras

O objetivo desse ensaio foi verificar a resistência do material a forças compressivas.

Cinco corpos de prova sem nó, extraídos paralelamente às fibras, foram confeccionados para cada espécie de bambu. O comprimento ( $L$ ) dos corpos de prova de  $B$ .

*vulgaris* e *D. asper* era igual ao diâmetro externo ( $D$ ). Em contrapartida, o comprimento dos corpos de prova de *B. tuldoides* e *D. strictus* era duas vezes o diâmetro externo. Essas diferenças nas dimensões dos corpos de prova para cada espécie de bambu é reflexo do tamanho atingido pelo espécime até a idade do corte. Para garantir um desvio máximo de 0,2 mm nos cortes das extremidades dos corpos de provas, eles foram lixados com lixa grão 120. Antes de serem ensaiados, os corpos de prova tiveram suas medidas de diâmetro, comprimento, espessura ( $t$ ) e área médias aferidas. Para quantificar a área dos corpos de prova de *Dendrocalamus strictus*, que geralmente são maciços, foram utilizadas as áreas das pequenas aberturas nas porções superiores e inferiores, quando existentes, dos corpos de prova. Essas áreas foram aferidas a partir da análise de fotografias no software de processamento de imagens *Image J* (<https://imagej.net/ij/>).

Neste ensaio, a força é aplicada paralelamente às fibras ou ao eixo longitudinal do corpo de prova (Figura 6).



**Figura 6** - Esquema ilustrativo do modo de aplicação da força no corpo de prova durante o ensaio de compressão paralela às fibras.

Fonte: Autor.

Os ensaios de resistência à compressão foram realizados em máquina de ensaios com duas placas rotuladas. Os corpos de prova foram centralizados na máquina de ensaios e acomodados com a aplicação de uma pequena carga de até 1kN. Durante os ensaios, o carregamento foi aplicado de forma contínua, com as placas móveis da máquina adquirindo

uma velocidade constante de 0,01 mm/s. Ao fim do ensaio de cada corpo de prova, a força máxima medida pela máquina de ensaios foi registrada.

A resistência à compressão paralela às fibras foi determinada pela seguinte equação:

$$\sigma_{com} = \frac{F_{m\acute{a}x}}{A}$$

onde

$\sigma_{com}$  (MPa) é a resistência à compressão paralela às fibras;

$F_{m\acute{a}x}$  (N) é a carga máxima indicada na máquina de ensaio;

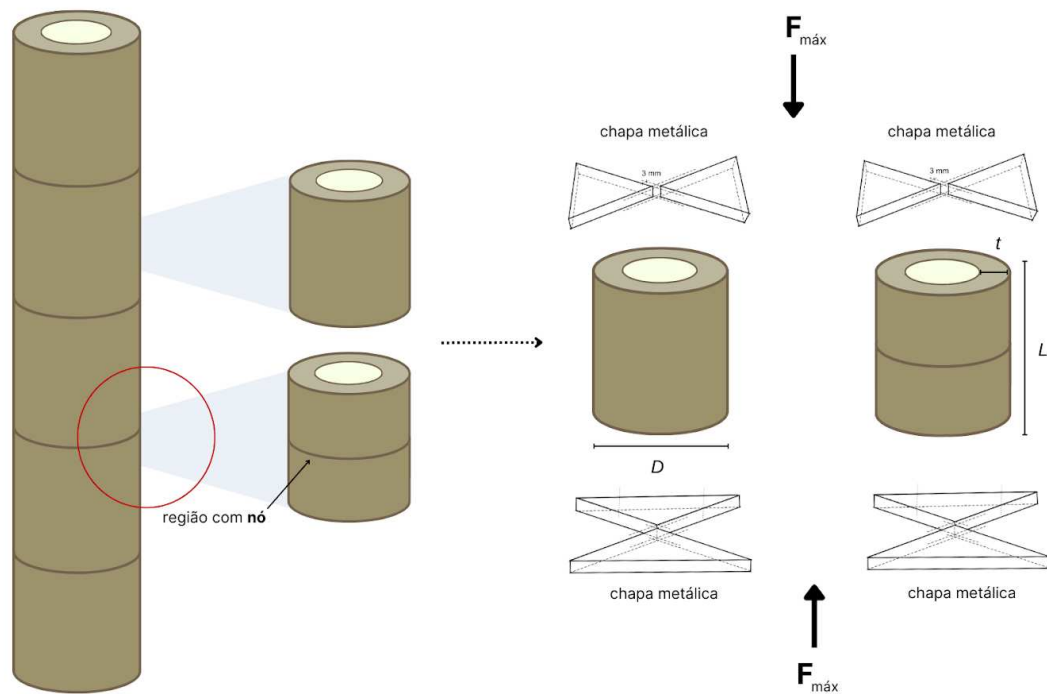
$A$  (mm<sup>2</sup>) é a área da seção transversal do corpo de prova.

### 3.3.2. Resistência ao cisalhamento paralelo às fibras

O objetivo desse ensaio foi verificar a resistência do material a forças que tendem a deslocar uma parte do material em relação à outra, ao longo de um plano específico.

Oito corpos de prova, quatro com nó e quatro sem nó, extraídos paralelamente às fibras, foram confeccionados para cada espécie de bambu. O comprimento ( $L$ ) dos corpos de prova das quatro espécies era igual aos seus respectivos diâmetros ( $D$ ). Para garantir que as superfícies superior e inferior dos corpos de prova fossem planas e perpendiculares aos seus eixos, os corpos de prova foram lixados com lixa grão 120.

Neste ensaio, a força é aplicada de forma tangencial à superfície do corpo de prova, ou seja, o ângulo de aplicação é de 0 graus em relação à superfície onde ocorre o cisalhamento (Figura 7).



**Figura 7** - Esquema ilustrativo do modo de aplicação da força no corpo de prova durante o ensaio de cisalhamento paralelo às fibras.

Fonte: Autor. Adaptado da NBR 16282-2 - “Estruturas de bambu. Parte 2: Determinação das propriedades físicas e mecânicas do bambu” (ABNT, 2020).

Os ensaios de resistência ao cisalhamento foram realizados na mesma máquina de ensaios utilizada para os ensaios de resistência à compressão, sem dispositivo de redução do atrito. Os corpos de prova foram apoiados na extremidade inferior da máquina em chapas metálicas rígidas com quatro áreas de cisalhamento, confeccionadas conforme a norma. Antes de serem ensaiados, os corpos de prova tiveram suas medidas de espessura ( $t$ ) e altura médias aferidas em todas as quatro áreas de cisalhamento.

Após serem centralizados na máquina de ensaios de modo que o centro do prato móvel da máquina assumisse posição vertical acima do centro da seção transversal da peça, os corpos de prova foram acomodados com a aplicação de uma pequena carga de até 1kN. Durante os ensaios, o carregamento foi aplicado de forma contínua, com as placas móveis da máquina adquirindo uma velocidade constante de 0,01 mm/s. Ao fim do ensaio de cada corpo de prova, a carga máxima medida pela máquina de ensaios foi registrada.

A resistência ao cisalhamento paralelo às fibras foi determinada pela seguinte equação:

$$\sigma_{cis} = \frac{F_{m\acute{a}x}}{\Sigma(t \times L)}$$

onde

$\sigma_{cis}$  (MPa) é a resistência ao cisalhamento paralelo às fibras;

$F_{m\acute{a}x}$  (N) é a carga máxima indicada na máquina de ensaio;

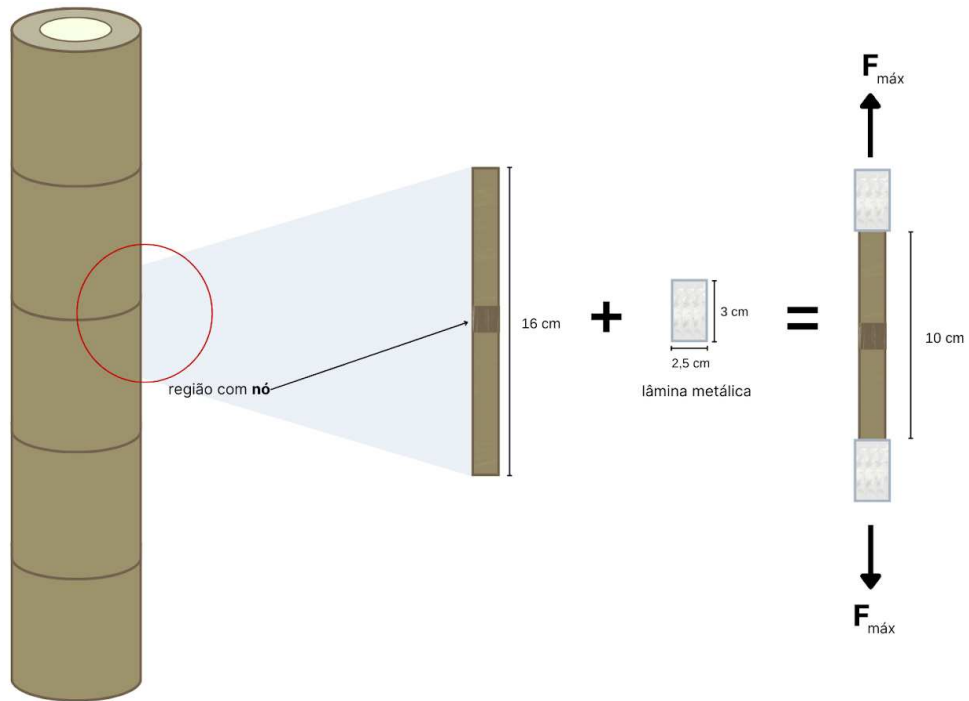
$\Sigma(t \times L)$  (mm<sup>2</sup>) é a soma das quatro áreas de cisalhamento.

### 3.3.3. Resistência à tração paralela às fibras

O objetivo desse ensaio foi verificar a resistência do material à deformação quando submetido a forças de tração, que causam alongamento do material.

Quatro corpos de prova com nó na região central foram confeccionados para cada espécie de bambu. Os corpos de prova eram retangulares, extraídos paralelamente às fibras e possuíam 16 cm de comprimento e largura igual à espessura da parede do colmo. Lâminas de aço galvanizado foram coladas com cola epóxi nas extremidades dos corpos de prova para facilitar a aderência das garras da máquina de ensaios. As lâminas possuíam 3 cm de comprimento, aproximadamente 2,5 cm de largura e 0,3 cm de espessura. O comprimento das lâminas foi idealizado para que, quando aderidas ao corpo de prova, houvesse um vão livre de 10 cm para obter a falha por tração. As duas superfícies de cada lâmina foram raspadas em concreto para adquirir textura e melhorar a aderência à superfície lisa do bambu. Antes de serem ensaiados, os corpos de prova tiveram suas medidas de largura e espessura médias aferidas.

Neste ensaio, a força é aplicada de forma axial, ou seja, ao longo do eixo longitudinal do material. O ângulo de aplicação da força é de 0 graus em relação ao eixo do corpo de prova (Figura 8).



**Figura 8** - Esquema ilustrativo do modo de aplicação da força no corpo de prova durante o ensaio de tração paralela às fibras.

Fonte: Autor.

Os ensaios de resistência à tração foram realizados na porção com garras da máquina de ensaios, assegurando que a carga fosse aplicada ao longo do eixo longitudinal do corpo de prova. Os corpos de prova foram presos pelas garras da máquina paralelamente às fibras. Durante os ensaios, o carregamento foi aplicado de forma contínua a uma velocidade de deformação de 0,1 mm/s. Ao fim do ensaio de cada corpo de prova, a carga máxima medida pela máquina de ensaios foi registrada.

A resistência à tração paralela às fibras foi determinada pela seguinte equação:

$$\sigma_{tra} = \frac{F_{máx}}{A}$$

onde

$\sigma_{tra}$  (MPa) é a resistência à tração paralela às fibras;

$F_{máx}$  (N) é a carga máxima indicada na máquina de ensaio;

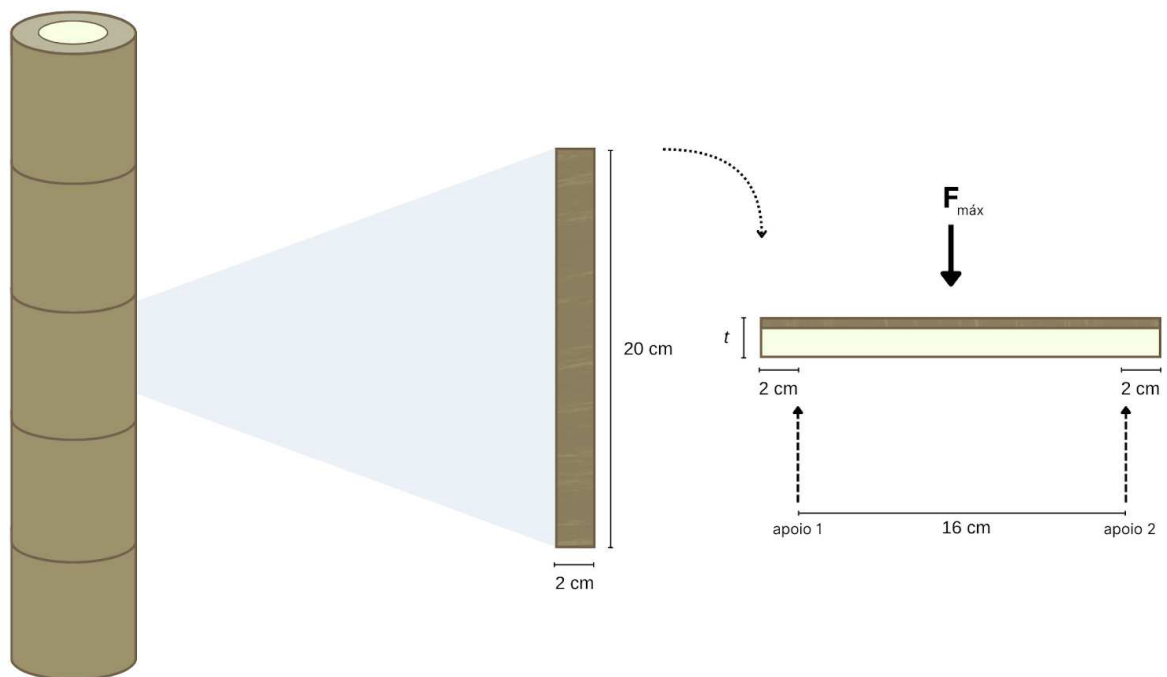
$A$  (mm<sup>2</sup>) é a área média da seção transversal do centro do corpo de prova.

### 3.3.4. Módulos de ruptura (MOR) e da elasticidade (MOE) na flexão estática do colmo

O objetivo foi avaliar a resistência do material à flexão quando uma carga era aplicada perpendicularmente ao comprimento do colmo.

Cinco corpos de prova sem nó foram confeccionados para cada espécie de bambu. Os corpos de prova das quatro espécies de bambus eram retangulares, extraídos paralelamente às fibras e possuíam 20 cm de comprimento, 2 cm de largura e espessura ( $t$ ) igual à da parede do colmo. Antes de serem ensaiados, os corpos de prova tiveram suas medidas de comprimento, largura e espessura médias aferidas.

Neste ensaio, a força é aplicada de maneira que o corpo de prova sofra uma curvatura no ponto médio (Figura 9).



**Figura 9** - Esquema ilustrativo do modo de aplicação da força no corpo de prova durante o ensaio de flexão do colmo.

Fonte: Autor.

Os ensaios foram realizados com apoios em dois pontos a uma distância de 2 cm das extremidades, havendo um vão livre de 16 cm para obter a falha por flexão. Durante os ensaios, o carregamento foi aplicado de forma contínua com taxa de incremento de 1,67 MPa. Ao fim do ensaio de cada corpo de prova, a carga máxima medida pela máquina de ensaios foi registrada.

O módulo de ruptura na flexão estática foi determinado pela seguinte equação:

$$MOR = \frac{1,5 \times P \times \iota}{b \times h^2}$$

onde

*MOR* (MPa) é o módulo de ruptura na flexão estática;

*P* (N) é a carga de ruptura;

$\iota$  (mm) é a distância entre os apoios;

*b* (mm) é a largura do corpo de prova;

*h* (mm) é a altura do corpo de prova;

O módulo da elasticidade na flexão estática foi determinado pela seguinte equação:

$$MOE = \frac{P' \times \iota^3}{4 \times D' \times b \times h^3}$$

onde

*MOE* (MPa) é o módulo da elasticidade na flexão estática;

*P'* (N) é a carga no limite de proporcionalidade;

$\iota$  (mm) é a distância entre os apoios;

*D'* (mm) é o deslocamento no limite de proporcionalidade;

*b* (mm) é a largura do corpo de prova;

*h* (mm) é a altura do corpo de prova;

### 3.4. Obtenção, identificação e criação dos insetos

Os espécimes de broca-de-bambu obtidos a partir dos colmos infestados naturalmente no Laboratório de Propriedades da Madeira da UFV (20°46'18,01"S 42°52'34,8"O) foram identificados pela equipe do Dr. Carlos Alberto Hector Flechtmann, professor associado ao Departamento de Proteção de Plantas da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (FEIS/UNESP), Ilha Solteira, São Paulo, Brasil.

Os insetos foram criados majoritariamente em câmaras de emergência, adaptadas a partir da metodologia descrita por Gonçalves et al. (2021). As câmaras de emergência induzem os adultos de broca-de-bambu a dirigirem-se exclusivamente para potes coletores após sua emergência, permitindo que os insetos sejam acessados com mais facilidade pelo pesquisador. As câmaras de emergência utilizadas neste trabalho consistem em caixas plásticas com tampa e trava inteiramente pretas. Em cada caixa, com uma capacidade total de 56 L, foi acoplado um pote coletor de 500 g (Figura 10). O acoplamento entre a caixa plástica e o pote foi feito com válvulas de escoamento para lavatórios sem ladrão. O orifício circular de acoplamento entre a caixa e o pote é a única região que permite a entrada de luz externa dentro da câmara, funcionando como atrativo para o inseto. O tampão das válvulas foi útil para impedir a entrada de luz na caixa em momentos inoportunos, fazendo com que os insetos permanecessem dentro das câmaras. No interior das câmaras de emergência, meias-seções de bambus com até 30 cm de comprimento infestados por broca-de-bambu foram dispostas sobre folhas de papel toalha comum. Periodicamente, foi realizada a limpeza das câmaras de emergência para que o pó resultante da infestação não comprometesse a eficiência da criação. Além disso, à medida que os bambus mais velhos foram deteriorados, bambus recém-cortados foram adicionados às câmaras de emergência para os insetos se alimentarem e reproduzirem. Todas as câmaras de emergência foram acondicionadas em uma sala climatizada situada no Insetário do DDE da UFV, sob temperaturas entre 26 e 30 °C, umidade relativa do ar (UR) de aproximadamente 60% e fotofase de 12 horas.



**Figura 10** - Coleta de insetos a partir das câmaras de emergência.

Fonte: Autor.

Parte dos espécimes de broca-de-bambu utilizados neste estudo foi depositada na Coleção Entomológica do Laboratório de Sistemática e Biologia de Coleoptera (CELC) (EVENHUIS, 2025), localizada na Av. P. H. Rolfs, s/n, Anexo do Edifício CCB II, sala EBS 201, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, Brasil. Os exemplares receberam os números de tombamento CELC000323, CELC000325, CELC000327, CELC000329 e CELC000333.

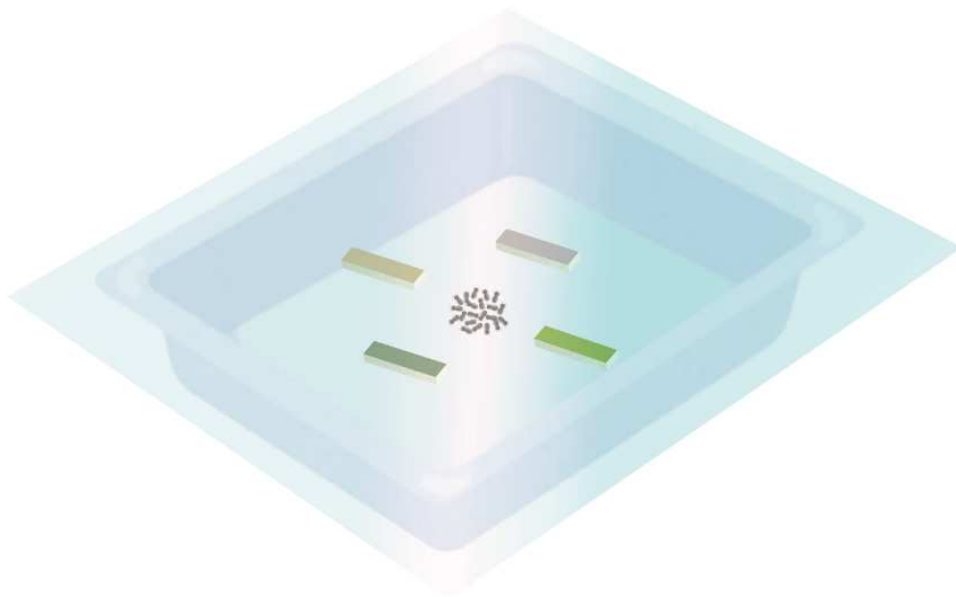
### 3.5. Bioensaios

A avaliação da preferência de alimentação e oviposição de broca-de-bambu por *B. tuldoides*, *B. vulgaris*, *D. asper* ou *D. strictus* foi realizada a partir da execução de dois tipos de bioensaios: com e sem chance de escolha.

### 3.5.1. Bioensaios com chance de escolha

#### 3.5.1.1. Bioensaio de preferência 1

Para avaliar a preferência da broca-de-bambu quando todas as espécies de bambu estavam disponíveis simultaneamente e sem barreiras físicas entre elas, foram confeccionadas arenas compostas por câmaras retangulares formadas por bandejas plásticas brancas, sem fundo, com 30,5 cm de comprimento, 20,5 cm de largura e 6 cm de altura (Figura 11). Essas bandejas foram posicionadas entre placas de vidro de 40 cm de comprimento, 40 cm de largura e 3 cm de altura, facilitando a visualização do interior da câmara. Nas laterais das câmaras, foram realizados pequenos cortes retangulares, que foram cobertos com voil branco 100% poliéster (gramatura de 140 g/m<sup>2</sup>), permitindo a circulação de ar. Foram adicionados corpos de prova de bambu de cada uma das quatro espécies avaliadas em quatro pontos equidistantes da arena. A manipulação dos corpos de prova foi feita utilizando luvas estéreis descartáveis. Os corpos de prova eram retangulares, extraídos paralelamente às fibras e possuíam 5 cm de comprimento, 2,5 cm de largura e espessura igual à da parede do colmo. Todos os corpos de prova foram confeccionados pela equipe do Laboratório de Serraria e Marcenaria da UFV em motosserra e serrote de poda 12" com cinco dentes por polegada. O teor de umidade dos corpos de prova oferecidos aos insetos estava na faixa de 16 a 26%.



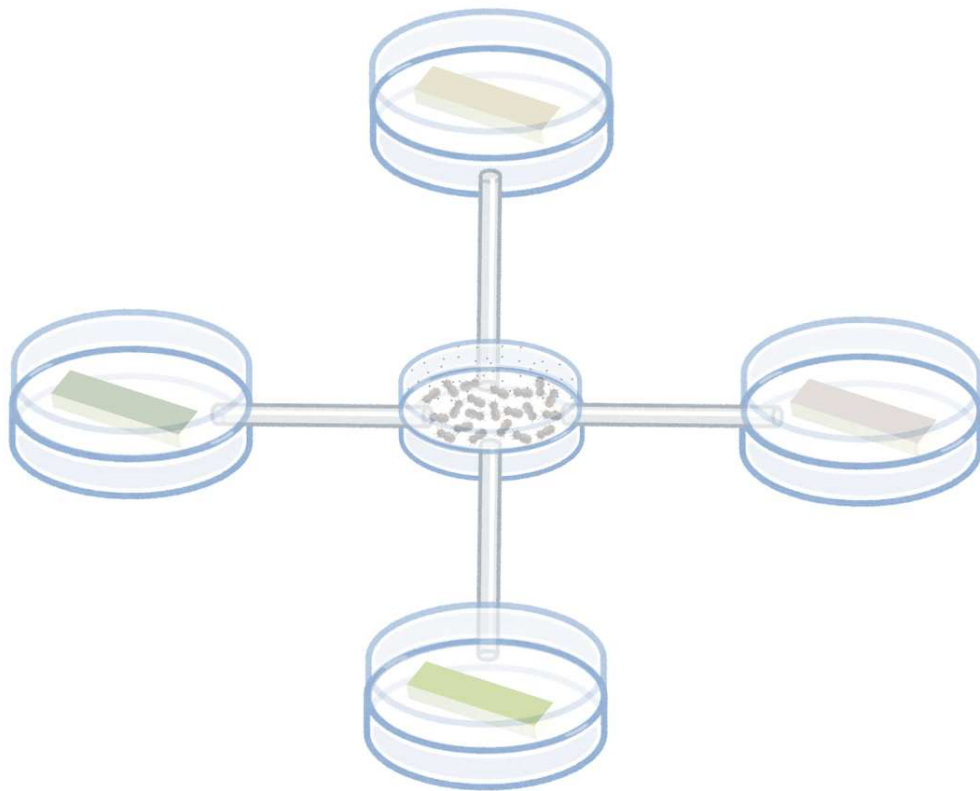
**Figura 11** - Esquema ilustrativo da arena utilizada no bioensaio de preferência 1.

Fonte: Autor.

Vinte espécimes adultos, não sexados, de broca-de-bambu foram coletados aleatoriamente a partir das câmaras de emergência e ficaram em jejum por 24 horas antes do início de cada repetição do bioensaio, que foi conduzido em sala climatizada ( $26 \pm 4$  °C,  $60 \pm 10\%$  UR e 12h de fotofase) no Insetário do Departamento de Entomologia da UFV. A manipulação dos insetos foi feita com o auxílio de pincéis redondos 266-12. Os 20 insetos foram liberados simultaneamente a partir do centro da arena e foram feitas observações de suas escolhas a cada 30 minutos, 1, 12, 24, 48, 72, 96, 120, 144 e 168 horas após o início do bioensaio. Ao final de cada observação, o número de insetos sobre ou abaixo de cada corpo de prova foi contabilizado. Foram realizadas seis repetições inteiramente casualizadas do bioensaio de preferência 1. A cada repetição, os 20 insetos foram substituídos por indivíduos recém-coletados.

### **3.5.1.2. Bioensaio de preferência 2**

Para avaliar a preferência da broca-de-bambu quando todas as espécies de bambu estavam compartimentalizadas, foram confeccionadas arenas que consistiam em câmaras circulares equidistantes interligadas por percursos lineares. Quatro câmaras laterais foram conectadas à uma câmara central (câmara de liberação) por tubos de silicone de 5 cm de comprimento e 0,12 mm de circunferência (Figura 12). A câmara de liberação foi composta por duas bases de placas de Petri acrílicas e transparentes, com 60 mm de diâmetro e 15 mm de altura, sobrepostas em direções opostas. No topo da câmara de liberação foram feitos furos de 0,5 mm com micro alfinetes, permitindo a circulação de ar. As câmaras laterais foram construídas de maneira semelhante, porém com dimensões maiores, de 90 mm de diâmetro e 15 mm de altura. A superfície basal das câmaras foi raspada com lixa grão 60 para facilitar a locomoção dos insetos. Em cada uma das câmaras laterais foi adicionado um corpo de prova de bambu exclusivo de cada uma das quatro espécies avaliadas. A manipulação dos corpos de prova foi feita utilizando luvas estéreis descartáveis. Os corpos de prova eram retangulares, extraídos paralelamente às fibras e possuíam 5 cm de comprimento, 2,5 cm de largura e espessura igual à da parede do colmo. Todos os corpos de prova foram confeccionados pela equipe do Laboratório de Serraria e Marcenaria da UFV em motosserra e serrote de poda 12" com cinco dentes por polegada. O teor de umidade dos corpos de prova oferecidos aos insetos estava na faixa de 16 a 26%.



**Figura 12** - Esquema ilustrativo da arena utilizada no bioensaio de preferência 2.

Fonte: Autor.

Vinte espécimes adultos, não sexados, de broca-de-bambu foram coletados aleatoriamente a partir das câmaras de emergência e ficaram em jejum por 24 horas antes do início de cada repetição do bioensaio, que foi conduzido em sala climatizada ( $26 \pm 4$  °C,  $60 \pm 10\%$  UR e 12h de fotofase) no Insetário do Departamento de Entomologia da UFV. A manipulação deles foi feita com o auxílio de pincéis redondos 266-12. Os 20 insetos foram liberados simultaneamente a partir da câmara de liberação e foram feitas observações de suas escolhas a cada 30 minutos, 1,12, 24, 48, 72, 96, 120, 144 e 168 horas após o início do bioensaio. Ao final de cada observação, o número de insetos em cada câmara lateral foi contabilizado. Foram realizadas cinco repetições inteiramente casualizadas do bioensaio de preferência 2. A cada repetição, os 20 insetos foram substituídos por indivíduos recém-coletados.

### 3.5.2. Bioensaio sem chance de escolha

#### 3.5.2.1. Bioensaio de colonização

Para avaliar a performance de colonização do inseto em cada uma das quatro espécies de bambu, dez espécimes adultos, não sexados, de broca-de-bambu foram coletados aleatoriamente a partir das câmaras de emergência e ficaram em jejum por 24 horas. Após este período, os insetos foram confinados em recintos compostos por duas bases de placas de Petri acrílicas e transparentes, com 90 mm de diâmetro e 15 mm de altura, sobrepostas em direções opostas (Figura 13). A superfície basal dos recintos foi raspada com lixa grão 60 para criar textura, facilitando o caminhar dos insetos. Cada recinto continha um corpo de prova exclusivo de uma das quatro espécies de bambu avaliadas. A manipulação dos corpos de prova foi feita utilizando luvas estéreis descartáveis. Os corpos de prova eram retangulares, extraídos paralelamente às fibras e possuíam 5 cm de comprimento, 2,5 cm de largura e espessura igual à parede do colmo. Todos os corpos de prova foram confeccionados pela equipe do Laboratório de Serraria e Marcenaria da UFV em motosserra e serrote de poda 12" com cinco dentes por polegada. O teor de umidade dos corpos de prova oferecidos aos insetos estava na faixa de 16 a 26%. Durante todo o bioensaio, os recintos contendo os insetos e os corpos de prova ficaram acondicionados em sala climatizada ( $26 \pm 4$  °C,  $60 \pm 10\%$  UR e 12h de fotofase) no Insetário do Departamento de Entomologia da UFV.



**Figura 13** - Esquema ilustrativo dos recintos utilizados no bioensaio de colonização.

Fonte: Autor.

Os corpos de prova foram fotografados por meio de equipamento de raio-X digital (modelo LX-60, Faxitron, Tucson, Arizona, Estados Unidos), na intensidade de 31 kV por aproximadamente 13,5 segundos antes, durante e depois do bioensaio. As imagens foram utilizadas para o mapeamento e acompanhamento da evolução das galerias ao longo de 120 dias (Apêndice B). Após este período foi avaliado o número de orifícios, galerias e larvas da

progênie encontradas nos corpos de prova. Foram realizadas quatro repetições inteiramente casualizadas do bioensaio de colonização. A cada repetição, os 10 insetos foram substituídos por indivíduos recém-coletados.

### **3.6. Análises estatísticas**

Para a análise dos ensaios físicos e mecânicos e do bioensaio de colonização, os pressupostos de normalidade e homogeneidade de variância foram avaliados utilizando, respectivamente, o teste de Shapiro-Wilk e o teste de Levene. Diante da violação desses pressupostos, optou-se por aplicar o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis, seguido pelo teste de Dunn para comparações múltiplas.

Para os resultados dos bioensaios de preferência, incluindo a variação do número de insetos em cada espécie de bambu ao longo do tempo, os pressupostos de normalidade e homogeneidade de variância também foram verificados com o teste de Shapiro-Wilk e o teste de Levene. Como os pressupostos não foram atendidos, os dados foram submetidos à análise usando-se Modelo Linear Generalizado (GLM) com distribuição binomial negativa.

A interação entre os resultados dos ensaios físicos e mecânicos e dos bioensaios de insetos foi avaliada por meio da Análise de Correlação Canônica (CCA), escolhida por sua capacidade de explorar associações complexas entre as variáveis do bambu e dos insetos. As análises foram conduzidas em ambiente R (R Core Team, 2025).

## **3. RESULTADOS**

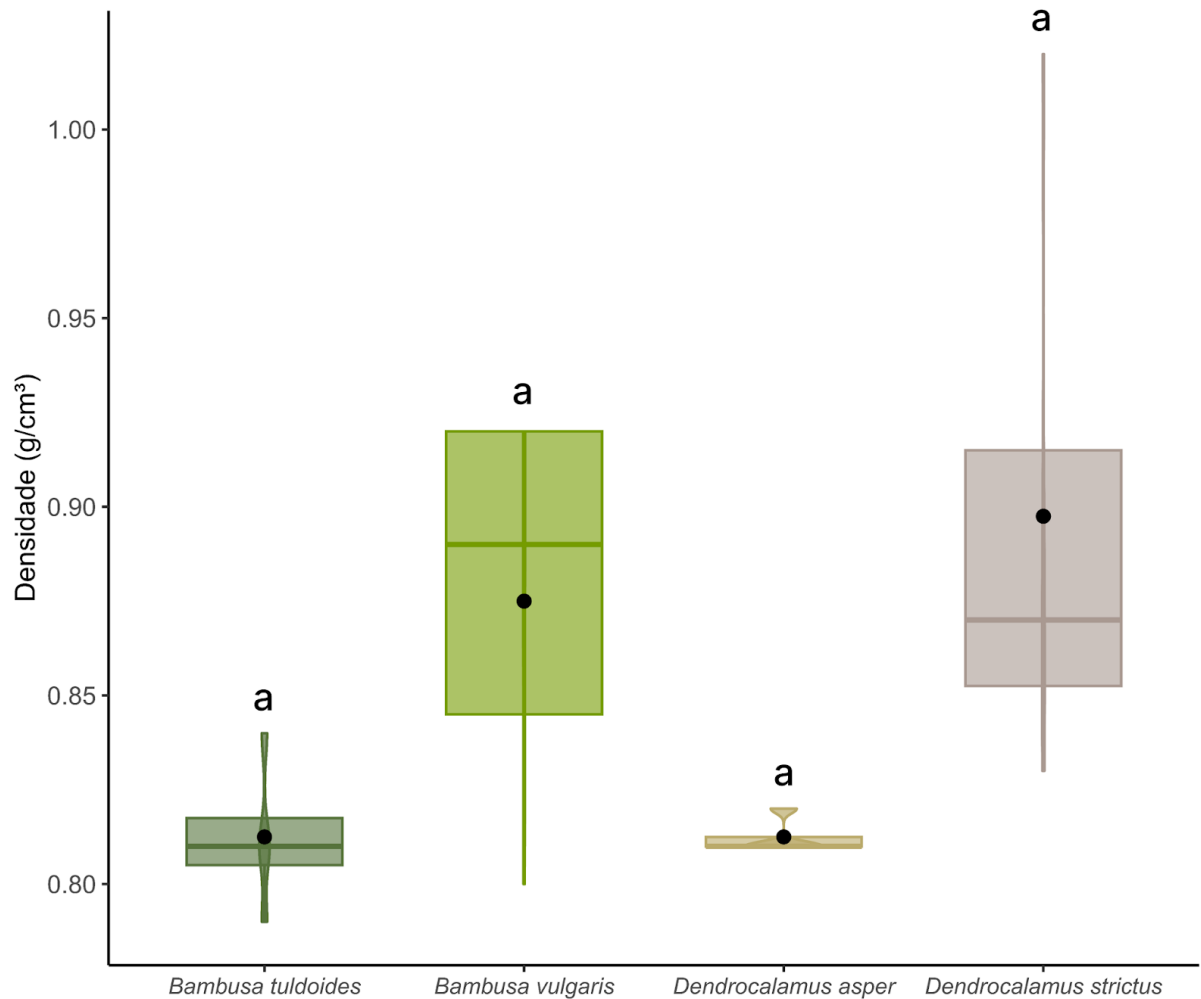
### **3.1. Caracterização físico-mecânica dos bambus**

As médias, desvios padrão, número amostral e resultado do teste de Kruskal-Wallis seguido do teste de Dunn para todos os parâmetros físicos e mecânicos das quatro espécies de bambu estão detalhadas no apêndice A.

### 3.1.1. Propriedades físicas

#### 3.1.1.1. Densidade aparente

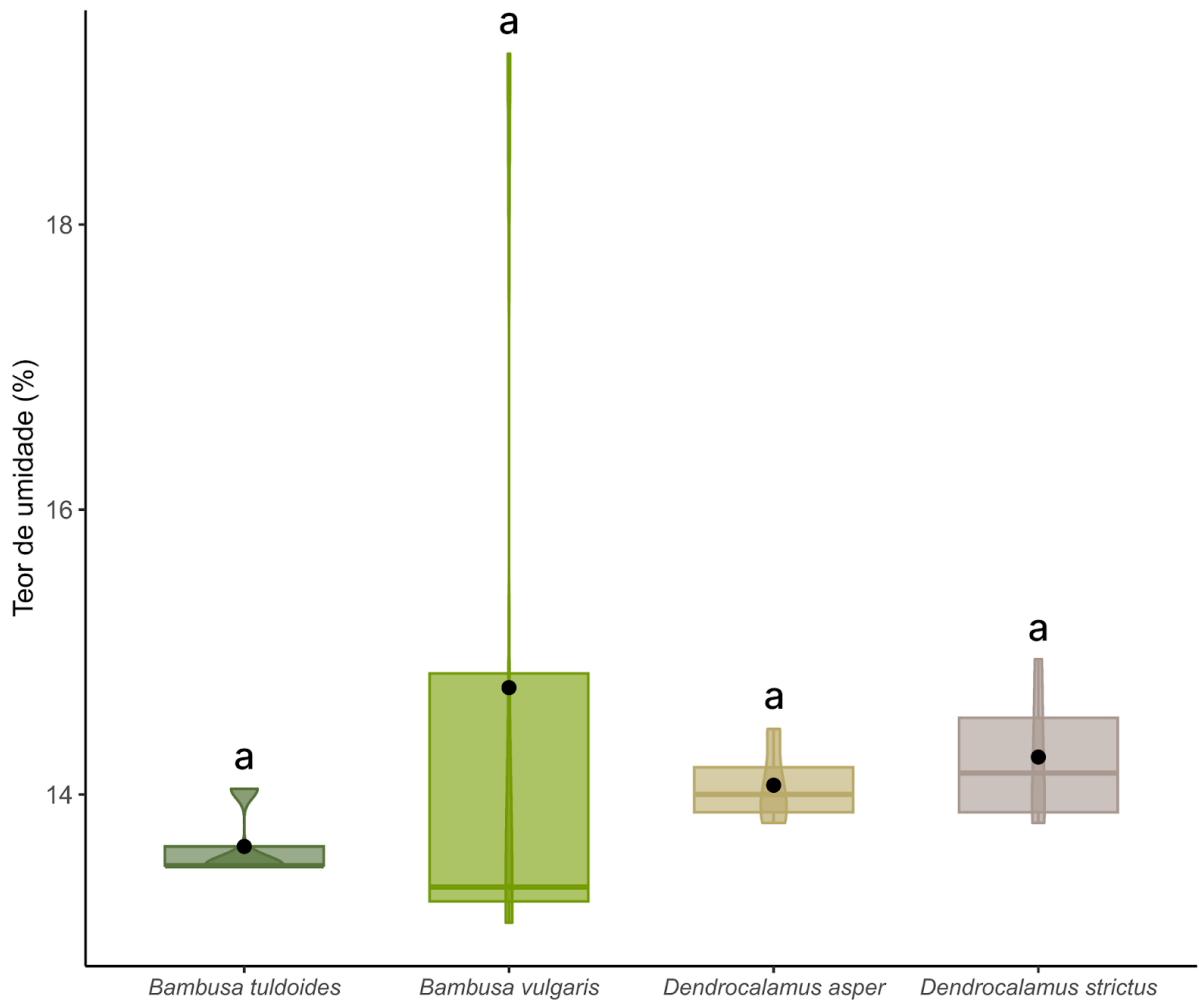
Não foram observadas diferenças significativas na densidade aparente média entre as quatro espécies de bambu ( $0,85 \pm 0,04 \text{ g/cm}^3$ ) ( $df = 3, p = 0.08$ ) (Figura 14).



**Figura 14** - Densidade aparente ( $\text{g/cm}^3$ ) por espécie de bambu. Letras iguais indicam que não houve diferença estatística pelo teste de Kruskal-Wallis. Na figura, pontos pretos representam a média, barras horizontais indicam a mediana e barras verticais representam a distribuição dos dados (primeiro e terceiro quartis).

### 3.1.1.2. Teor de umidade (base seca)

Não foram observadas diferenças significativas na média do teor de umidade na base seca entre as quatro espécies de bambu ( $14,18 \pm 1,01$  %) ( $df = 3, p = 0.21$ ) (Figura 15).

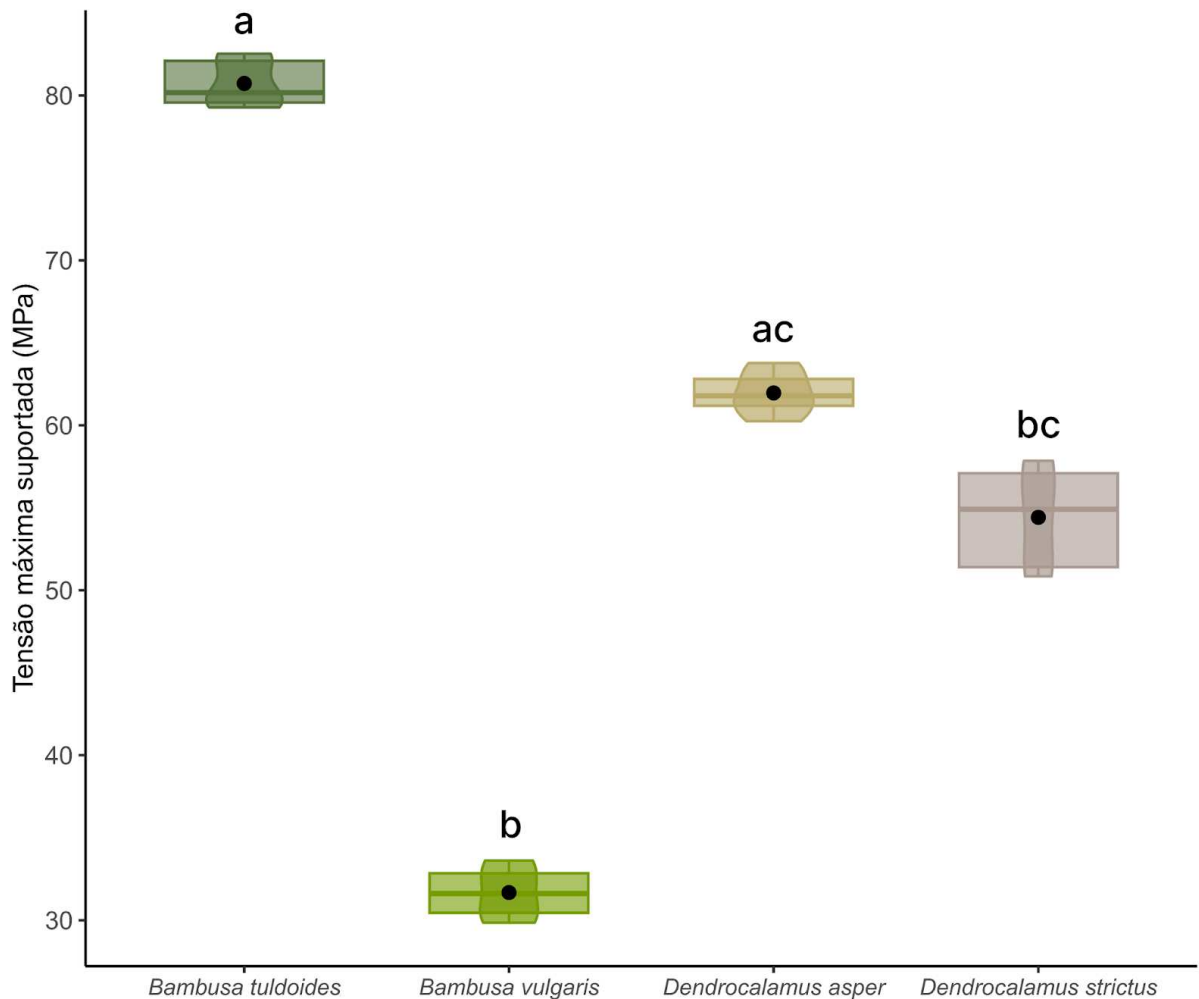


**Figura 15** - Teor de umidade (%) por espécie de bambu. Letras iguais indicam que não houve diferença estatística pelo teste de Kruskal-Wallis. Na figura, pontos pretos representam a média, barras horizontais indicam a mediana e barras verticais representam a distribuição dos dados (primeiro e terceiro quartis).

### 3.1.2. Propriedades mecânicas

#### 3.1.2.1. Resistência à compressão paralela às fibras

Diferenças significativas na resistência à compressão foram observadas entre as quatro espécies de bambu ( $df = 3, p < 0.001$ ) (Figura 16).

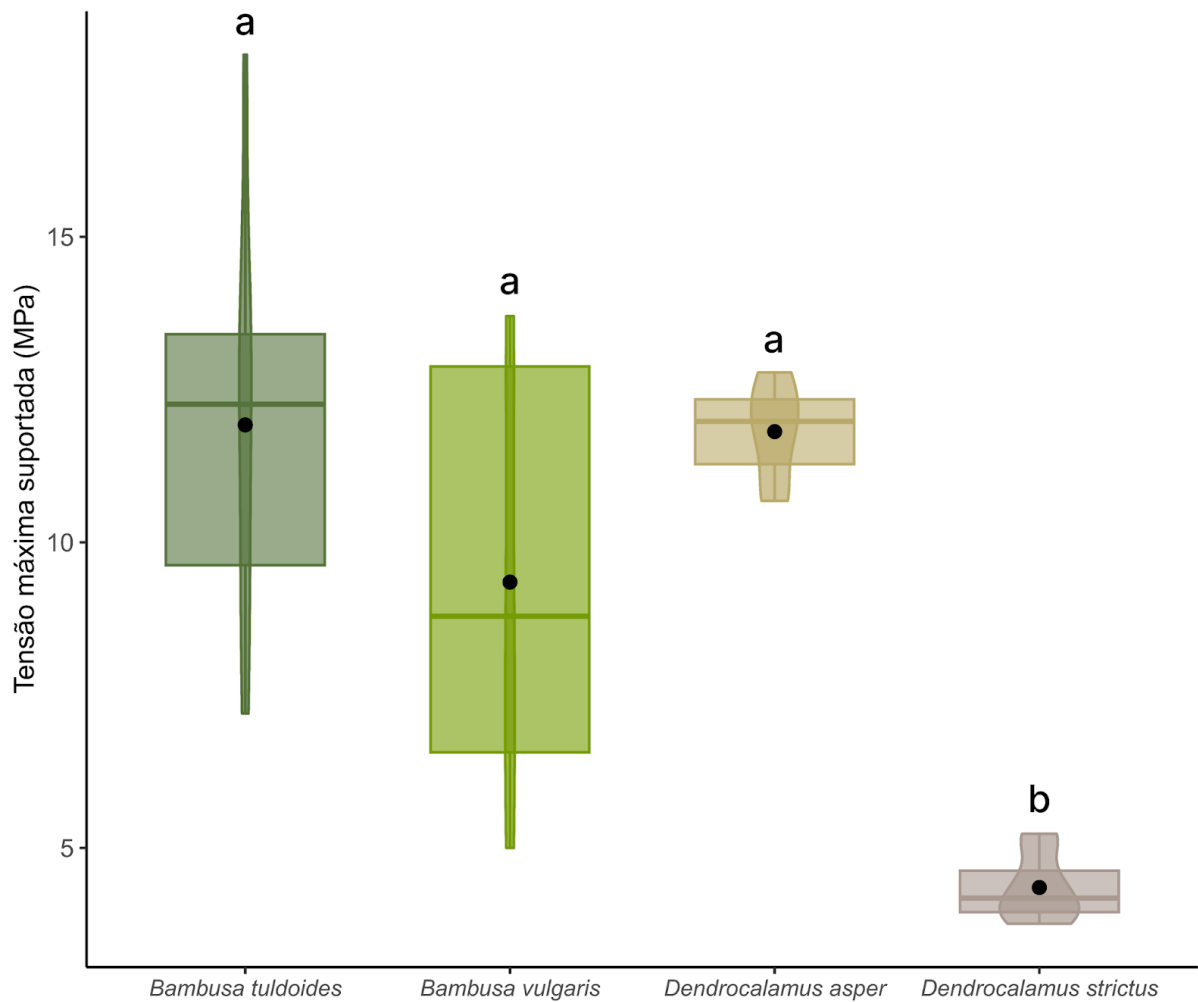


**Figura 16** - Resistência à compressão paralela às fibras por espécie de bambu. Letras diferentes indicam diferença estatística pelo teste de Dunn. Na figura, pontos pretos representam a média, barras horizontais indicam a mediana e barras verticais representam a distribuição dos dados (primeiro e terceiro quartis).

*Bambusa tuldoides* apresenta a maior resistência média à compressão ( $80,72 \pm 1,49$  MPa) dentre todas as espécies de bambu, sendo significativamente maior em relação a *B.vulgaris* ( $p < 0.001$ ) e *D. strictus* ( $p = 0.02$ ). *Bambusa vulgaris* apresenta a menor resistência média à compressão ( $31,67 \pm 1,73$  MPa) dentre todas as espécies de bambu, sendo significativamente menor em relação a *D. asper* ( $p = 0.05$ ).

### 3.1.2.2. Resistência ao cisalhamento paralelo às fibras

Diferenças significativas na resistência ao cisalhamento foram observadas entre as quatro espécies de bambu ( $df = 3, p < 0.001$ ) (Figura 17).

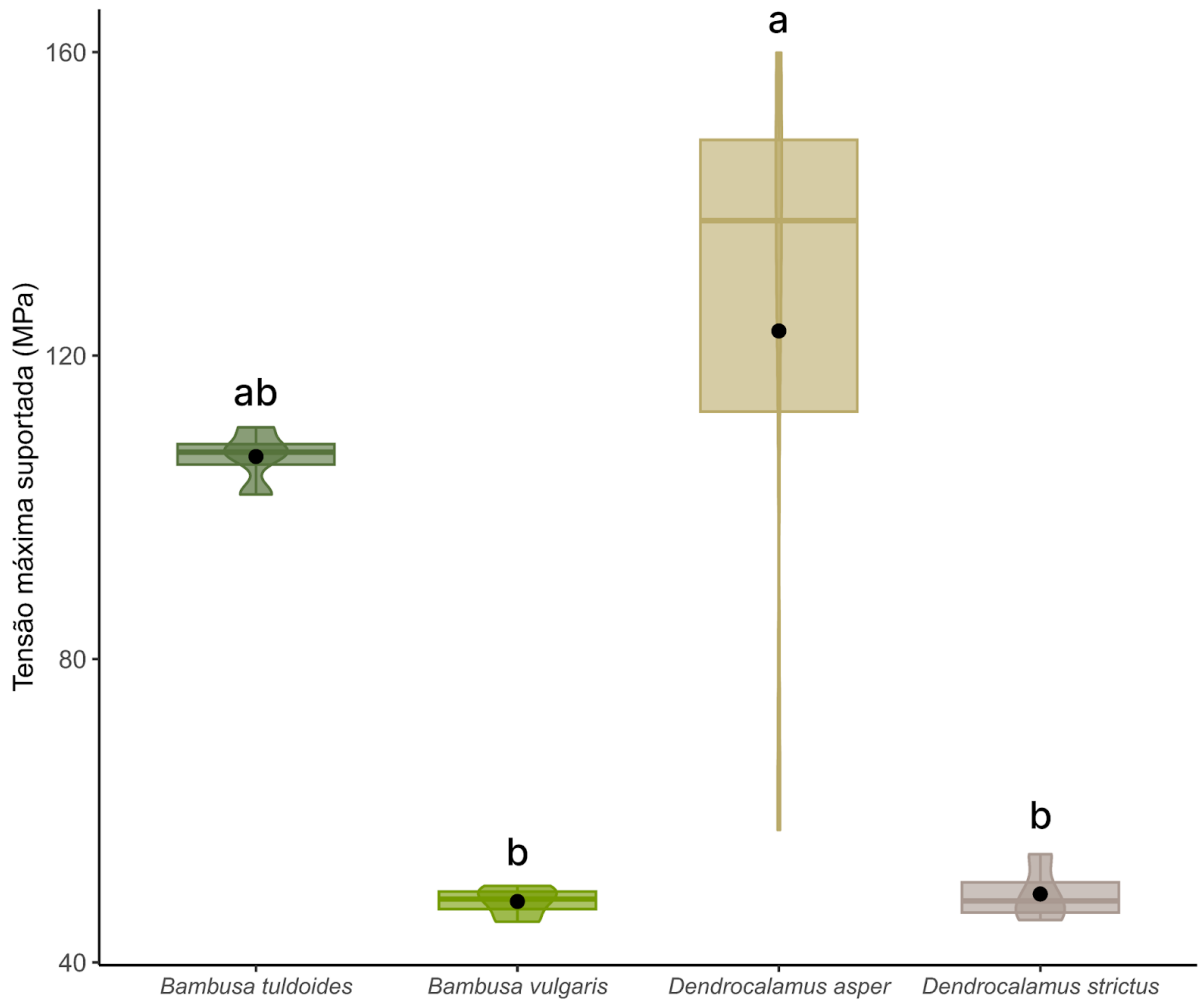


**Figura 17** - Resistência ao cisalhamento paralelo às fibras por espécie de bambu. Letras diferentes indicam diferença estatística pelo teste de Dunn. Na figura, pontos pretos representam a média, barras horizontais indicam a mediana e barras verticais representam a distribuição dos dados (primeiro e terceiro quartis).

*Dendrocalamus strictus* apresenta a menor resistência média ao cisalhamento ( $4,35 \pm 0,55$  MPa) dentre todas as espécies de bambu, sendo significativamente menor em relação a *B. tuldoides* ( $p = 0.001$ ), *B. vulgaris* ( $p = 0.03$ ) e *D. asper* ( $p = 0.003$ ).

### 3.1.2.3. Resistência à tração paralela às fibras

Diferenças significativas na resistência à tração foram observadas entre as quatro espécies de bambu ( $df = 3, p = 0.008$ ) (Figura 18).

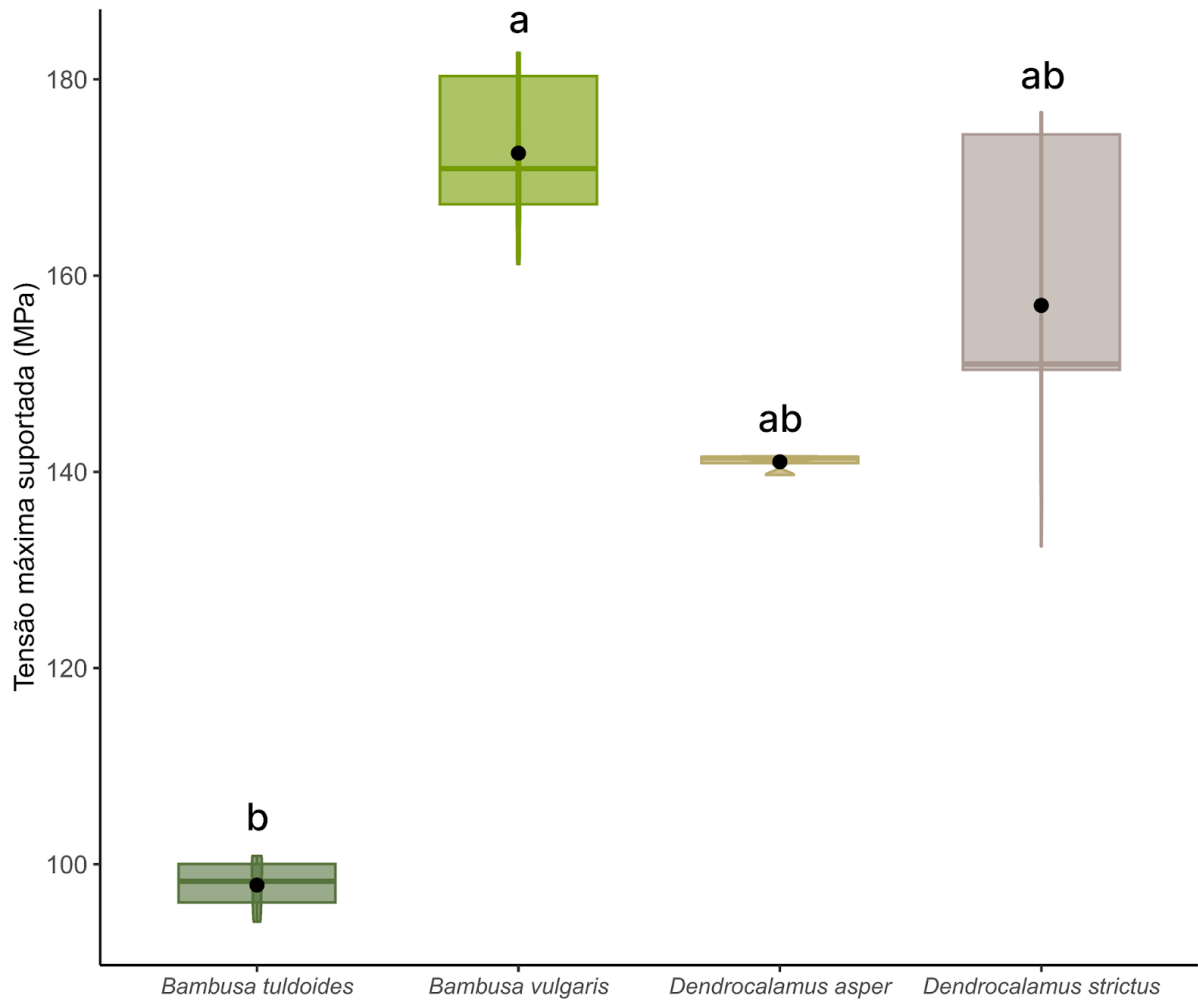


**Figura 18** - Resistência à tração paralela às fibras por espécie de bambu. Letras diferentes indicam diferença estatística pelo teste de Dunn. Na figura, pontos pretos representam a média, barras horizontais indicam a mediana e barras verticais representam a distribuição dos dados (primeiro e terceiro quartis).

*Dendrocalamus asper* apresenta a maior resistência média à tração ( $123,24 \pm 45,43$  MPa) dentre todas as espécies de bambu, sendo significativamente maior em relação a *B. vulgaris* ( $p = 0.04$ ) e *D. strictus* ( $p = 0.05$ ).

### 3.1.2.4 Módulos de ruptura (MOR) e da elasticidade (MOE) na flexão estática do colmo

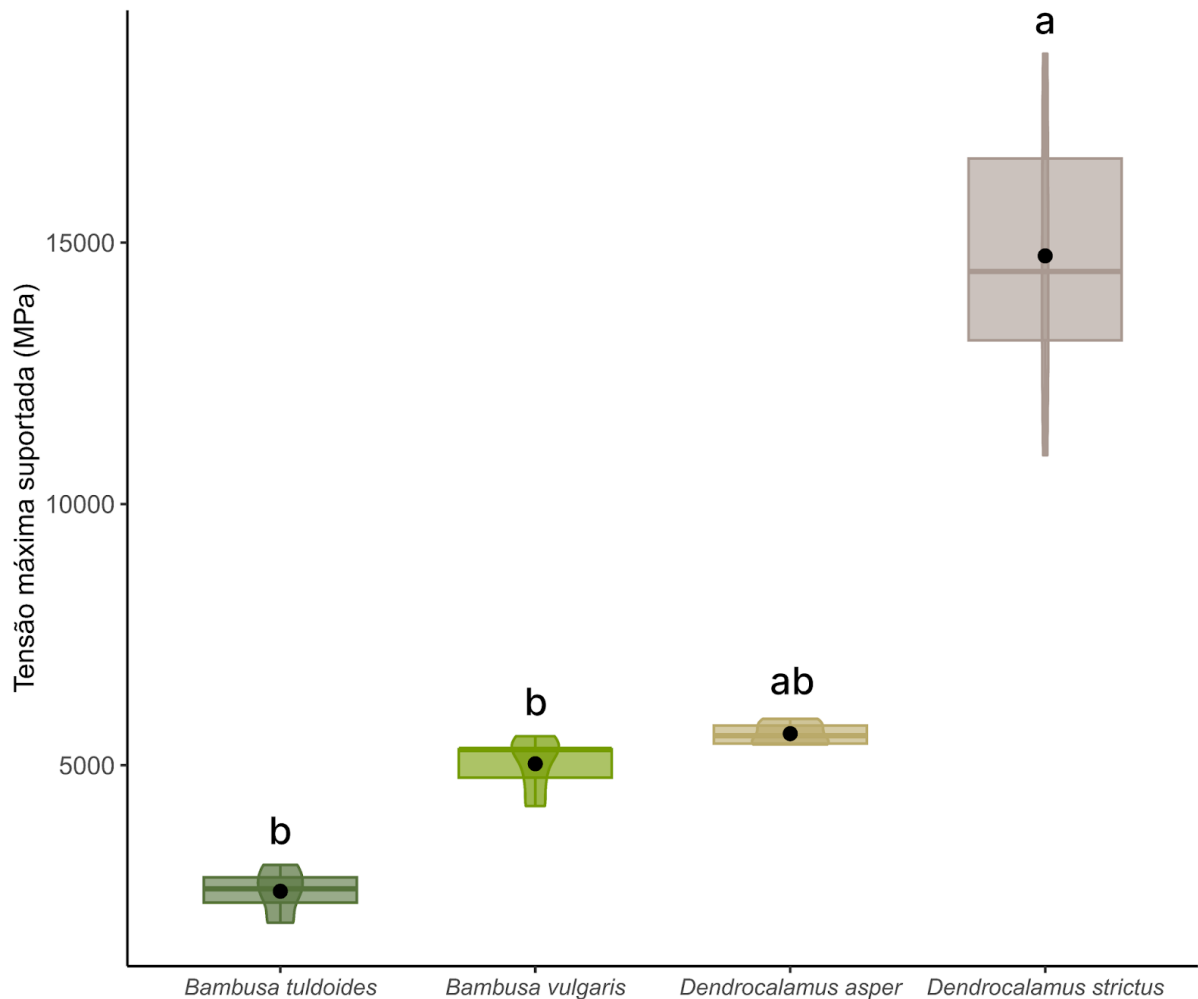
Diferenças significativas no módulo de ruptura foram observadas entre as quatro espécies de bambu ( $df = 3, p = 0.004$ ) (Figura 19).



**Figura 19** - Módulo de ruptura na flexão estática por espécie de bambu. Letras diferentes indicam diferença estatística pelo teste de Dunn. Na figura, pontos pretos representam a média, barras horizontais indicam a mediana e barras verticais representam a distribuição dos dados (primeiro e terceiro quartis).

*B. vulgaris* apresenta o maior módulo de ruptura médio ( $172,48 \pm 9,00$  MPa) dentre todas as espécies de bambu, sendo significativamente maior em relação a *B. tuldoides* ( $p = 0.003$ ).

Diferenças significativas no módulo da elasticidade foram observadas entre as quatro espécies de bambu ( $df = 3, p = 0.001$ ) (Figura 20).



**Figura 20** - Módulo da elasticidade na flexão estática por espécie de bambu. Letras diferentes indicam diferença estatística pelo teste Dunn. Na figura, pontos pretos representam a média, barras horizontais indicam a mediana e barras verticais representam a distribuição dos dados (primeiro e terceiro quartis).

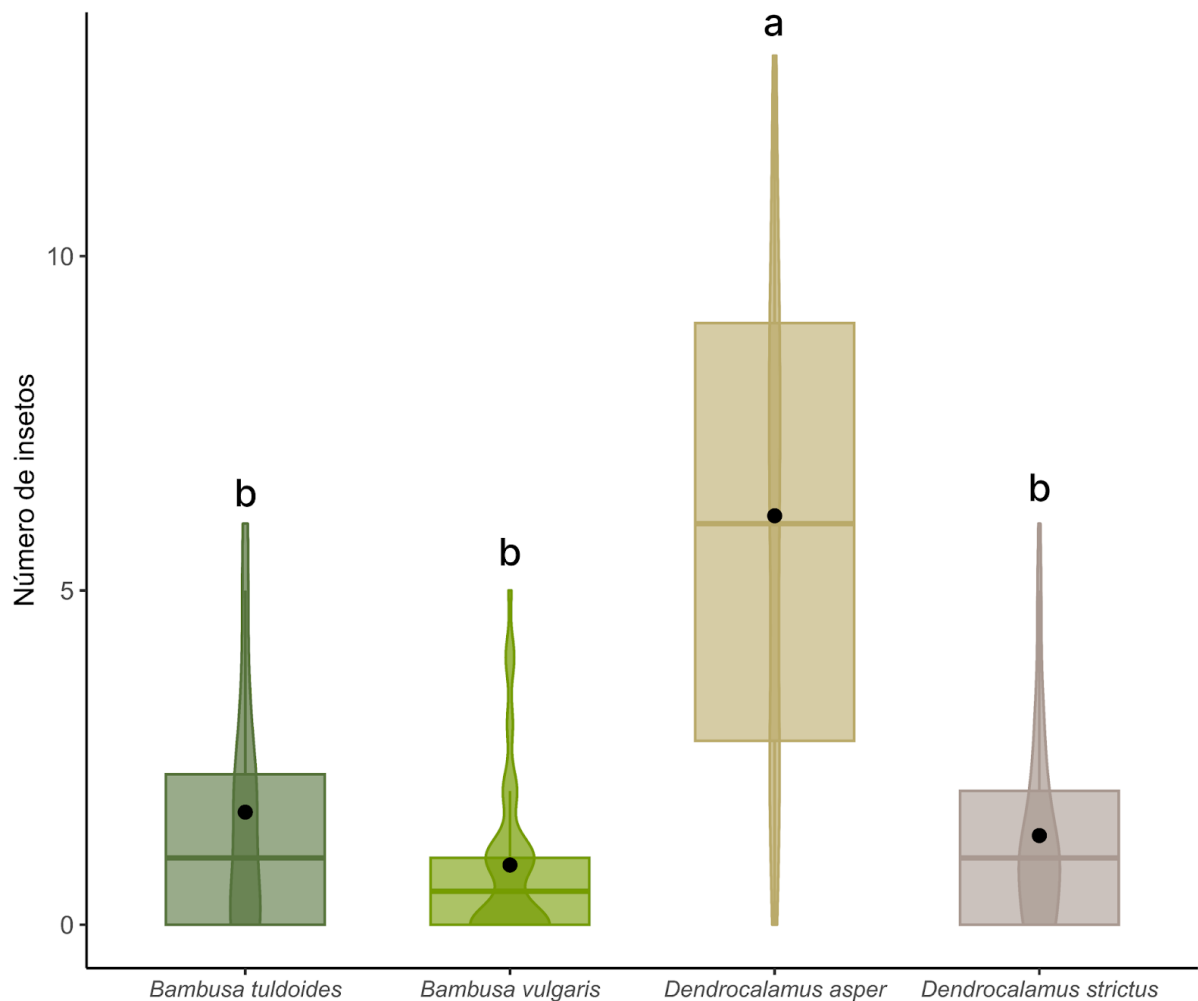
*Dendrocalamus strictus* apresenta o maior módulo da elasticidade médio ( $1.4746,00 \pm 2.987,07$  MPa) dentre todas as espécies de bambu, sendo significativamente maior em relação a *B. tuldoides* ( $p = 0.001$ ) e *B. vulgaris* ( $p = 0.05$ ).

### 3.2. Bioensaios

#### 3.2.1. Bioensaios com chance de escolha

##### 3.2.1.1 Bioensaio de preferência 1

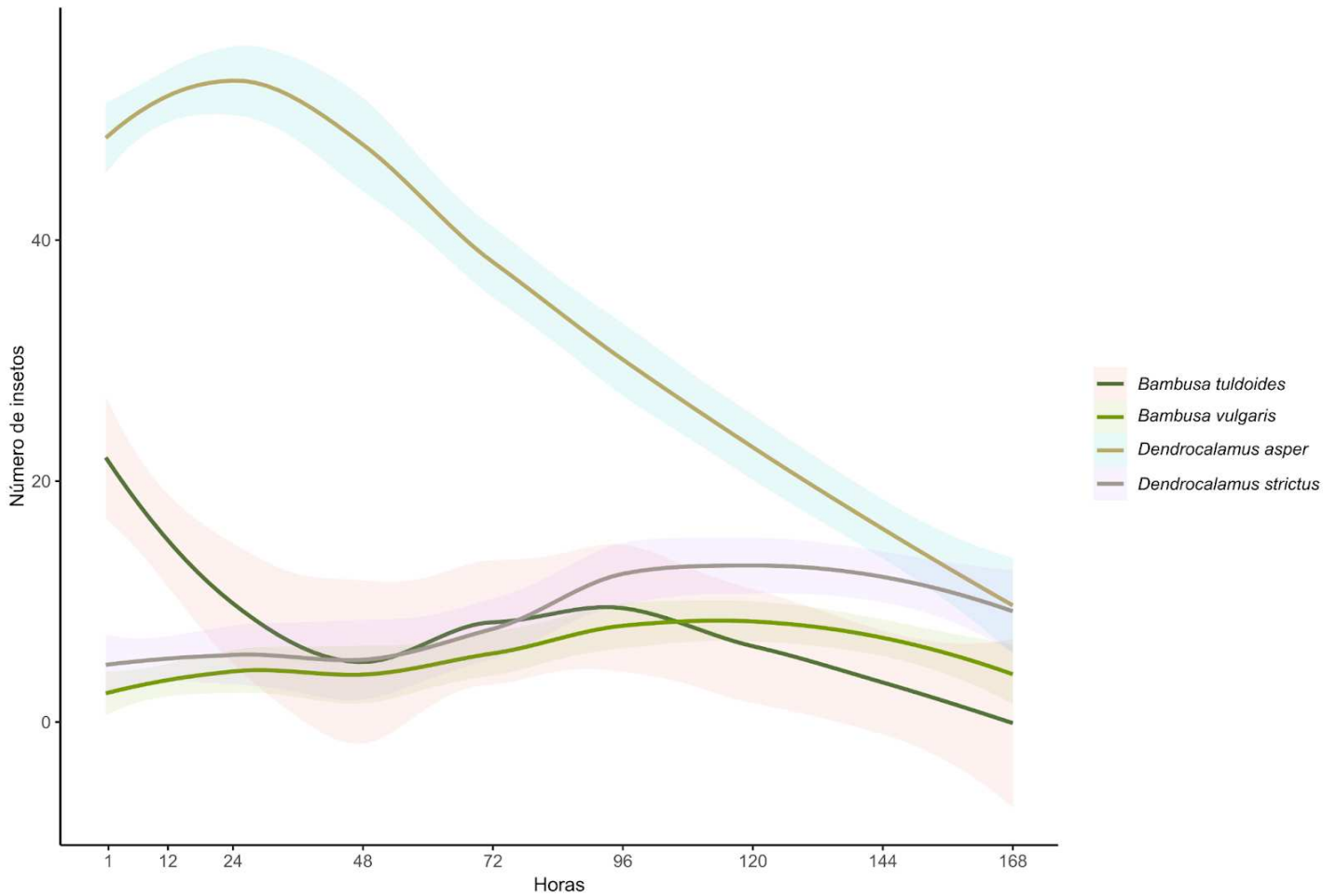
Diferenças significativas foram observadas na escolha das espécies de bambu pelos insetos ao longo do tempo ( $z = 5.43$ ;  $p < 0.001$ ) no bioensaio de preferência 1.



**Figura 21** - Preferência da broca-de-bambu por espécie de bambu no bioensaio 1. Letras diferentes indicam diferença estatística pelo Modelo Linear Generalizado. Na figura, pontos pretos representam a média, barras horizontais indicam a mediana e barras verticais representam a distribuição dos dados (primeiro e terceiro quartis).

*D. asper* apresentou maior número médio de insetos ( $6,13 \pm 3,67$  insetos/corpo de prova) ao longo do tempo em comparação a *D. strictus* ( $p < 0.001$ ), *B. vulgaris* ( $p < 0.001$ ) e *B. tuldoides* ( $p < 0.001$ ) (Figura 21).

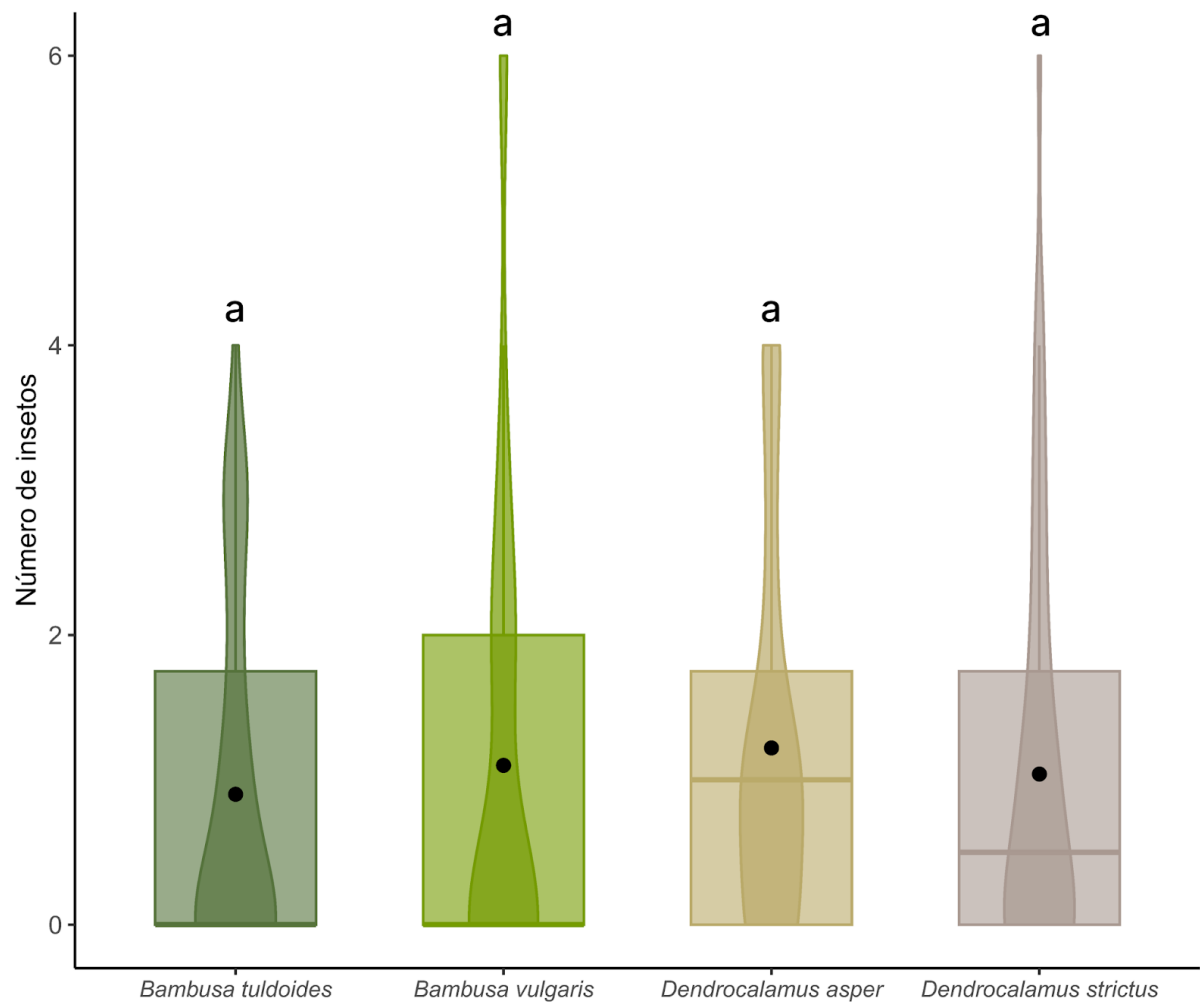
Além disso, o tempo, de forma independente, apresentou um efeito significativo na variação do número de insetos ( $z = 4.51$ ;  $p < 0.001$ ) em cada espécie de bambu durante o bioensaio 1 (Figura 22).



**Figura 22** - Variação na preferência dos insetos por espécie de bambu ao longo do tempo no bioensaio 1.

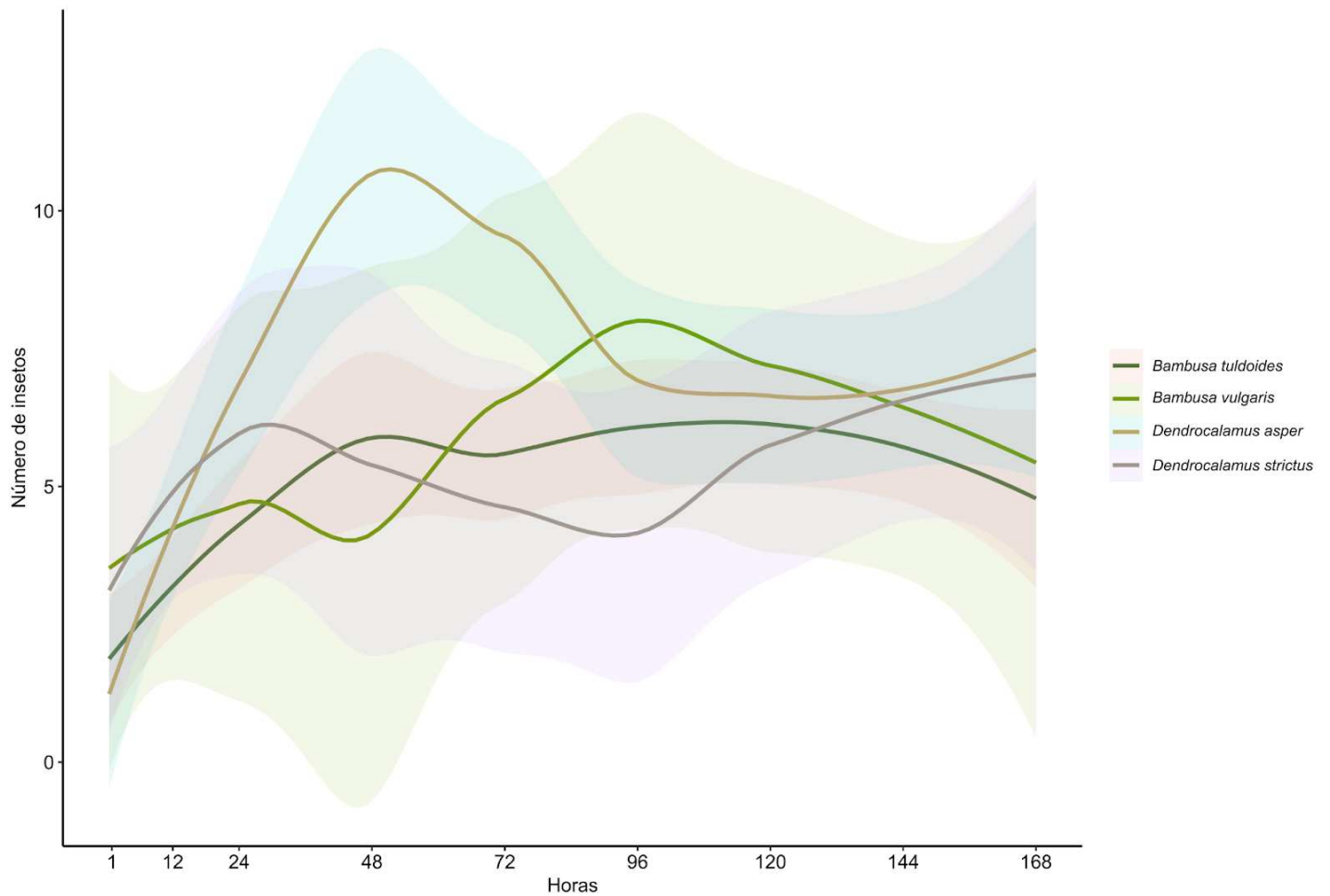
### 3.2.1.2 Bioensaio de preferência 2

Não foram observadas diferenças significativas na escolha dos insetos pelas espécies de bambu ao longo do tempo ( $z = 1.36$ ;  $p = 0.173$ ) no bioensaio de preferência 2 (Figura 23).



**Figura 23** - Preferência da broca-de-bambu por espécie de bambu no bioensaio 2. Letras diferentes indicam diferença estatística pelo Modelo Linear Generalizado. Na figura, pontos pretos representam a média, barras horizontais indicam a mediana e barras verticais representam a distribuição dos dados (primeiro e terceiro quartis).

Contudo, de forma semelhante ao bioensaio 1, o tempo, de forma independente, apresentou um efeito significativo na variação do número de insetos ( $z = 2.37$ ;  $p = 0.02$ ) em cada espécie de bambu durante o bioensaio 2 (Figura 24).

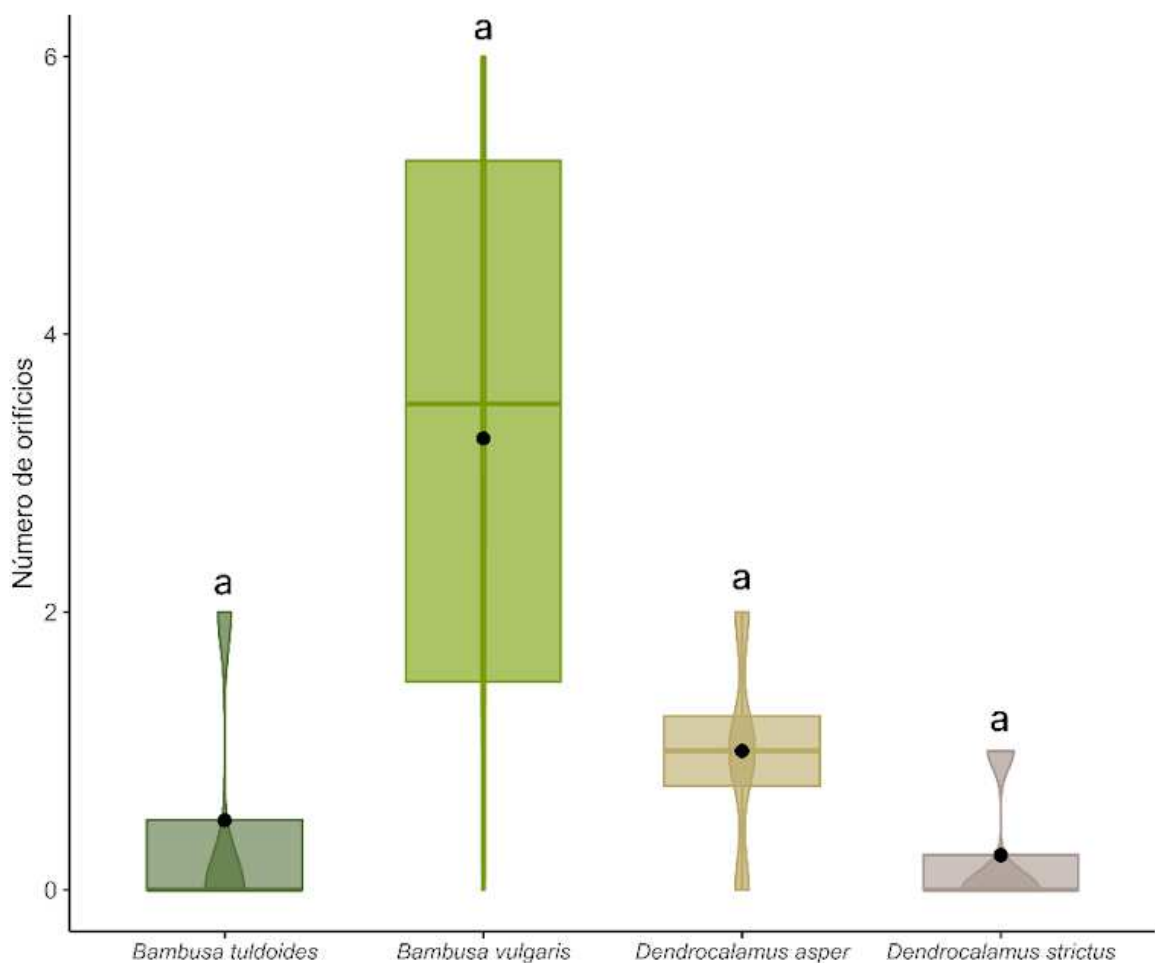


**Figura 24** - Variação na preferência dos insetos por espécie de bambu ao longo do tempo no bioensaio 2.

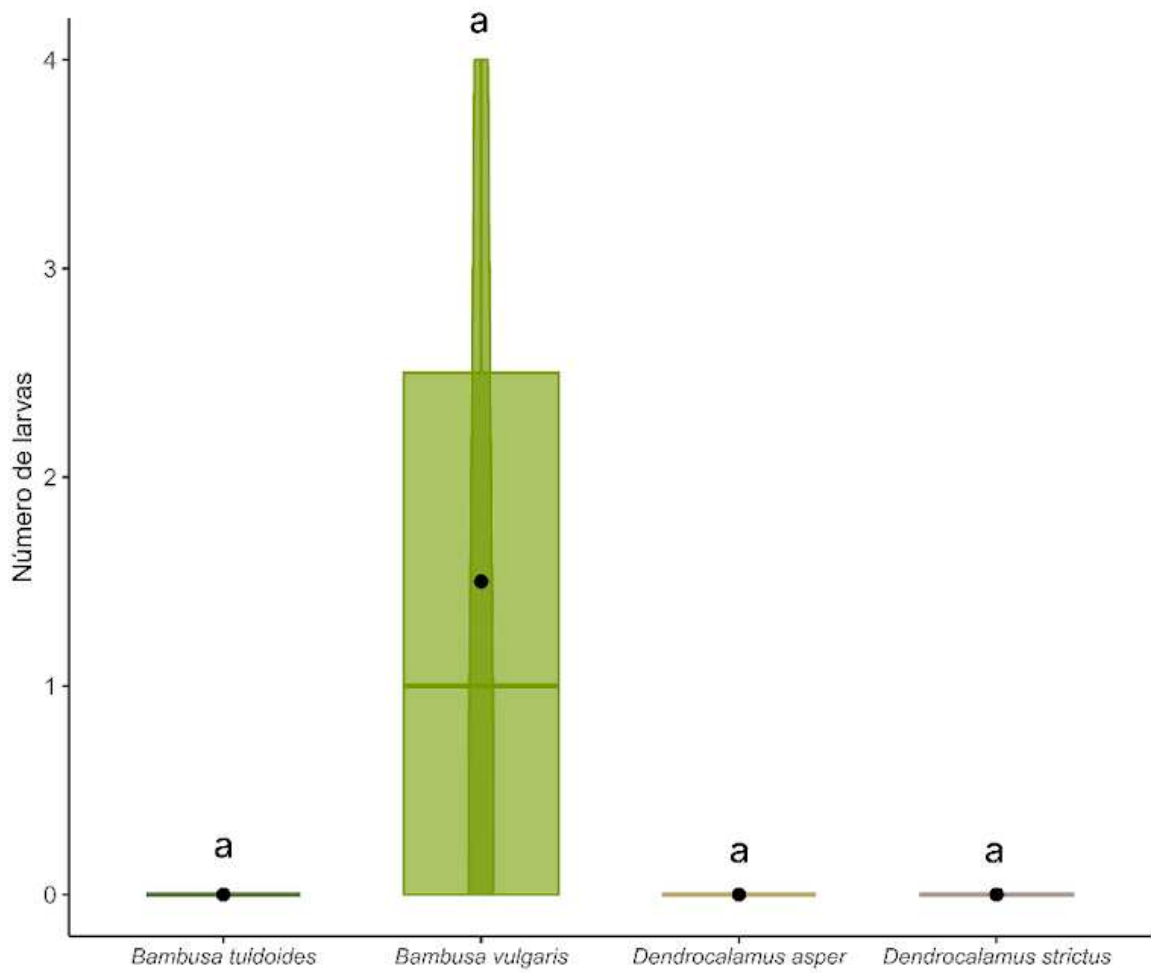
### 3.2.2. Bioensaio sem chance de escolha

#### 3.2.2.1 Bioensaio de colonização

Embora *Bambusa vulgaris* tenha exibido a maior média de orifícios ( $3,25 \pm 2,75$  orifícios/corpo de prova) e larvas ( $1,5 \pm 1,91$  insetos/corpo de prova), que se desenvolveram até o estágio de pupa, não foram encontradas diferenças significativas nessas variáveis entre os corpos de prova das diferentes espécies de bambu ( $p = 0.17$  para orifícios;  $p = 0.09$  para larvas) (Figuras 25 e 26).

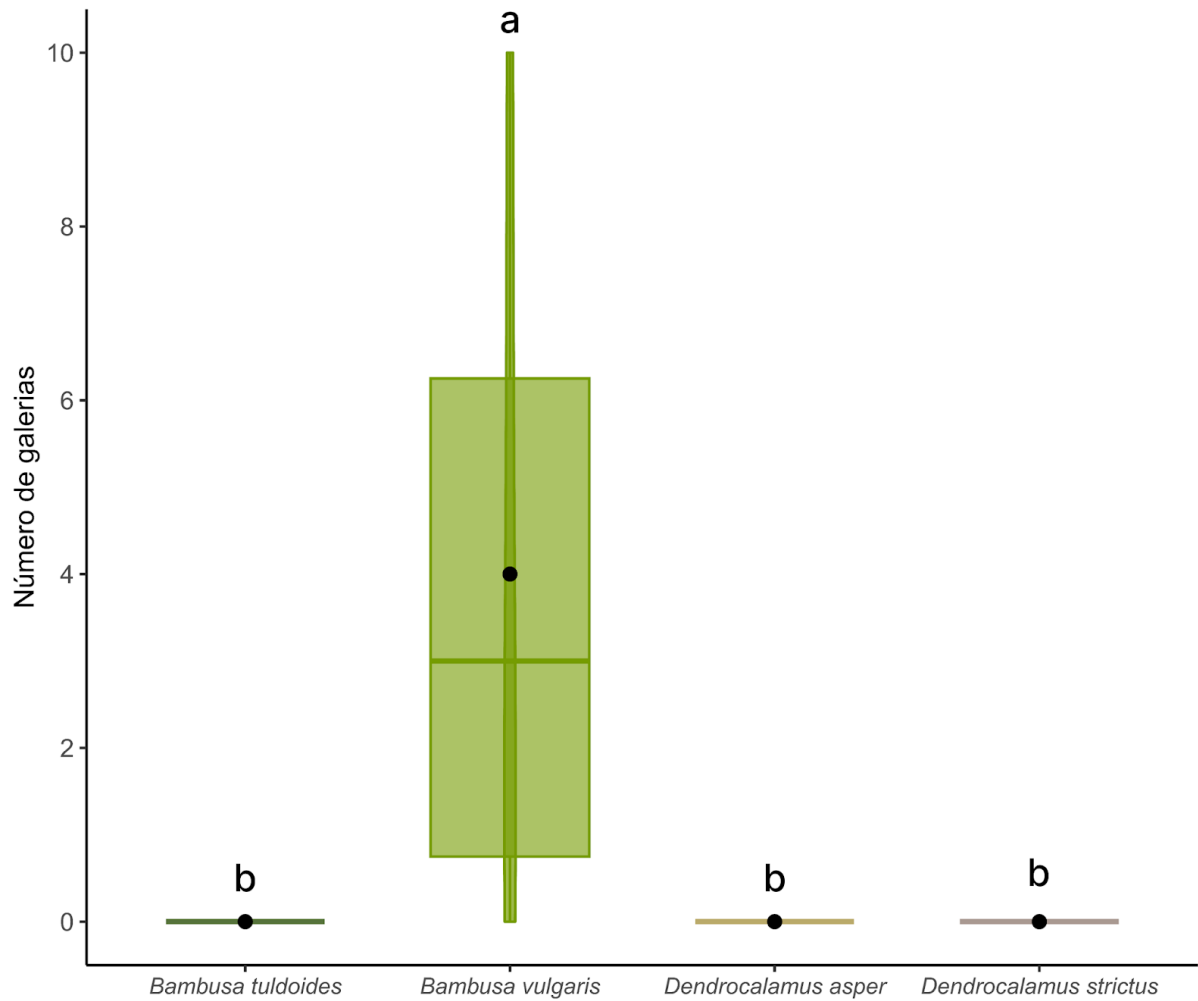


**Figura 25** - Número de orifícios por espécie de bambu após o término do bioensaio de colonização. Letras iguais indicam que não houve diferença estatística pelo teste de Kruskal-Wallis. Na figura, pontos pretos representam a média, barras horizontais indicam a mediana e barras verticais representam a distribuição dos dados (primeiro e terceiro quartis).



**Figura 26** - Número de larvas da geração filha por espécie de bambu após o término do bioensaio de colonização. Letras iguais indicam que não houve diferença estatística pelo teste de Kruskal-Wallis. Na figura, pontos pretos representam a média, barras horizontais indicam a mediana e barras verticais representam a distribuição dos dados (primeiro e terceiro quartis).

Entretanto, a média de galerias ( $4 \pm 4,54$  galerias/corpo de prova) em *B. vulgaris* foi significativamente maior que todas as demais espécies de bambu ( $p = 0.02$ ) (Figura 27).



**Figura 27** - Número de galerias por espécie de bambu após o término do bioensaio de colonização. Letras diferentes indicam diferença estatística pelo teste de Dunn. Na figura, pontos pretos representam a média, barras horizontais indicam a mediana e barras verticais representam a distribuição dos dados (primeiro e terceiro quartis).

### 3.3. Correlação Canônica

A correlação canônica entre as variáveis do bambu (densidade aparente, teor de umidade, resistência à compressão, cisalhamento, tração, módulo de ruptura e elasticidade) e as variáveis dos insetos (número de insetos e número de galerias) revelou dois pares de variáveis canônicas significativos. O primeiro par apresentou uma correlação canônica forte de 0.96 ( $F = 6.88$ ;  $p < 0.001$ ), enquanto o segundo par apresentou uma correlação moderada de 0.87 ( $F = 4.33$ ;  $p = 0.03$ ), também significativa (Tabela 1).

**Tabela 1** - Pares canônicos e coeficientes de correlação entre as características físicas e mecânicas dos bambus e a atividade da broca-de-bambu. Os principais contribuintes de cada par canônico estão representados em negrito.

	1º Par canônico		2º Par canônico	
	Coefficiente	Correlação	Coefficiente	Correlação
<b>Propriedades dos bambus</b>				
Densidade aparente (g/cm <sup>3</sup> )	0.34	-0.16	0.19	0.26
Teor de umidade (%)	<b>0.95</b>	<b>0.89</b>	0.18	-0.01
Resistência à compressão (MPa)	<b>-1.25</b>	<b>-0.52</b>	<b>1.97</b>	<b>-0.33</b>
Resistência ao cisalhamento (MPa)	0.24	0.21	-1.56	-0.47
Resistência à tração (MPa)	0.26	-0.20	-0.89	-0.47
Módulo de ruptura (MPa)	<b>-1.02</b>	<b>0.40</b>	<b>1.73</b>	<b>0.25</b>
Módulo da elasticidade (MPa)	0.11	-0.15	<b>-2.25</b>	<b>-0.01</b>
<b>Atividade dos insetos</b>				
Número de insetos	0.40	0.51	<b>-0.92</b>	<b>-0.86</b>
Número de galerias	<b>0.87</b>	<b>0.91</b>	0.51	0.40
<i>R</i>	0.97		0.87	
<i>F</i> <sub>appr</sub>	6.88		4.33	
<i>df</i> <sub>num/den</sub>	14/14		6/8	
<i>P</i>	< 0.001		0.03	

No primeiro par canônico, as variáveis com maior carga canônica e conseqüentemente maior poder explicativo para a correlação com as atividades da broca-de-bambu foram o teor de umidade, a resistência à compressão e o módulo de ruptura. No segundo par canônico, as variáveis mais influentes foram o módulo da elasticidade, a resistência à compressão e o módulo de ruptura. Essas variáveis foram importantes para explicar tanto o número de insetos no segundo par canônico, quanto o número de galerias no primeiro par canônico.

## 4. DISCUSSÃO

A hipótese de que haveria uma correlação entre a preferência e colonização da broca-de-bambu e as características físicas e mecânicas do substrato foi confirmada. Espécies de bambu com maior teor de umidade, menor resistência à compressão e menores módulos de ruptura e da elasticidade apresentaram um maior número de insetos e galerias, indicando maior susceptibilidade ao ataque da broca-de-bambu.

*Dendrocalamus asper* foi a espécie preferida pela broca-de-bambu nos bioensaios de preferência, registrando o maior número médio de insetos em ambos os experimentos. Embora a diferença tenha sido significativa apenas no bioensaio 1, os resultados indicam maior atratividade dessa espécie ao ataque da broca-de-bambu.

*Bambusa vulgaris* foi a espécie com maiores médias de orifícios, galerias e larvas no bioensaio de colonização. Embora apenas o número de galerias tenha sido significativamente diferente das outras espécies, foi o único substrato no qual os insetos colocaram ovos, que se desenvolveram até o estágio de pupa. Esses resultados indicam que essa espécie é a mais adequada para a colonização da broca-de-bambu, mesmo não sendo a mais preferida inicialmente pelo inseto.

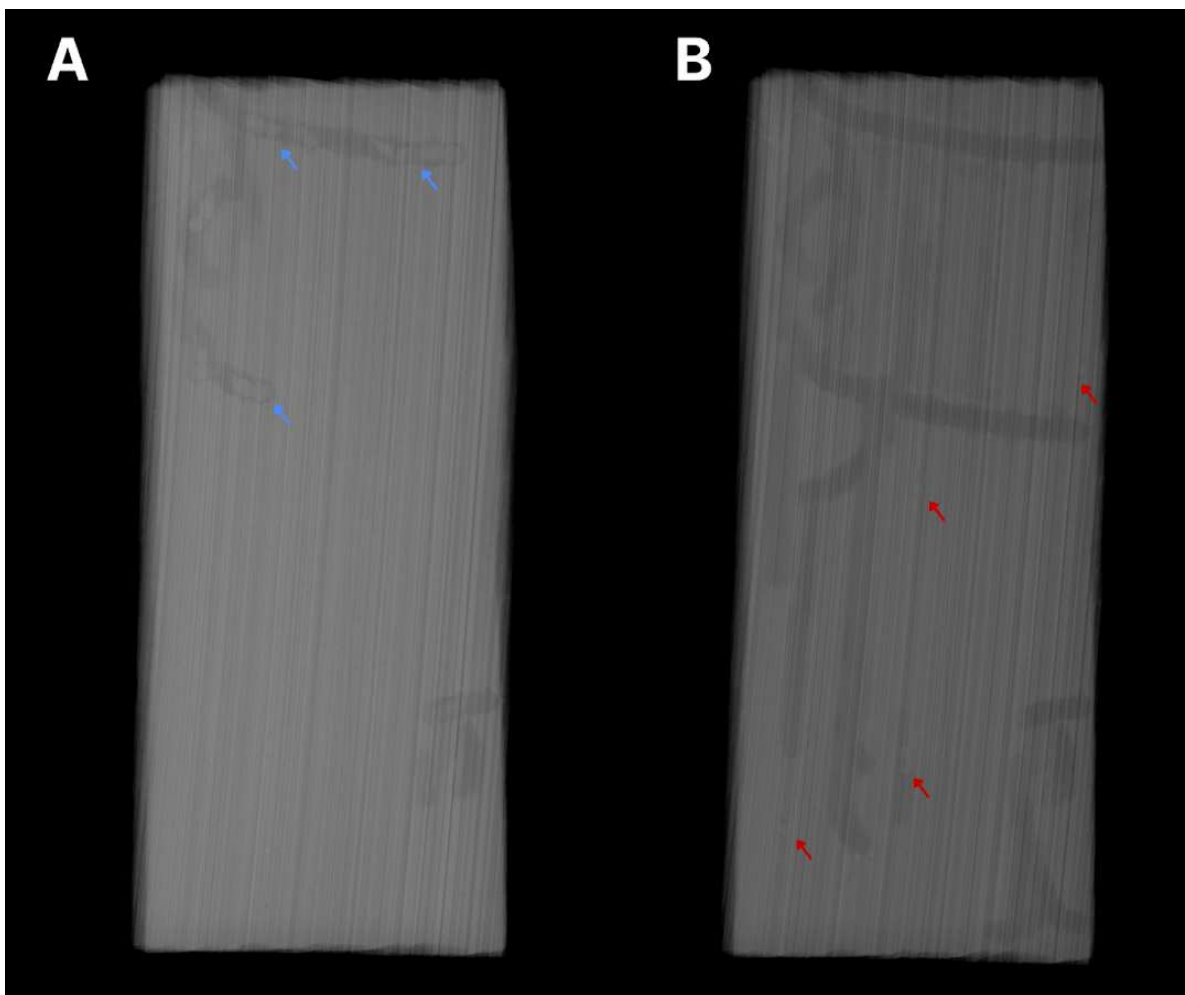
Do ponto de vista físico, as quatro espécies de bambu possuem densidade aparente semelhante, isso implica que elas apresentam massa por unidade de volume equivalente (RUSCH et al., 2020; ABNT, 2022). Ou seja, independentemente da espécie, a quantidade de matéria contida em um mesmo volume de bambu é aproximadamente a mesma. Como os corpos de prova oferecidos aos insetos em todos os bioensaios possuíam as mesmas dimensões, os insetos enfrentaram uma resistência física equivalente ao perfurar qualquer uma das espécies, considerando apenas a densidade.

As espécies de bambu avaliadas apresentaram densidade aparente média entre 0,80 e 0,90 g/cm<sup>3</sup>, valores típicos de bambus de alta densidade (RUSCH et al., 2020). Madeiras mais densas geralmente têm menos poros para absorção de água, enquanto as menos densas e mais porosas tendem a reter mais umidade (GEZICI-KOÇ et al., 2017). Essa relação foi confirmada no ensaio de teor de umidade na base seca, que mostrou semelhança entre as quatro espécies de bambu, todas em equilíbrio higroscópico com o ambiente e abaixo do ponto de saturação das fibras (RUSCH et al., 2020). Embora os colmos de bambu

submetidos aos ensaios físicos e mecânicos tenham apresentado teor de umidade uniforme, entre 13% e 14%, a leve variação observada nos corpos de prova oferecidos aos insetos nos bioensaios (16% a 26%) influenciou a importância dessa variável na Análise de Correlação Canônica.

Era esperado que a atividade dos insetos fosse maior em bambus com maior teor de umidade. Norhisham et al. (2015) demonstraram o impacto da umidade na oviposição da broca-de-bambu, sugerindo que as fêmeas possuem uma higropreferência. Os pesquisadores observaram que, com o aumento da umidade, houve aumento no número total de ovos no período de oviposição. Em contraste, a baixa umidade provoca a desidratação dos ovos, causando o encolhimento do córion e do embrião, o que impede a eclosão das larvas da broca-de-bambu (NORHISHAM et al., 2013; SILVEIRA et al., 2015). Além disso, a umidade tem forte influência nas propriedades físicas e mecânicas dos bambus (RUSCH et al., 2020). A adsorção de água aumenta o peso e volume das fibras até o ponto de saturação. A partir desse ponto, a água absorvida preenche cavidades, como o lúmen celular, aumentando apenas o peso. Isso provoca deformação da parede celular, afetando negativamente a resistência estrutural, durabilidade e tenacidade do material (LIESE; TANG, 2015; NOPENS et al., 2020; RUSCH et al., 2020). Em bambus, o ponto de saturação das fibras varia entre 17 e 25% e é influenciado por suas características químicas (SHARMA, 1988; HAMDAN et al., 2007; RUSCH et al., 2020). Em nosso estudo, como os corpos de prova de *B. vulgaris* oferecidos aos insetos no bioensaio de colonização possuíam o maior teor de umidade dentre todas as espécies, considerando apenas essa variável, o resultado deste bioensaio pode ser atribuído a essa diferença, mesmo que modesta.

Entretanto, do ponto de vista mecânico, *B. vulgaris* também se destaca por apresentar a menor resistência à compressão e um baixo módulo da elasticidade. Watanabe et al. (2020) demonstram que a broca-de-bambu apresenta dois padrões de broqueamento: fêmeas em período de oviposição criam galerias transversais às fibras do bambu (Figura 28 - A), enquanto as larvas em desenvolvimento escavam paralelamente (Figura 28 - B).



**Figura 28** - Adultos da broca-de-bambu (apontados em azul) iniciando o broqueamento para oviposição, transversal às fibras (A) em *Bambusa vulgaris*. Após 30 dias, detecção da atividade das larvas (apontadas em vermelho), paralela às fibras (B).

Fonte: Autor.

Essa diferença nos sentidos de escavação tem implicações na integridade estrutural do bambu, pois cortes transversais são mais prejudiciais à resistência do colmo. Contudo, a atividade das larvas também altera a microestrutura do bambu, impactando a distribuição de tensões durante a compressão. Ao se alimentarem, as larvas criam espaços vazios na parede do colmo, reduzindo sua massa e, conseqüentemente, sua densidade. Verbist et al. (2020) demonstram que o ataque de insetos xilófagos causa degradação severa e reduz a vida útil de estruturas de madeira. A resistência à compressão é especialmente vulnerável no desempenho de telhados, pisos e juntas a longo prazo. A perda de resistência à compressão e do módulo da elasticidade está relacionada à redução da densidade da madeira de *Castanea sativa* Mill, causada pelo ataque de *Anobium punctatum* (Coleoptera: Anobiidae). À medida que o ataque dos insetos deteriorava a madeira, havia uma diminuição significativa na

densidade e, conseqüentemente, no módulo da elasticidade, tornando a madeira menos rígida e mais propensa a se deformar sob carga (VERBIST et al., 2020). Os resultados do presente estudo indicam que, embora *B. vulgaris* tenha apresentado o maior módulo de ruptura dentro das quatro espécies estudadas, sua menor resistência à compressão e baixo módulo da elasticidade a tornam a espécie mais vulnerável aos danos causados pela broca-de-bambu. Madeiras com maior módulo de ruptura oferecem resistência inicial ao ataque de insetos xilófagos devido à sua estrutura densa e robusta. No entanto, com a infestação, a degradação e perda de densidade podem reduzir essa resistência (DIMOU et al., 2015). Assim, a resistência inicial não impede completamente o dano a longo prazo. Embora o módulo de ruptura seja importante, na infestação por broca-de-bambu, ele é superado pela resistência à compressão e o módulo da elasticidade. Portanto, as características mecânicas de *B. vulgaris* e os resultados do bioensaio de colonização indicam que o ataque da broca-de-bambu pode comprometer ainda mais seu desempenho estrutural, especialmente na construção civil quando comparada com outras espécies de bambu mais resistentes.

*Bambusa tuldoides* e *Dendrocalamus strictus* foram as espécies menos preferidas pela broca-de-bambu, apresentando um número inferior de insetos em comparação com as demais espécies nos bioensaios de preferência. Esse resultado pode ser atribuído ao fato de que *B. tuldoides* apresenta maior resistência à compressão, enquanto *D. strictus* possui o maior módulo da elasticidade dentre as quatro espécies de bambu, características que conferem maior resistência ao ataque da praga.

Os resultados do bioensaio de preferência 2 indicam que, durante os sete dias de experimento, a partir de 24 horas, os insetos inicialmente preferiram *D. asper*. Contudo, após 48 horas, essa preferência mudou para a arena com *B. vulgaris*. Embora *D. asper* tenha módulos de ruptura e da elasticidade semelhantes aos de *B. vulgaris*, sua resistência à compressão é significativamente maior. Nossos resultados indicam que essa característica é crucial para resistir ao broqueamento, o que pode explicar o porquê de, apesar de ser a espécie inicialmente preferida, *D. asper* não é a mais adequada para a colonização da broca-de-bambu.

Embora os parâmetros físicos e mecânicos tenham influenciado significativamente a colonização, não descartamos a hipótese de que a preferência inicial da broca-de-bambu por *D. asper* esteja relacionada a suas características químicas, possivelmente devido ao maior teor nutricional. Estudos indicam que a atratividade da broca-de-bambu está associada à

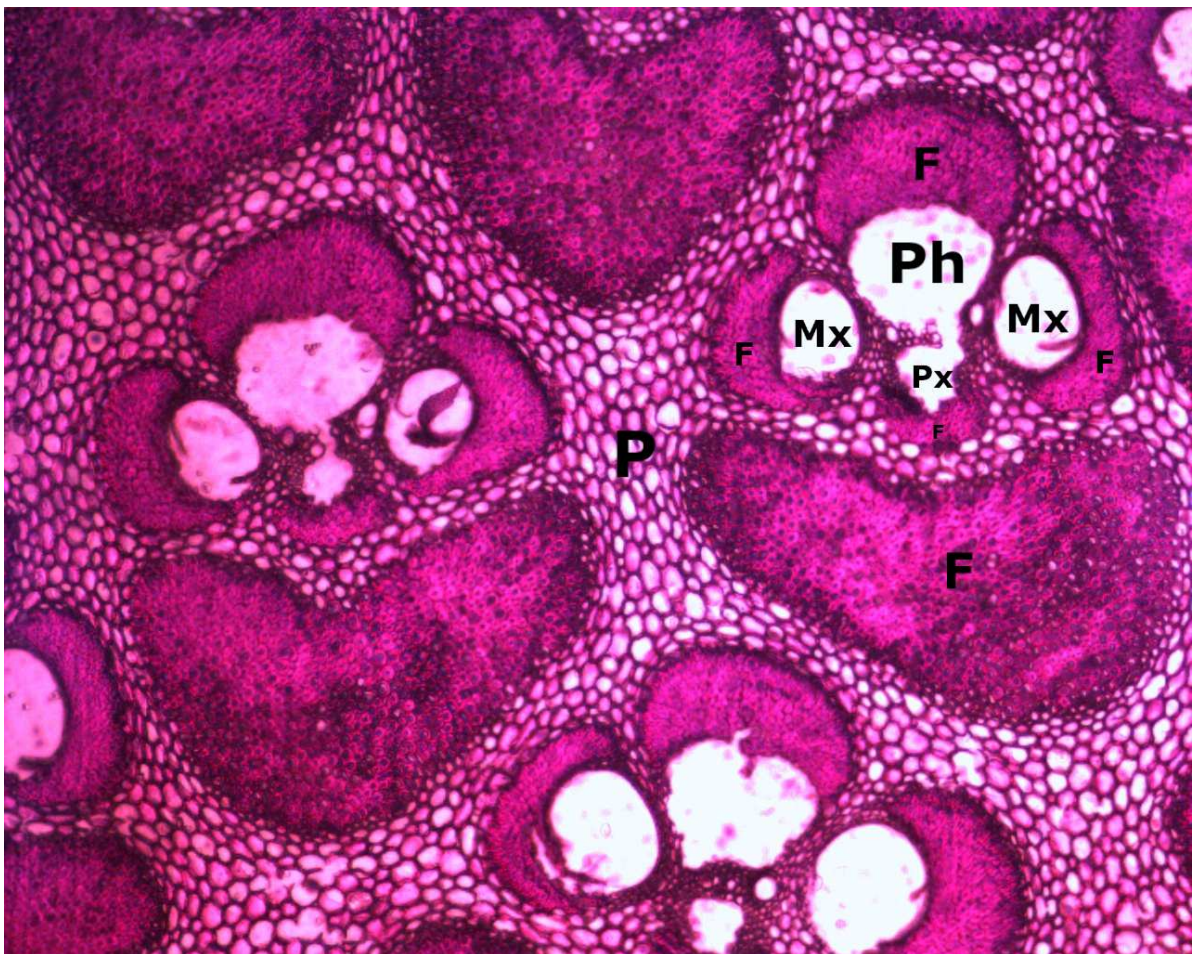
quantidade de amido nas células de parênquima (PLANK, 1951; MATOSKI, 2005; AZZINI et al., 1998). Assim, investigações sobre essa relação, considerando variações de preferência e intensidade de ataque em diferentes partes do colmo, ainda são necessárias. Além disso, como os parâmetros físicos e mecânicos do bambu se correlacionam com as características anatômicas e químicas (LIESE, 1998; LÓPEZ, 2003; RUSCH, 2020), é crucial explorar se há sinergia entre as características físico-mecânicas e químicas ou, caso contrário, identificar qual conjunto de características têm maior influência no comportamento da broca-de-bambu.

Os resultados obtidos em nosso estudo demonstram que, embora *Dendrocalamus asper* tenha sido inicialmente a espécie preferida pela broca-de-bambu, *Bambusa vulgaris* se revelou a mais adequada para a colonização, com maior número de orifícios e sendo o único substrato com galerias no qual os insetos colocaram ovos que se desenvolveram até o estágio de pupa. Observamos menor atividade dos insetos em espécies de bambu com menor teor de umidade, maior resistência à compressão e módulos de ruptura e da elasticidade mais elevados, propriedades essenciais para a resistência à infestação. Assim, este estudo fornece informações aplicáveis na seleção de espécies e genótipos mais resistentes para uso comercial e no melhoramento genético do bambu, visando aumentar sua resistência ao ataque da broca-de-bambu.

## 5. MATERIAL COMPLEMENTAR

Embora este estudo tenha se concentrado em investigar a influência de parâmetros físicos e mecânicos na atividade da broca-de-bambu, essas características estão intimamente relacionadas à morfoanatomia do bambu (LIESE, 1987). O módulo de ruptura e o módulo da elasticidade são fortemente correlacionados com o comprimento das fibras (PEREIRA, 2012). Além disso, a distribuição e a densidade das fibras podem variar ao longo da espessura do colmo do bambu (RUSCH et al., 2020), influenciando o comportamento de broqueamento do inseto conforme o ponto de ataque (WATANABE et al., 2015).

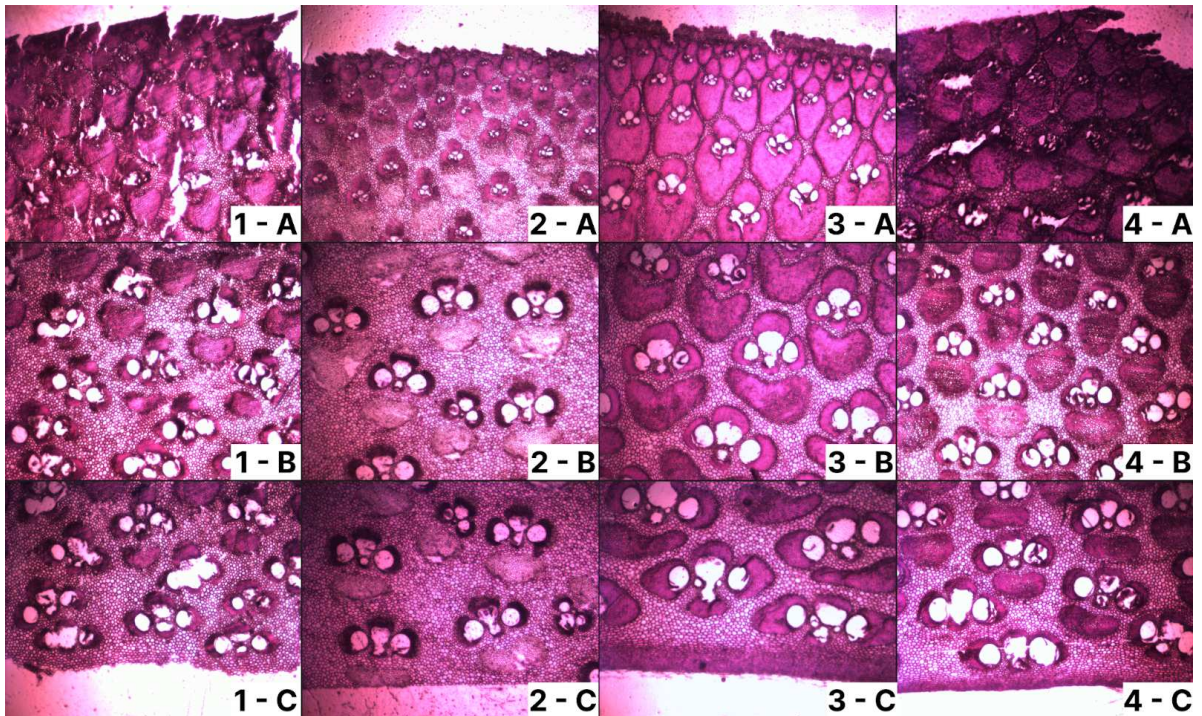
Anatomicamente, os entrenós dos colmos de bambu são compostos principalmente por feixes vasculares circundados por fibras de esclerênquima e envoltos em células de parênquima (LIESE, 1987; RUSCH et al., 2018) (Figura 29).



**Figura 29** - Anatomia de *Dendrocalamus asper*. Floema (Ph), metaxilema (Mx), protoxilema (Px), aglomerados de fibras (F) e tecido parenquimático (P).

Fonte: Autor.

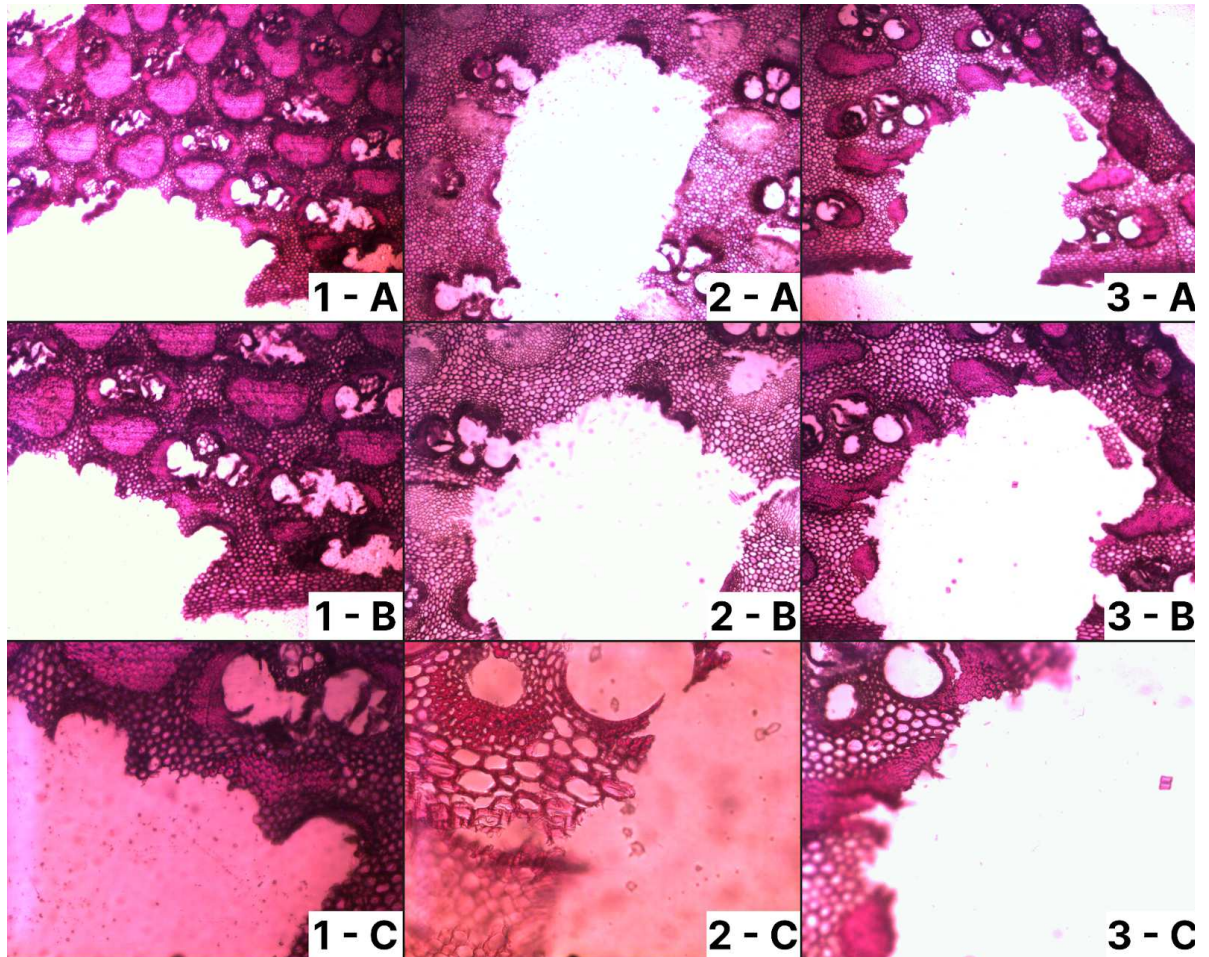
A maior concentração de fibras ocorre na região próxima à casca, proporcionando maior resistência física e estrutural. Na porção mais próxima ao interior do colmo há maior concentração de células de parênquima, conferindo menor resistência (JANSSEN et al., 2000; RUSCH et al., 2020) (Figura 30).



**Figura 30** - Cortes transversais dos feixes fibrovasculares sadios de *Bambusa tuldooides* (1), *Bambusa vulgaris* (2), *Dendrocalamus asper* (3) e *Dendrocalamus strictus* (4) próximos à casca (A), região intermediária (B) e interior do colmo (C).

Fonte: Autor.

Watanabe et al. (2015) demonstraram que, em *Phyllostachys bambusoides*, as fêmeas da broca-de-bambu penetram o bambu perto da camada interna, perfurando os feixes vasculares nessa região e ovipositando nos vasos do metaxilema. Adicionalmente, no presente estudo, confirmamos que esse comportamento também ocorre em *B. tuldooides*, *B. vulgaris* e *D. asper* (Figura 31).



**Figura 31** - Cortes transversais dos feixes fibrovasculares de *Bambusa tuldoidea* (1), *Bambusa vulgaris* (2), *Dendrocalamus asper* (3) e *Dendrocalamus strictus* (4) infestados por broca-de-bambu.

Fonte: Autor.

Como nenhum corpo de prova de *D. strictus* foi infestado, não foi possível obter cortes histológicos dessa espécie sob ataque da broca-de-bambu.

## REFERÊNCIAS

- ABNT. NBR 11941: Madeira – Determinação da densidade básica. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2003.
- ABNT. NBR 16828-2: Estruturas de bambu – Parte 2: Determinação das propriedades físicas e mecânicas do bambu. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2020.
- ABNT. NBR 7190: Projeto de Estruturas de Madeira. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2022.
- ABOOD, F.; NORHISHAM, A. R.; SHAHMAN, M.; ANDY, A. Sexual identification of bamboo borer *Dinoderus minutus* (Fabricius) (Coleoptera: Bostrychidae). 2010.
- AKHTAR, J.; PATOWARY, L. *Bambusa vulgaris*: A comprehensive review of its traditional uses, phytochemicals and pharmacological activities. *Sciences of Phytochemistry*, v. 1, n. 2, p. 11-21, 2022.
- AZZINI, A.; GONDIM-TOMAZ, R. M. A.; ERISMANN, N. M. Desfibramento de cavacos laminados de *Bambusa vulgaris* Schrad, visando à extração de amido. *Bragantia*, Campinas, v. 57, n. 1, p. 41-44, 1998.
- BELTRAME, F. R.; PAPPALARDO JUNIOR, A.; ALONSO LÁZARO, A. Utilização de bambu para equipamentos urbanos: projetos de um ponto de ônibus. *Revista de Ciências da Administração*, v. 1, n. Especial, p. 1-17, 2023.
- CHAOWANA, P.; BARBU, M. C.; FRUHWALD, A. Bamboo: a functionally graded composite material. *Forest Products Journal*, v. 65, n. 3/4, p. 48-53, 2014.
- CHAOWANA, K.; WISADSATORN, S.; CHAOWANA, P. Bamboo as a sustainable building material - culm characteristics and properties. *Sustainability*, v. 13, n. 13, p. 7376, 2021.
- DIMOU, V.; KAZIOLAS, D. N.; ZYGOMALAS, I.; AVTZIS, N. Influence of biotic factors on the mechanical properties of wood, taking into account the time of harvesting. *Wood Material Science & Engineering*, v. 12, n. 3, p. 140-148, 2017.
- EDDE, P. A. A review of the biology and control of *Rhyzopertha dominica* (F.) the lesser grain borer. *Journal of Stored Products Research*, v. 48, p. 1-18, 2012.
- EVENHUIS, N. L. Insect and Spider Collections of the World. Disponível em: <https://hbs.bishopmuseum.org/codens/>. Acesso em: 2 fev. 2025.
- FISHER, W. S. A revision of the North American species of beetles belonging to the family Bostrichidae. *US Government Printing Office*, 1950.
- GARCIA, C. M.; MORRELL, J. J. Development of the powderpost beetle (Coleoptera: Bostrichidae) at constant temperatures. *Environmental Entomology*, v. 38, n. 2, p. 478-483, 2009.
- GEZICI-KOÇ, Ö.; ERICH, S. J.; HUININK, H. P.; VAN DER VEN, L. G.; ADAN, O. C. Bound and free water distribution in wood during water uptake and drying as measured by 1D magnetic resonance imaging. *Cellulose*, v. 24, p. 535-553, 2017.
- GONÇALVES, F. G. Efeito da maré atmosférica na emergência e atividade de voo em *Dinoderus minutus* (Coleoptera: Bostrichidae). Dissertação de Mestrado (Mestrado em Entomologia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2021.
- GOYAL, A. K.; MIDDHA, S. K.; SEN, A. In vitro antioxidative profiling of different fractions of *Dendrocalamus strictus* (Roxb.) Nees leaf extracts. *Free Radicals and Antioxidants*, v. 1, n. 2, p. 42-48, 2011.
- GRECO, T. M.; PINTO, M. M.; TOMBOLATO, A. F. C.; XIA NIANHE, X. N. Diversity of bamboo in Brazil. *Journal of Tropical and Subtropical Botany*, v. 23, n. 1, p. 1-16, 2015.

- HAMDAN, H.; HILL, C. A. S.; ZAIDON, A.; ANWAR, U. M. K.; LATIF, A. M. Equilibrium moisture content and volumetric changes of *Gigantochloa scortechinii*. *Journal Tropical Forest Science*, v. 19, n. 1, p. 18-24, 2007.
- JANSSEN, J. J. A. Designing and building with bamboo. *International Network of Bamboo and Rattan (INBAR)*, Technical Report, 20, Beijing, China, 2000. 211 p.
- LEGALOV, A. A.; HÁVA, J. Diversity of auger beetles (Coleoptera: Bostrichidae) in the mid-Cretaceous forests with description of seven new species. *Diversity*, v. 14, n. 12, p. 1114, 2022.
- LIESE, W. Research on bamboo. *Wood Science and Technology*, v. 21, n. 3, p. 189-209, 1987.
- LIESE, W.; TANG, T. K. H. Properties of the bamboo culm. In: LIESE, W.; KOHL, M. (Ed.). *Tropical forestry, bamboo: the plant and its uses*. Switzerland: Springer International Publishing, 2015. p. 227–256.
- LIESE, W. The anatomy of bamboo culms. *International Network of Bamboo and Rattan (INBAR)*, Technical Report, 18, Beijing, China, 1998. 208 p.
- LIU, L. Y.; SCHÖNITZER, K.; YANG, J. T. A review of the literature on the life history of Bostrichidae. *Mitteilungen der Münchner Entomol. Gesellschaft*, v. 98, p. 91-97, 2008.
- LÓPEZ, O. H. *Bamboo: the gift of the God's*. D'vinni: Bogotá, Colômbia, 2003. 553 p.
- MATOSKI, S. L. S. *Comportamento de Dinoderus minutus Fabricius (1775) (Coleoptera: Bostrichidae) em lâminas torneadas de madeira*. Curitiba, 2005. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná.
- MIRANDA, E. M.; AFONSO, D. G.; PONTES, S. D. A.; SOUZA, J. C. N.; LIMA, D. D. N.; FREITAS JÚNIOR, J. L. Estrutura populacional e o potencial de uso de *Guadua cf. superba* na região do Alto Acre. In: DRUMOND, P. M.; WIEDMAN, G. (Ed.). *Bambus no Brasil: da biologia à tecnologia*. Rio de Janeiro: ICH, 2017. p. 161-178.
- MONTEIRO, M.; GARLET, J.; CARVALHO, C. C.; MARQUES, E. N. Occurrence of *Dinoderus minutus* (Fabricius, 1775) in the Northern State of Mato Grosso, Brazil. *Entomological News*, v. 126, n. 3, p. 237-240, 2016.
- NOPENS, M.; SAZAMA U.; KÖNIG, S.; KASHURO, S.; KRAUSE, A.; FRÖBA, M. Determination of mesopores in the wood cell wall at dry and wet state. *Scientific Reports*, v. 10, n. 1, p. 9543, 2020.
- NORHISHAM, A. R.; FAIZAH, A.; ZAIDON, A. Effects of moisture content on the bamboo borer *Dinoderus minutus*. *Journal of Tropical Forest Science*, p. 334-341, 2015.
- OLIVEIRA, M. F. A. Propriedades físico-mecânicas das espécies de bambu *Phyllostachys aurea* e *Bambusa tuldooides* termorretrificadas. 2012.
- OKAHISA, Y.; OKAHISA, Y.; KOJIRO, K.; KIRYU, T.; OKI, T.; FURUTA, Y.; HONGO, C. Nanostructural changes in bamboo cell walls with aging and their possible effects on mechanical properties. *Journal of Materials Science*, v. 53, p. 3972-3980, 2018.
- PEREIRA, M. A. R. Projeto Bambu: introdução de espécies, manejo, caracterização e aplicações. Tese de Livre-Docência (Design e Construção com Bambu) - Faculdade de Engenharia de Bauru "Julio de Mesquita Filho", Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2012.
- PLANK, H. K.; HANGEMAN, R. H. Starch and other carbohydrates in relation to powder-post beetle harvested bamboo. *Journal of Economic Entomology*, v. 44, n. 1, p. 73-75, 1951.
- PROJETO BAMBU. Disponível em: <https://bambu-unesp-bauru.github.io/projetobambu>. Acesso em: 05 fev. 2025.
- RAINHO, H. L.; SILVA, W. D.; GONÇALVES, F. G.; SAVARIS, M.; BENTO, J. M. S. Hexanal combined

with decanal mediate host location by the bamboo powderpost beetle, *Dinoderus minutus*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, v. 170, n. 9, p. 805-811, 2022.

RODRIGUES, A.; CASQUILHO, M.; OLIVEIRA, H.; BORDADO, J. A statistical analysis of the impact of nematode attack symptomatology on the mechanical behaviour of *Pinus pinaster* Ait. wood. *European Journal of Forest Research*, v. 129, p. 145-153, 2010.

RUSCH, F.; HILLIG, E.; CEOLIN, G. B. Anatomia de hastes adultas de bambu: uma revisão. *Pesquisa Florestal Brasileira*, v. 38, 2018.

RUSCH, F.; HILLIG, É.; TREVISAN, R.; MUSTEFAGA, E. C.; CAMPOS, R. F. Propriedades físicas e mecânicas de hastes adultas de diferentes espécies de bambu: uma revisão. *Brazilian Journal of Development*, v. 6, n. 4, p. 22549-22566, 2020.

SAINT-GERMAIN, M.; DRAPEAU, P.; BUDDLE, C. Host-use patterns of saproxylic phloeophagous and xylophagous Coleoptera adults and larvae along the decay gradient in standing dead black spruce and aspen. *Ecography*, v. 30, p. 737-748, 2007.

SILVA, R. M. O bambu no Brasil e no mundo. 2005. 45 p.

SILVA, R. G. Tratamento do bambu com ácido pirolenhoso contra a deterioração por brocas. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2011.

SHARMA, S. N. Seasoning behavior and related properties of some Indian species of bamboo. *Indian Forest*, v. 114, n. 10, p. 613-621, 1988.

SILVEIRA, E. S. Avaliação do Controle Sustentável do Caruncho *Dinoderus minutus* Fabr. 1775 (Coleoptera: Bostrichidae) em Pós-colheita de Bambu. Tese de Doutorado (Doutorado em Ciências Ambientais e Sustentabilidade Agropecuária) – Universidade Católica Dom Bosco, Campo Grande, 2015.

ULYSHEN, M. D. (Ed.). *Saproxylic insects*. Zoological Monographs, 2018.

VERBIST, M.; BRANCO, J. M.; NUNES, L. Characterization of the mechanical performance in compression perpendicular to the grain of insect-deteriorated timber. *Buildings*, v. 10, n. 1, p. 14, 2020.

WANG, H.; VARMA, R. V.; TIANSEN, X. Insect pests of bamboos in Asia: an illustrated manual. *International Network of Bamboo and Rattan (INBAR) Technical Report*, 13, Beijing, China, 1998.

WATANABE, H.; YANASE, Y.; FUJII, Y. Evaluation of larval growth process and bamboo consumption of the bamboo powder-post beetle *Dinoderus minutus* using X-ray computed tomography. *Journal of Wood Science*, v. 61, p. 171-177, 2015.

WATANABE, H.; YANASE, Y.; FUJII, Y. Nondestructive evaluation of oviposition behavior of the bamboo powderpost beetle, *Dinoderus minutus*, using X-ray computed tomography and acoustic emission. *Journal of Wood Science*, v. 66, p. 1-11, 2020.

YEASMIN, L. ALI, M. N., GANTAIT, S.; CHAKRABORTY, S. Bamboo: an overview on its genetic diversity and characterization. *3 Biotech*, v. 5, p. 1-11, 2015.

## APÊNDICE

**APÊNDICE A** - Médias, desvios padrão e  $n$  amostral para parâmetros físicos e mecânicos de *Bambusa tuldooides*, *Bambusa vulgaris*, *Dendrocalamus asper* e *Dendrocalamus strictus*.  $H$  indica o valor do qui-quadrado do teste de Kruskal-Wallis e  $P$  indica o p-valor (\* indica significância).

	Propriedades Físicas		Propriedades Mecânicas				
	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	Teor de umidade (%)	Compressão (MPa)	Cisalhamento (MPa)	Tração (MPa)	MOR (MPa)	MOE (MPa)
<i>Bambusa tuldooides</i>	0.81 ± 0.02 ( $n = 4$ )	13.63 ± 0.27 ( $n = 4$ )	80.72 ± 1.49 ( $n = 5$ )	11.9 ± 3.40 ( $n = 8$ )	106.69 ± 3.68 ( $n = 4$ )	97.89 ± 3.02 ( $n = 5$ )	2590.29 ± 469.07 ( $n = 5$ )
<i>Bambusa vulgaris</i>	0.87 ± 0.05 ( $n = 4$ )	14.75 ± 2.97 ( $n = 4$ )	31.67 ± 1.73 ( $n = 5$ )	9.35 ± 3.59 ( $n = 8$ )	48.03 ± 2.05 ( $n = 4$ )	172.48 ± 9.00 ( $n = 5$ )	5029.70 ± 536.70 ( $n = 5$ )
<i>Dendrocalamus asper</i>	0.81 ± 0.00 ( $n = 4$ )	14.06 ± 0.29 ( $n = 4$ )	61.96 ± 1.37 ( $n = 5$ )	11.8 ± 0.80 ( $n = 8$ )	123.25 ± 45.43 ( $n = 4$ )	141.02 ± 0.90 ( $n = 5$ )	5605.60 ± 237.65 ( $n = 5$ )
<i>Dendrocalamus strictus</i>	0.89 ± 0.08 ( $n = 4$ )	14.26 ± 0.53 ( $n = 4$ )	54.42 ± 3.19 ( $n = 5$ )	4.35 ± 0.55 ( $n = 8$ )	49.01 ± 3.84 ( $n = 4$ )	156.97 ± 8.28 ( $n = 5$ )	14746.00 ± 2987.07 ( $n = 5$ )
$H$	6.87	4.56	16.89	17.30	11.66	13.00	11.38
$P$	0.08	0.21	< 0.01*	< 0.01*	< 0.01*	< 0.01*	< 0.01*

**APÊNDICE B** - Imagens de raio-x do consumo e evolução das galerias da broca-de-bambu (*Dinoderus minutus*) em *Bambusa vulgaris* ao longo dos 120 dias do bioensaio de colonização.

