



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SUSTENTABILIDADE (PSU)
MESTRADO ACADÊMICO ASSOCIADO
Universidade Estadual de Maringá
Instituto Federal do Paraná

ALESSANDRA DE CASTRO SILVA PEDRANGELO

**COMPÓSITO DE FIBRAS DE BAMBU E PVA_c (ACETATO DE POLIVINILA):
ESTUDO DE VIABILIDADE DE PAINÉIS PARA A CONSTRUÇÃO CIVIL**

ALESSANDRA DE CASTRO SILVA PEDRANGELO

**COMPÓSITO DE FIBRAS DE BAMBU E PVAc (ACETATO DE POLIVINILA):
ESTUDO DE VIABILIDADE DE PAINÉIS PARA A CONSTRUÇÃO CIVIL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Sustentabilidade como parte integrante dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Sustentabilidade.

Orientador: Sérgio Trajano Franco Moreiras

UMUARAMA/PR

2020

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)(Biblioteca Central - UEM, Maringá, PR, Brasil)

P371c	<p>Pedrangelo, Alessandra de Castro Silva Compósito de fibras de bambu e PVAc (Acetato de polivinila) : estudo de viabilidade de painéis para construção civil / Alessandra de Castro Silva Pedrangelo. -- Umuarama, PR, 2020. xv, 90 f. : il. color., figs., tabs.</p> <p>Orientador: Prof. Dr. Sérgio Trajano Franco Moreiras. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Maringá, Centro de Tecnologia, Departamento de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Sustentabilidade, 2020.</p> <p>1. Fibras de bambu - Painéis - Construção civil. 2. PVAc (Acetato de polivinila) - Painéis - Construção civil. 3. Sustentabilidade - Construção civil. I. Moreiras, Sérgio Trajano Franco, orient. II. Universidade Estadual de Maringá. Centro de Tecnologia. Departamento de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Sustentabilidade. III.</p> <p style="text-align: right;">CDD 23.ed.693</p>
-------	--

Elaine Cristina Soares Lira - CRB 9/1202

FOLHA DE APROVAÇÃO

ALESSANDRA DE CASTRO SILVA PEDRÂNGELO

“COMPÓSITO DE FIBRAS DE BAMBU E PVAc (ACETATO DE POLIVINILA): ESTUDO DE VIABILIDADE DE PAINÉIS PARA A CONSTRUÇÃO CIVIL”

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre ao Curso de Pós-Graduação em Sustentabilidade, Mestrado Acadêmico Associado entre a Universidade Estadual de Maringá e Instituto Federal do Paraná, formada pela seguinte Banca Examinadora:



Doutor Sérgio Trajano Franco Moreiras
Presidente da Banca Examinadora (UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ – UEM)



Doutora Stella Alonso Rocha
Avaliadora Interna (INSTITUTO FEDERAL PARANÁ - IFPR)



Doutor Eduvaldo Paulo Sichieri
Avaliador Externo (UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO - USP)

Umuarama, 13 de julho de 2020

Dedico essa Dissertação à minha filha e ao meu marido,
pela paciência e compreensão de que minha ausência,
em muitos momentos especiais de suas vidas, foi necessária
para aprimorar meus conhecimentos, indispensável para auxiliá-los no futuro.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço à minha família pela compreensão e apoio.

Ao Prof. Dr. Sérgio Trajano Franco Moreiras pela orientação e motivação.

Aos Técnicos e colaboradores da UEM – Umuarama: Sidney Coutinho, Genilson, Milene Ribeiro da Silva, Meire Franci Polonio Navachi e Tânia Rizzato

Aos meus amigos Professor Joner e Professora Cristina do Carmo Lucio Berrehil el Kattel pelo apoio e paciência.

Aos professores Juliana Scanavaca, Beatriz Bolagno, Otavio Akira Sakai, Stella Alonso Rocha, Máriam Trier Pereira, Ivã Vinagre, Olindo Savi, João, Vagner, Rafael.

Ao Professor Guilherme pelo apoio e atenção, UEM - Umuarama, supervisor da Bolsa CAPES

Aos Discentes de Engenharia Civil pela colaboração: Bruna, Camila, Diegle e Milene.

Aos Técnicos: Sandra (UFPR - Palotina), Fábio (UEM - Maringá), Isadora Nogueira, Marisa Regina Garcia Duarte Santos (SENAI - Araçongas) e técnicos do COMCAP (UEM – Maringá)

Aos apoiadores e colaboradores: Professor Jaime Gonçalves de Almeida (UnB – Universidade de Brasília), Professor Dr. Antonio Ludovico Beraldo (UNICAMP), Professor Dr. Marco Antonio dos Reis Pereira (UNESP), Professora Martha Lissette Sánchez Cruz (Universidad Militar Nueva Granada (Bogotá), Eng. Frederico Rosalino (Empresa Bioestrutura), Arq. Celina (EBIOBAMBU).

À cara amiga Débora Westphalen secretária do PSU, pela compreensão e paciência. Minha querida apoiadora e amiga Heloísa Helena Paro.

Ao CAPES pelo incentivo e auxílio financeiro.

“O bambu chinês nos ensina que não devemos facilmente desistir de nossos projetos, de nossos sonhos. Especialmente no nosso trabalho, que é sempre um grande projeto em nossas vidas. Tenha sempre dois hábitos: Persistência e Paciência, pois você merece alcançar todos os sonhos! É preciso muita fibra para chegar às alturas e, ao mesmo tempo, muita flexibilidade para se curvar ao chão.” (Stephen Covey)

RESUMO

O crescimento populacional, na atualidade, e, portanto, o aumento do consumo de matérias-primas, são questões preocupantes, pois, com a demanda em pleno crescimento, ocorrerá conseqüentemente à redução da disponibilidade natural como já vem acontecendo com a madeira. Neste contexto, a expectativa de escassez da madeira, direcionam as pesquisas por materiais alternativos e renováveis. Este trabalho teve como objetivo investigar e avaliar a potencialidade do uso das fibras/partículas de bambu para a produção de compósitos alternativos para a construção civil e arquitetura. Foram analisadas as características anatômicas, físicas e químicas das fibras/partículas de bambu de duas espécies (*Bambusa vulgaris* e *Bambusa tuldoides*) e corpos de prova formados pelo compósito de partículas com Pvac (cola branca), foram avaliadas as propriedades física mecânicas: densidade, flexão estática e compressão, de acordo com as normas da ABNT e ANSI. A composição química foi obtida por meio de análises em EDS (Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy), espectroscopia por FTIR (Infra Vermelho com Transformada de Fourier) microscopia Raman. A microestrutura e a interação da fibra com o adesivo foram analisadas por meio de imagens do MEV (Microscópio Eletrônico de Varredura). As imagens demonstraram que para as duas espécies houve boa adesão entre as fibras e o adesivo. Na composição dos corpos-de-prova foi empregado um adesivo à base de acetato de polivinila (PVAc) em proporções de 1:4 para *Bambusa vulgaris* e 1:3,5 para *Bambusa tuldoides* com base no peso seco das fibras/partículas de bambu. Para cada espécie foram confeccionados 12 e 6 corpos-de-prova, respectivamente para compressão e flexão. Os resultados obtidos para o ensaio de compressão demonstraram grandes diferenças se comparadas à compressão normal e paralela as fibras. Porém, os resultados são superiores aos valores apresentados na norma europeia EN 310 (1993). No ensaio de flexão, o trecho elástico é muito grande e se o ensaio for interrompido ainda dentro deste trecho, apesar de haver deformação esta tende a retornar ao estado inicial. Os resultados do módulo de elasticidade e o de ruptura do compósito tiveram bastante proximidade com os parâmetros da norma europeia para ambas as espécies, no entanto para as faixas indicativas da norma brasileira os módulos de ruptura não se enquadraram. Apesar da diversidade, os resultados da presente pesquisa foram satisfatórios e, portanto, indicam potencialidade tecnológica para a produção de painéis compósitos de fibras/partículas de bambu e adesivo PVAc, com aplicabilidade em ambientes internos não estruturais em condições secas, conforme a norma ABNT NBR 14810-2 (2013), com oportunidade para futuras pesquisas.

Palavras-chave: compósitos, fibras vegetais, partículas de bambu.

ABSTRACT

The population growth nowadays, and consequently, the increase of raw materials consumption are worrying issues, because with the soaring of growth, there will be a decrease in the natural availability in the same way as it is happening with wood. In such context, the expectancy of wood exhaustion directs the researches for alternatives and renewable materials. This paper had as objective investigate and evaluate the potential usage of bamboo particles/fibers for the production of alternatives composites used in civil engineering and architecture. The study analyzed Anatomic, physical and chemical characteristics of bamboo fibers/particles belonging to two species (*Bambusa vulgaris* and *Bambusa tuldoidea*) and proof bodies formed by the particle composite with Pvac (regular white school glue), the physical/mechanic properties (density, static flexion and compression) were evaluated according to ABNT (Brazilian norms and technic association) and ANSI. The chemical composition was acquired through analyses in EDS (Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy), spectroscopy using FTIR (Fourier transform infrared spectroscopy) and Raman microscopy. The microstructure and the fiber interaction with the adhesive were analyzed via MEV (Scanning electron microscope). The images showed that both species had a very good bonding between the fibers and the adhesive. In the proof body composition, an adhesive using polyvinyl acetate was employed in the proportions of 1:4 for the *Bambusa vulgaris* and 1:3,5 for the *Bambusa tuldoidea* based on the dry weight of the bamboo fibers/particles. For each species, 12 and 6 specimens were made, respectively for compression and flexion. The results obtained from the compression test showed great differences when compared to normal and parallel compression of fibers. However, the results are higher than the values presented in the European standard EN 310 (1993). In the flexion test, the elastic stretch is very large and if the test is interrupted still within its stretch, despite deformation it tends to return to the initial state. The results of the elasticity modulus and the rupture of the composite were very close to the parameters of the European standard for both species, but for the indicative ranges of the Brazilian standard, the rupture modules did not fit. Despite the diversity, the results of the following research were satisfactory and, therefore, indicate technological potential for the production of composite bamboo fiber/ particle boards and PVAc adhesive, with applicability in non-structural indoor environments in dry conditions, according to the ABNT NBR standard 14810-2 (2013), with an opportunity for future researches.

Keywords: composites, vegetable fibers, bamboo particles.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de localização (assinalado em verde) das espécies de bambu entre os trópicos	19
Figura 2. Anatomia do colmo.....	21
Figura 3.Sistemas de Rizomas: (a) entouceirantes; (b) alastrantes	22
Figura 4. Representantes dos grupos. 9 (a) “entouceirantes” e 9 (b) “alastrantes” ...	23
Figura 5. Broca ou caruncho - (<i>Dinoderus minutus</i>)	24
Figura 6.Corpos de prova de A – tração, B – compressão e C – cisalhamento interlaminar	30
Figura 7. Concentração das fibras do colmo de bambu. (a) Representações laminar; (b) representação axial.....	31
Figura 8. Espécies de bambu: (a) <i>Bambusa Tuldoides</i> ; (b) <i>Bambusa Vulgaris</i>	34
Figura 9.localização do município de Umuarama onde foram realizadas as coletas	35
Figura 10. organograma o processamento do bambu visando obtenção de fibras/partículas para confecção de painéis compósitos.....	36
Figura 11. Máquina trituradora de galhos	36
Figura 12. Separação dos particulados	37
Figura 13. Cavacos de bambu (a); triturador de resíduos orgânicos (b) ; liquidificador (c); fibra de bambu pós moagem em liquidificador	38
Figura 14. Estufa (a); peneira (b) ; partículas de fibra de bambu(c); balança de precisão.....	38
Figura 15. Corpo de prova: (a) compósito moldado; (b) corpo de prova desmoldado	39
Figura 16. Corpos de prova para ensaio de densidade <i>Bambusa vulgaris</i> : (a) ; <i>Bambusa tuldoides</i> (b).....	41
Figura 17.Balança de precisão	41
Figura 18. Corpos de prova submetidos a teste de absorção de água.....	42
Figura 19. Máquina universal para ensaios mecânicos: de flexão (a) ; compressão (b).	43
Figura 20. Corpos de prova ensaio de compressão	44
Figura 21. Corpo de prova ensaio de flexão.....	45
Figura 22. Esquema de ensaio de flexão estática	46
Figura 23. Espectrômetro de Infravermelho (FTIR)	48
Figura 24: Equipamento para análises de espectroscopia Raman modelo Vertex 70v, marca Bruker	49

Figura 25. MEV Quanta 250 FEG.....	49
Figura 26. Microestrutura da fibra Bambusa vulgaris: (a) fratura da fibra ; (b) microfibrila	50
Figura 27. Microestrutura da fibra Bambusa tuldooides: (a) fratura da fibra ; (b) microfibrila	50
Figura 28. Exemplo de gráfico em EDS.....	51
Figura 29. Corpos de prova pós-ensaio de compressão, Bambusa vulgaris (a) e Bambusa tuldooides (b).....	59
Figura 30. (a, b, c, d, e, f, g, h, i, j, k, l): Diagrama compressão versus deformação de um corpo de prova de compósito de fibra de bambu e PVAc.....	60
Figura 31. (a, b, c, d, e, f, g, h, i, j, k, l): Diagrama compressão versus deformação de um corpo de prova de compósito de fibra de bambu e PVAc. Erro! Indicador não definido.	
Figura 32 (a, b, c, d, e, f): Diagrama de flexão versus deformação de corpos de prova de compósito de fibra de bambu e PVAc.....	66
Figura 33. (a, b, c, d, e, f): Diagrama de flexão versus deformação de um corpo de prova de compósito de fibra de bambu e PVAc.....	67
Figura 34. corpos de prova pós-ensaio de flexão: Bambusa vulgaris (a); Bambusa tuldooides (b).....	68
Figura 35.: FTIR das amostras in natura Bambusa vulgaris (a); Bambusa tuldooides (b).	70
Figura 36. Espectroscopia Raman das amostras in natura Bambusa vulgaris (a); Bambusa tuldooides (b).....	71
Figura 37. Espectroscopia FTIR da amostra de PVAc (acetato de polivinila).....	73
Figura 38. MEV da Bambusa vulgaris in natura: (a) microfibrilas grânulos de amido; (b) fratura da microfibrila.....	74
Figura 39. MEV da Bambusa vulgaris com PVAc: (a) e (b) fibras recobertas com PVAc.	75
Figura 40. MEV da Bambusa tuldooides in natura: (a) (b) fratura das microfibrilas.	75
Figura 41. MEV da Bambusa tuldooides com PVAc: (a) fibra fraturada com adesão parcial do PVAc ; (b) fibras recobertas parcialmente com PVAc	76
Figura 42. Elementos inorgânicos detectados em microanálise de EDS: Bambusa tuldooides in natura: (a); Bambusa tuldooides com PVAc (b).....	77
Figura 43. Elementos inorgânicos detectados em microanálise de EDS: Bambusa vulgaris in natura: (a); Bambusa vulgaris com PVAc (b).....	77

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.comparativo adaptado das características da Bambusa vulgaris e Bambusa tuldooides	20
Tabela 2. Comparativo adaptado das características físicas dos colmos de cinco espécies de bambu	28
Tabela 3. Comparativo adaptado da eficiência de resistência à tração e compressão de espécies de bambu	31
Tabela 4. Comparativo adaptado de indicadores de qualidade entre painel de fibra de bambu, coco e sisal com resina de óleo de mamona	32
Tabela 5. Comparativo adaptado de resistência máxima a flexão entre diferentes compósitos de fibras naturais e resina de mamona.....	32
Tabela 6. proporção em massa seca das partículas de bambu e PVAc para formação de compósito	39
Tabela 7. comparação das dimensões dos corpos de prova, entre espécies.....	52
Tabela 8. comparação das dimensões dos corpos de prova, entre espécies.....	53
Tabela 9. Resultados do ensaio de inchamento em espessura (mm)	54
Tabela 10. Valores normativos para ensaio de densidade indicados pelas normas brasileira , americana e inglesa	55
Tabela 11. Resultados finais dos corpos de prova das duas espécies na avaliação de densidade.....	55
Tabela 12. Resultados do ensaio de absorção de água.....	56
Tabela 13. Valores normativos para ensaio mecânico de compressão indicados pela norma europeia	57
Tabela 14. Valores normativos para os ensaio mecânico de flexão indicados pelas normas brasileira, americana e europeia.....	57
Tabela 15. Valores médios do módulo de ruptura (MOR) e módulo de elasticidade (MOE) para o ensaio de compressão dos corpos de prova da espécie Bambusa tuldooides.....	58
Tabela 16. Valores médios do módulo de ruptura (MOR) e módulo de elasticidade (MOE) para o ensaio de compressão dos corpos de prova da espécie Bambusa vulgaris.....	58
Tabela 17. Valores médios do módulo de ruptura (MOR) e módulo de elasticidade (MOE) para o ensaio de flexão dos corpos de prova da espécie Bambusa tuldooides.	64
Tabela 18.Valores médios do módulo de ruptura (MOR) e módulo de elasticidade (MOE) para o ensaio de flexão dos corpos de prova da espécie Bambusa vulgaris.	64

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A	Área.
ATR	Reflexão Total Atenuada (Attenuated Total Reflectance).
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas.
ANSI	American National Standards Institute.
ASTM	American Society for Testing and Materials.
CAM	Centro de Análise Avançada de Materiais.
CME	Centro de Microscopia Eletrônica.
CMI	Centro de Microscopia Eletrônica.
EDS	Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy.
EN	European Standard.
EUA	Estados Unidos da América.
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias.
FAO	Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (Food and Agriculture Organization of the United Nations).
FTIR	Espectroscopia de Infravermelho.
IBÁ	Indústria Brasileira de Árvores.
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis.
IE	Inchamento em Espessura.
INBAR	International Network for Bamboo and Ratam.
IPARDES	Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social.
MEV	Microscopia Eletrônica de Varredura.
MOE	Módulo de Elasticidade.
MOR	Módulo de Ruptura.
NBR	Normas Brasileiras.
OMS	Organização Mundial da Saúde.
ONU	Organização das Nações Unidas.
PVAc	Acetato de Polivinila.
SENAI	Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial.
TAPPI	Technical Association of the Pulp and Paper Industry.
UFPR	Universidade Federal do Paraná.
UEM	Universidade Estadual de Maringá.
WPIF	Wood Panel Industries Federation.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
2 OBJETIVOS	17
Objetivo geral	17
Objetivos específicos	17
3 JUSTIFICATIVA	18
4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
Ocorrência	19
Constituição do bambu	20
Colmos	20
Rizoma	22
Cura e tratamento preservativo dos colmos de bambu	23
Fibras vegetais ou naturais	24
Compósitos de fibras/partículas de bambu	26
Propriedades químicas do bambu	27
Propriedades físicas do bambu e compósitos	28
Propriedades mecânicas do bambu e compósitos	30
Propriedades mecânicas do bambu	30
Propriedades mecânicas dos compósitos	31
5 MATERIAL E MÉTODOS	34
Material	34
Preparação das fibras	35
Caracterização das fibras/partículas e compósito	39
Análise física dos corpos de prova	40
Ensaio mecânicos dos corpos de prova	43
Compressão (MOR)	43
Análises químicas	48
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES	52
Propriedades físicas	53
Ensaio de inchamento em espessura	53
Propriedades mecânicas	57
Ensaio de compressão	58
Ensaio de flexão	64
Caracterização química	68
Espectroscopia por FTIR e Raman	68
Análise por MEV da microestrutura das fibras e adesão das partículas/matriz	73
Análise dos elementos inorgânicos por EDS	76
7 CONCLUSÃO	79
8. RECOMENDAÇÕES PARA FUTUROS TRABALHOS	81
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	82

1 INTRODUÇÃO

Na construção civil, a madeira é um dos insumos mais utilizados, sendo empregada em diversas etapas de uma obra. Seu uso depende de um longo ciclo de cultivo e crescimento inerentes a cada espécie. Porém, há um decréscimo da quantidade de madeira com relação à demanda do setor, causando uma grande pressão na extração de recursos naturais, principalmente de áreas de reserva natural (ROMO *et al.*, 2006).

Neste contexto, é de grande importância a pesquisa de processos produtivos que busquem materiais localmente sustentáveis, de reprodução rápida, com baixos custos operacionais, ampla empregabilidade em diversos setores e finalmente que sejam ecologicamente corretos (VIEIRA *et al.*, 2016).

Segundo Li (2014), os compósitos que combinam fibras vegetais e matrizes poliméricas são uma opção viável para a demanda do mercado mobiliário e de construção, pois o emprego destes “materiais verdes” cobre grande parte das exigências do uso racional dos recursos naturais não renováveis e da energia, como também a redução do lançamento de poluentes no meio ambiente (GHAVAMI, 2005).

As fibras podem ser obtidas de culturas como sisal, coco, cana-de-açúcar e bambu, sendo a última, uma planta de fácil cultivo e com grande variedade de espécies por todo o globo. Dentre outros atrativos, o bambu tem propriedades mecânicas que lhe conferem características multifuncionais, podendo ser utilizados como pontaltes, estruturas de telhados, na fabricação de móveis e de painéis aglomerados de média densidade, como MDF (Medium Density Fiberboard) e o MDP (Medium Density Particleboard), os quais são confeccionados com fibras e partículas respectivamente.

Dentre as plantas lignocelulósicas, o bambu é uma gramínea de constituição análoga à madeira, porém com superiores vantagens quanto ao tempo de cultivo e corte quando comparado com outros arbóreos. (GUIMARÃES *et al.*, 2013). Segundo Mera (2014), o bambu aos três anos está maduro para o corte sendo sua produtividade muito superior quando comparada ao mogno brasileiro ou ao eucalipto que estarão maduros em aproximadamente nove anos.

A potencialidade da cultura do bambu aumenta ao se observar outras características como o sequestro e retenção do CO₂ da atmosfera, o cultivo em terrenos acidentados podendo auxiliar no combate a erosão, sua alta produtividade reprodutiva por meio de brotos em seu rizoma e o rápido crescimento dos colmos sem haver a necessidade de replantio (PEREIRA, 2016).

Atualmente, não há dados confiáveis referentes ao cultivo, produção e processamento do bambu no mundo, pois as informações estão desatualizadas e o último trabalho oficial foi divulgado em 2003 (JAYARAMAN, 2019).

Ao analisar a escassez e desatualização de dados, foi proposto como contribuição para a pesquisa científica, um estudo com objetivo de desenvolver compósitos de partículas de bambu e Acetato de Polivinila (PVAc). Para tanto, foram desenvolvidos corpos de prova e destes foram avaliadas as propriedades físicas, químicas e mecânicas.

2 OBJETIVOS

Objetivo geral

Este trabalho teve como objetivo pesquisar as propriedades anatômicas e a composição química dos bambus das espécies *Bambusa vulgaris* e *Bambusa tuldoides*. Tais características foram determinadas por meio de ensaios em corpos de prova compósitos por adesivo a base de PVAc (Acetato de Polivinila) combinado a partículas de bambu, objetivando posterior formação de compósitos como alternativa sustentável para materiais em obras de arquitetura e construção civil.

Objetivos específicos

- Realizar a caracterização física e química das partículas de bambu;
- Avaliar o dimensionamento das partículas de bambu;
- Realizar a confecção de corpos de prova de compósitos de PVAc e partículas de bambu;
- Realizar ensaios mecânicos de compressão e flexão de corpos de prova para avaliar a resistência e a flexibilidade;
- Comparar a resistência dos corpos de prova testados com parâmetros dos painéis de partículas de madeira convencionais;
- Realizar caracterização química das partículas de bambu por meio de análise de microscopia pelos métodos FTIR, Raman, MEV e EDS;
- Comparar os resultados das análises químicas com as referências bibliográficas atuais;
- Concluir se os resultados do compósito de fibras/partículas e PVAc contemplam os parâmetros requeridos pelas normas ABNT NBR 14.810-2(2018), NBR 7190 (1997), EN 310 (1993) e ANSI A208.1 (1999).

3 JUSTIFICATIVA

De modo geral, o ser humano tem se deparado com grandes problemas relacionados à escassez de recursos naturais como a água potável, madeiras entre outras matérias-primas usadas tanto na rotina diária, quanto em outros setores como, por exemplo, na construção civil.

Neste contexto, é de grande importância a pesquisa de processos produtivos que busquem materiais localmente sustentáveis, de reprodução rápida, com baixos custos operacionais, ampla empregabilidade em diversos setores e finalmente que sejam ambientalmente corretos (VIEIRA *et al.*, 2016).

Por exemplo, uma solução alternativa para substituição da madeira são as plantas lignocelulósicas, que são muito pesquisadas internacionalmente para usos similares aos da madeira.

Dentre as plantas lignocelulósicas, o bambu é uma das mais pesquisadas na Ásia, por ser uma gramínea de constituição comparável à madeira, porém com superiores vantagens quanto ao tempo de cultivo e corte quando comparado com outros arbóreos (GUIMARÃES *et al.*, 2013).

A potencialidade da cultura do bambu aumenta ao se constatar outras características como o sequestro e retenção do CO₂ da atmosfera, o cultivo em terrenos acidentados podendo auxiliar no combate a erosão, sua alta produtividade reprodutiva por meio de brotos em seu rizoma e o rápido crescimento dos colmos sem haver a necessidade de replantio (PEREIRA *et al.*, 2016).

Desta maneira, a presente pesquisa, teve como foco principal a caracterização de partículas de bambu e seu compósito com uma matriz adesiva, como substituto de outras fontes vegetais, visando obter uma alternativa como material para arquitetura e construção civil com a finalidade de garantir para este campo um futuro mais sustentável.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Ocorrência

De acordo com a Jayaraman (2019), existem mais de 1600 espécies de bambu distribuídas entre trópicos como mostra a Figura 1.

Figura 1. Mapa de localização (assinalado em verde) das espécies de bambu entre os trópicos.



Fonte: adaptado de LÓPEZ, 2003.

Segundo Maciel (2016), atualmente no Brasil, existem 141 espécies de bambus lenhosos catalogadas. É o país com a maior diversidade de espécies endêmicas da América Latina. Os estados com maior variedade são: Paraná, São Paulo, Minas Gerais e Bahia. Porém, o maior em área de reserva de bambus nativos é o Acre. De acordo com a Associação Brasileira do Bambu (2015), as áreas cultivadas e de floresta natural (Amazônia legal) são de 50 mil hectares e 180 mil km² respectivamente.

Segundo Jayaraman (2019), a Organização Internacional do Bambu e Rattan (INBAR) indicam 19 espécies de bambu que possuem potencialidade produtiva comercial. Dentre estas foram escolhidas para o presente estudo as espécies *Bambusa vulgaris* e *Bambusa tuldoides* por serem de acordo com Guerra *et al.* (2017) espécies de excelente adaptação a diversos climas e tipos de solo presentes em território nacional.

Na Tabela 1, foram demonstradas algumas características dos bambus selecionados.

Tabela 1. Comparativo adaptado das características da *Bambusa vulgaris* e *Bambusa tuldooides*.

CARACTERÍSTICAS	ESPÉCIES	
	<i>Bambusa vulgaris</i>	<i>Bambusa tuldooides</i>
Grupo	Entouceirantes	Entouceirantes
Cor	Verde	Verde escura
Altura média	20 m	12 m
Origem	Ásia	China
Usos tradicionais	Andaime, móveis e artesanato	Andaime, quebra-vento e cercas vivas
Usos potenciais	Reabilitação de solos degradados	Reabilitação de solos degradados

Fonte: INBAR (2017)

Constituição do bambu

Bambu faz parte da família das gramíneas (Poaceae ou Gramineae), subfamília Bambuseae e tribo lenhosa e herbácea (FILGUEIRAS *et al.*, 2013). O bambu é formado por uma parte aérea e outra subterrânea, colmo e rizoma respectivamente.

Segundo Pereira (2016) de modo geral, os bambus têm sua reprodução por propagação vegetativa ou assexuada, utilizando-se para isso seus colmos e rizomas. Para obtenção da muda, há diversos métodos que dependerão basicamente de cada espécie.

Colmos

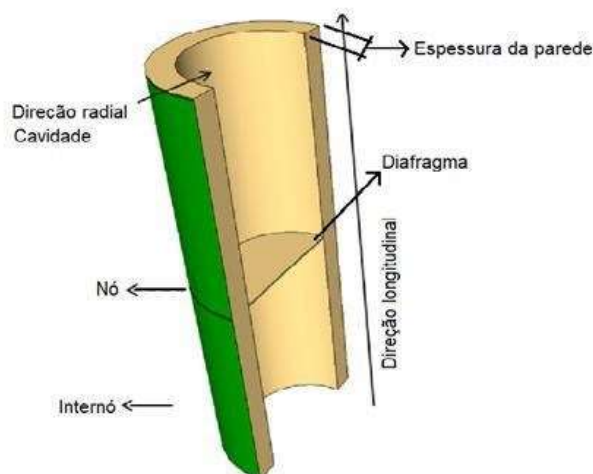
O caule dos bambus é constituído por parte aérea, ou seja, parte superior ao solo, sendo, portanto, a parte perceptível da planta denominada colmo. Esta se caracteriza por um tubo cilíndrico e oco, tendo grande diversidade de formas podendo ser arqueados, semi arqueados ou eretos (LIESE, 2015).

De acordo com Filgueiras (2017), a cor e textura da superfície externa, a espessura das paredes e os padrões de ramificação são características variáveis dos colmos, sendo particularidades que podem ser utilizadas para a distinção e reconhecimento das espécies.

Cada espécie de bambu tem suas características singulares que são determinadas por fatores relativos ao meio ao qual a planta está inserida, porém, de

maneira generalizada, há propriedades anatômicas que são comuns a todas as espécies conforme Huang (2015) demonstrou em desenho esquemático (Figura 2).

Figura 2. Anatomia do colmo



Fonte: Adaptado de HUANG, 2015.

Huang (2015) cita que o colmo do bambu é oco na maioria das espécies, sendo esses espaços denominados cavidades, as quais são separadas internamente por diafragmas que surgem externamente formando nós. A porção externa situada entre dois nós e a espessura do colmo são denominados internó e parede respectivamente.

Os colmos dos bambus brotam a partir de gemas localizadas em rizomas subterrâneos. O corte para sua coleta é executado antes do último internó sem risco de matar a vegetação, portanto não necessitando de replantio por pelo menos 30 anos (PEREIRA, 2016).

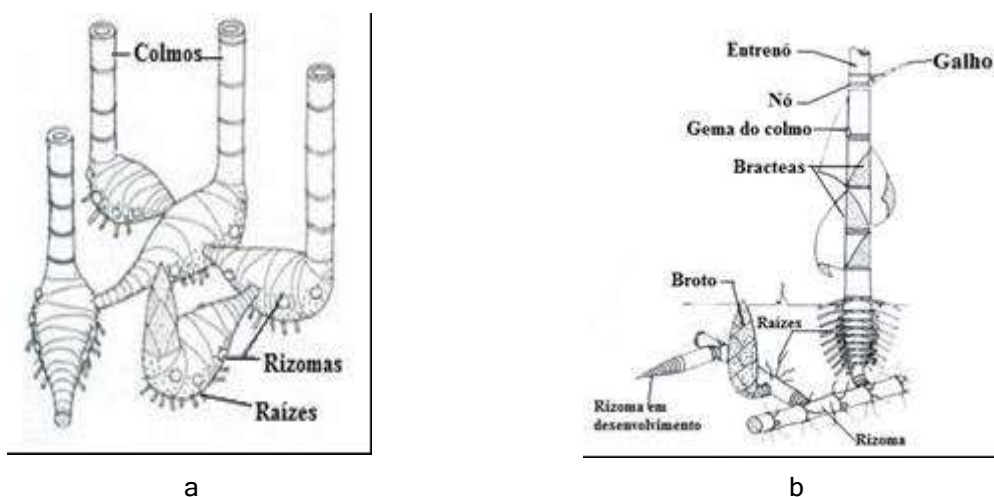
O crescimento do bambu é mais rápido que qualquer outra vegetação arbórea, precisando de apenas seis meses para adquirir sua altura final e pouco mais de dois anos para sua colheita (GOYAL, 2013).

Rizoma

O rizoma é a parte subterrânea do bambu responsável tanto pela propagação quanto pelo armazenamento de nutrientes. Cada rizoma em sua extensão possui várias gemas que darão origem a novos rizomas e em cada extremo surgirá um novo caule aéreo ou colmo (PEREIRA, 2016).

Há diversas características que distinguem as espécies de bambus, uma delas é quanto ao sistema de rizoma que, segundo Liese (2015) e Beraldo (2019), são dois grupos distintos: os “entouceirantes” ou “bambus de moita”, sendo uma touceira ou moita constituída de diversos indivíduos com variadas idades que possuem rizomas curtos e de crescimento limitado; e os “alastrantes” ou “bambus invasores”, que proliferam com facilidade cobrindo rapidamente grandes áreas (Figuras 3a e 3b). As raízes do bambu são estruturas subterrâneas que partem dos rizomas. São responsáveis pela ancoragem da planta, captação de nutrientes e água do solo. Por se tratar de uma monocotiledônea, sua raiz é fasciculada não possuindo, portanto, raiz principal (PEREIRA, 2016).

Figura 3. Sistemas de Rizomas: (a) entouceirantes; (b) alastrantes.



Fonte: Adaptado de LÓPEZ, 2003.

Conforme Salgado (1992), o bambu alastrante pode ser utilizado em terrenos que sofreram processos de erosão e em encostas, pois seus rizomas são compridos e de crescimento ilimitado, necessitando assim que no espaço de cultivo se tenham barreiras físicas para contenção de alastramento descontrolado.

Os bambus de moita formam verdadeiros maciços derivados de rizomas curtos e interligados, enquanto os alastrantes ligam-se a rizomas longos onde seus colmos tem o crescimento individual e ficam mais distantes uns dos outros como mostra a Figuras 4 (a; b).

Figura 4. Representantes dos grupos. (a) “entouceirantes” e (b) “alastrantes”.



A

b

Fonte: autor, 2018.

Cura e tratamento preservativo dos colmos de bambu

Pereira (2016) elenca algumas desvantagens no cultivo do bambu, como a hidrofília e a presença de amido, pois podem propiciar o ataque de insetos e micro-organismos que degradarão a estrutura desta planta (AZZINI, 2001; MATOSKI, 2005).

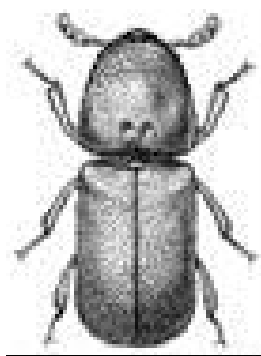
A estação do ano mais apropriada para o corte do bambu é o inverno, preferencialmente nas primeiras horas da manhã onde a circulação de seiva está diminuída, portanto, menos atrativo ao ataque de insetos (VAN LENGEN, 1996; PEREIRA *apud* LIESE, 2016).

Após a colheita, cada colmo cortado deve permanecer no local do bosque de bambu ainda em posição vertical apoiado em uma pedra durante 30 dias com o objetivo do escoamento da água e seiva. Conforme Vasconcellos (2004), o período da secagem do bambu é denominado cura.

Azzini (2000) sugere tratamentos pós-colheita como maneira de prevenção ao ataque de insetos (Figura 5) e micro-organismos. Segundo o autor, há métodos tradicionais e químicos. Os tradicionais dividem-se em maturação no local da colheita, imersão e por meio de fumaça e fogo. Os métodos químicos podem ser oleosos,

oleossolúveis, hidrossolúveis, imersão em sais e substituição da seiva por sais (PEREIRA, 2016).

Figura 5. Broca ou caruncho - (*Dinoderus minutus*).



Fonte: Bousquet, 1990.

Van Lengen (1996) descreve duas outras maneiras de tratamentos: o primeiro superficial, onde se aplica as camadas do preservativo como se fosse uma pintura, podendo ser utilizado o óleo de linhaça, cera de abelha e nata de cal; o segundo é de imersão dos colmos do bambu por 40 horas em bórax, creosote ou esterco, todos diluídos em água.

Quanto ao ataque de fungos e insetos, Tiburtino (2015) menciona alguns tipos de tratamentos preservativos, pois existem diversas soluções inseticidas e fungicidas, com graus de toxicidade que variam desde inofensivas ao meio ambiente até os muito nocivos. Os tratamentos para o bambu são diversos e a escolha ocorre de acordo com a finalidade, a espécie e o material disponível na região (PEREIRA, 2016).

Fibras vegetais ou naturais

De acordo com Fang (2018), fibras vegetais podem ser consideradas lignocelulósicas quando tem em sua composição química celulose, hemicelulose e lignina. A lignina e a hemicelulose promovem a união entre as microfibras, porém a proporção de cada um desses componentes depende da espécie, além da influência do ambiente externo como clima e solo.

Segundo Thompson (2015), o uso das fibras vegetais como material alternativo em detrimento de outros materiais convencionais pode ser positivo para o meio ambiente por serem de rápida renovação e boa resistência mecânica.

Em se tratando do bambu, podemos tomar como referência o formato da cadeia produtiva dos países asiáticos, onde há uma maior tradição no uso dessa matéria prima, com cerca de quatro mil diferentes usos nas áreas de construção, agricultura, artesanato, utensílios domésticos, cultura, artes e atividades diárias.

O colmo do bambu, de maneira geral, pode substituir matérias-primas como a madeira do eucalipto e pinus, podendo ser utilizado de três maneiras básicas: colmo inteiro, ripas e fibras/partículas, que podem ser empregadas na confecção de painéis, forros, divisórias e mobiliário. (PEREIRA, 2016).

A fibra/partículas de bambu, denominado por Silva (2003) como polpa celulósica, é uma alternativa empregada no reforço de matrizes principalmente na construção civil, pois tem baixo custo de produção e se apresenta em abundância na natureza.

Para obtenção da polpa celulósica, é utilizado o processo de polpação, que consiste na eliminação parcial da lignina e demais componentes da fibra vegetal inclusive reduzindo a quantidade de amido no processo (AZZINI, 2001).

Alguns métodos para a polpação são os mesmos utilizados na madeira para a retirada da celulose na fabricação de papel. Um dos métodos mais antigos é o processo Kraft, também denominada polpação química ou álcali, e consiste no processamento da fibra vegetal com o uso do hidróxido de sódio (NaOH), como descrito por Bileski (2014).

De acordo com Azzini (1998), um colmo de *Bambusa vulgaris*, possui 65 g de amido por quilo de fibra. Para conferir as fibras maior tenacidade e menos ataque de insetos e fungos, foi desenvolvido método para retirada parcial de amido e lignina.

Esse procedimento consiste no processamento da fibra com água destilada em liquidificador caseiro, separando-se a fração fibrosa da líquida por meio de peneiras para, em seguida, as fibras serem submetidas à secagem a temperatura natural ou em estufa para posteriormente serem inseridas em compósitos.

Outro método é a polpação é o organossolve ou também conhecida como extração de lignina etanol-água. Correia (2015) denomina este método como “processo químico limpo”, pois são utilizados solventes orgânicos reutilizáveis e de descarte não agressivo ao meio ambiente. O método consiste no cozimento da fibra de bambu em uma mistura de água e álcool (CORREIA, 2015; SANTOS; 2015).

Compósitos de fibras/partículas de bambu

A American Society for Testing and Materials (ASTM D3878-07) define compósito como sendo *um composto formado pela união de dois ou mais materiais, com o objetivo de se obter um material com propriedades aperfeiçoadas com relação aos componentes individuais*. Ale, aqui acho que precisa ver norma da ABNT (se não me engano não precisa ser itálico, mas colocar aspas e inserir a página)

Há compósitos tipicamente utilizados na construção civil, que tem suas matrizes de constituição quebradiça como, por exemplo, pastas, argamassas e concretos, que, ao serem associados às fibras naturais, transformam-se em materiais com maior flexibilidade e durabilidade (GUIMARÃES, 2013).

Também, para construção civil, há compósitos para a fabricação de chapas para forros e divisórios que utilizam materiais fibrosos derivados da madeira e resinas. A resina mais usada nesses processos é a ureia-formol, material de origem petroquímica (LOPEZ, 2003). Os compósitos fabricados com esta resina podem ser prensados tanto em temperatura ambiente quanto a quente que segundo López (2003), gera painéis com maior resistência a insetos.

Apesar de ser uma resina amplamente utilizada na confecção de painéis, Belini (2015) sinaliza que a ureia-formol libera formaldeído, que é um produto potencialmente cancerígeno de acordo com a Organização Mundial da Saúde/OMS.

Moizés (2007) e Padovan (2010) referem-se em seus trabalhos ao uso da ureia-formol na fabricação de painéis produzidos de maneira similar ao processo usado com painéis de madeira. Nestes, o colmo de bambu é moído, passando por secagem para em seguida ser misturado em resina na proporção de 10% da massa de fibras e em seguida ser disposto em forma para prensagem.

Segundo Rivero (2003), desde a década de 1970 com crise do petróleo, há pesquisas por materiais adesivos alternativos que não sejam derivados de petróleo ou que sejam menos agressivos ao meio ambiente.

Cao (2008) relatou o uso de adesivos biodegradáveis para a confecção de painéis. Em sua pesquisa, o autor expõe o uso de duas resinas uma de álcool polivinílico e outra a base de amido de milho. Os painéis foram fabricados com uma fração de volume de fibra seca de 70%. Neste estudo, foram avaliadas as propriedades mecânicas de compósitos verdes e os resultados foram promissores,

pois a média da resistência à tração foi superior a de outros compósitos onde foram usadas resinas não orgânicas.

Na Colômbia, há diversas pesquisas com resina poliuretana de óleo de mamona, como relata Sánchez (2017), onde foi utilizada a fibra de bambu em painéis aglomerados. O volume de fibra de bambu foi de 50% a 70% em massa seca, para painéis de 7 a 10 mm de espessura e uma proporção de 1:1,5 de resina bi componente.

Nasser (2016) relatou em seu estudo o uso de fibras de bambu combinadas com casca de amendoim e resina de mamona a 12% com relação de massa seca. Foram gerados painéis para serem utilizados em diversas áreas da arquitetura e construção civil.

Outro material que pode ser utilizado na fabricação de painéis e chapas é o acetato polivinílico (PVAc) ou “cola branca” como é comercialmente conhecido. Segundo Paes (2009), a cola branca é o adesivo aplicado em colagens na indústria moveleira de mais ampla utilização. Empregado na confecção de painéis, laminados de plástico e de madeira e sob a vantagem de ter baixo custo. Outras vantagens no uso do PVAc é a facilidade de manuseio, a baixa toxicidade, sendo também inodoros e de rápida secagem.

Propriedades químicas do bambu

Os bambus apresentam em sua constituição tecido parenquimatoso, cujas células possuem internamente amido como reserva energética. Há também a presença de elementos inorgânicos como celulose, hemicelulose, sílica e lignina responsável pela rigidez e redução da permeabilidade da parede celular, podendo influenciar nos resultados das propriedades mecânicas e físicas dos bambus (LI, 2004; FARHAT, 2010).

De acordo com a literatura internacional (LIEW, 2015; SYAMSU, 2019), as análises elementares revelaram que os elementos químicos mais importantes observados em materiais lignocelulósicos como o bambu são os grupos funcionais O-H que indicam a presença de polissacarídeos, C-H de polissacarídeos, de anéis aromáticos que sugerem a presença de lignina, C-O álcoois primários na presença de celulose e O-H na presença de hemicelulose.

Propriedades físicas do bambu e compósitos

Segundo com Barbosa (2005), as propriedades físicas de maior importância para a empregabilidade do bambu na construção civil são a densidade, a capacidade de absorção de água e as variações dimensionais. Segundo Spolidoro *apud* Liese (2008), o bambu *in natura* tem grande variação na densidade, aumentando da base para o topo do colmo. Essa variação acontece devido às diferenças estruturais, da quantidade de extrativos e pela composição química de cada espécie vegetal (LIESE, 1998; SÁNCHEZ, 2002).

De acordo com Beraldo (2004), a absorção de água do bambu, é uma condição que se altera conforme a estação do ano e a idade, decrescendo no sentido longitudinal em bambus maduros e sendo mais constante em bambus mais jovens (LOPEZ, 2003). Estas diferenças na absorção de água provocam variações dimensionais no sentido do diâmetro do colmo, sendo maior a dilatação e contração em colmos jovens segundo Filgueiras (2017).

As variações nas dimensões do bambu aparecem no comprimento do colmo, no diâmetro externo e na espessura da parede, como comprovou Ghavami (2003) ao examinar as propriedades físicas de seis espécies de bambu. Inicialmente, foram medidos os comprimentos de cada internó, iniciando do sentido da base para o topo. Para cada internó, foi efetuada também a medição do diâmetro externo com o auxílio do paquímetro. Para a medição da espessura da parede, foram efetuados três furos em cada internó e utilizada ferramenta desenvolvida pelos autores. De cada medição foram retirados valores gerando as seguintes médias demonstradas na Tabela 2.

Características físicas	<i>Dendrocalamus giganteus</i>	<i>Guadua angustifolia</i> SP	<i>Guadua tagoara</i> RJ	<i>Matake</i>	<i>Mosso</i>
Comp. total (m)	18,85	15,55	15,23 - 20,91	20,45	15,68
Internodal (mm)	392,68	229,80	321,67-346,09	335,30	290,43
Diâmetro externo (mm)	79,87	79,87	83,70 - 90,37	70,22	78,63
Espessura da parede (mm)	7,97	10,8	12,26 - 14,74	8,93	11,17

Fonte: Ghavami, 2003.

De acordo com os valores integrais descritos no estudo de Ghavami (2003), foi concluído que tanto o comprimento internodal quanto a espessura da parede do colmo variam da base para o topo. Há variações físicas entre espécies e também entre exemplares da mesma espécie cultivados em lugares diferentes. Isto comprova que o tipo de solo, clima e idade são fatores que influenciam as características físicas do bambu (LIMA, 2013).

Morais (2018) e Ghavami (2003) concluíram que a absorção de umidade e consequentemente o inchamento da fibra são características bastante importantes do bambu que devem ser consideradas ao se inserir a fibra em compósitos. Estas características podem interferir nas propriedades mecânicas dos compósitos.

Em ensaio de inchamento de espessura, foi observado que painéis aglomerados com inserção de fibras de bambu chegam a 29,85%, atendendo assim a norma ANSI 208.1 (1987), que prevê até 35% de inchamento em 24h. Porém, a absorção pela massa específica demonstrou um desempenho muito próximo do teste feito com *Pinus radiata*.

Nasser (2016) descreveu, em seu estudo, os ensaios de propriedades físicas em painéis compostos de fibra de bambu, casca de amendoim e resina de óleo de mamona. Foram utilizados cerca de 1.300 g de fibra de bambu e casca de amendoim e 12% de adesivo, para uma densidade alvo de 900 kg/m³. Os testes de densidade resultaram muito próximos ao tolerado pela norma ABNT NBR 14810-2 (2013), de 917,20 kg/m³. A absorção de água em 24h foi de 7,41% compatível com o estudo de outros pesquisadores como Araújo (2003).

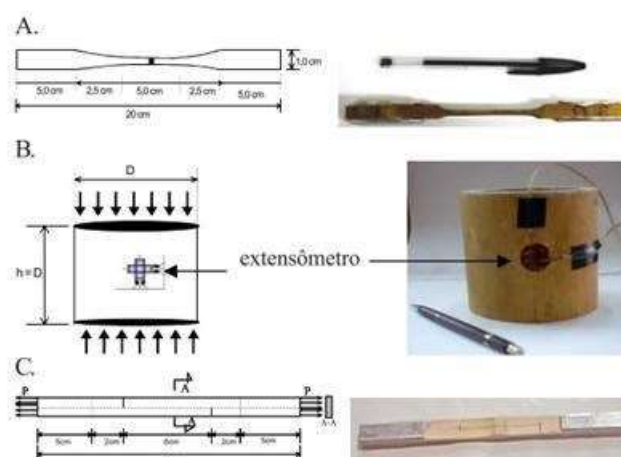
Propriedades mecânicas do bambu e compósitos

A aplicação do bambu na construção civil faz parte de diversas pesquisas internacionais, sendo utilizado tanto como estrutura principal (Índia e China), na confecção de pisos e na forma de fibras inseridas como reforço em compósitos de concreto e polimérico (PEREIRA, 1999).

Propriedades mecânicas do bambu

Para a determinação das características mecânicas dos colmos, Ghavami *et al* (2005) executaram ensaios de resistência à tração, compressão e cisalhamento interlaminar em bambu da espécie *Guadua angustifolia*, em corpos de prova sem nó e com nó, como mostrado pela Figura 6.

Figura 6. Corpos de prova de A - tração, B - compressão e C - cisalhamento interlaminar.



Fonte: Ghavami, 2005.

Ao serem determinados os resultados dos ensaios mecânicos para os colmos de bambu, os autores concluíram que a resistência tem uma grande variação ao longo do colmo sendo maior nos esforços de tração que de compressão. Foi constatado que as variações acontecem também entre espécies.

Carbonari *et al.* (2017), em seu estudo comparativo com 4 espécies de bambus, relatou que, apesar de existirem diferentes resultados, a resistência à tração

(Tabela 3) à compressão são satisfatórias e o módulo de elasticidade à flexão obtido para o bambu foi de 22 GPa.

Tabela 3. Comparativo adaptado da eficiência de resistência à tração e compressão de espécies de bambu.

MATERIAL	TRAÇÃO (MPa)	COMPRESSÃO (MPa)
<i>Dendrocalamus giganteus</i>	119	46,7
<i>Bambusa oldhamii</i>	106	70,4
<i>Bambusa tulda</i>	125	74
<i>Bambusa nutans</i>	102	47,5

Fonte: Carbonari et al. (2017).

Carbonari *et al.* (2017) concluiu que a variação das resistências mecânicas entre as espécies ocorre em função da disposição das fibras na microestrutura da parede do bambu. As fibras têm sua concentração aumentada à medida que se posicionam mais próximas da parte externa, como mostra a Figura 7, sendo esta característica que promove ao bambu a resistência necessária às cargas do vento (LIESE, 2015; GHAVAMI, 2003; GHAVAMI, 2005).

Figura 7. Concentração das fibras do colmo de bambu. (a) Representações laminar; (b) representação axial



Fonte: Rusch, 2018.

Propriedades mecânicas dos compósitos

Além dos ensaios no bambu *in natura*, houve pesquisas com as fibras/partículas processadas para inserção em compósitos, por ser um material que combina flexibilidade, resistência e leveza. De acordo com Kercher (2013), bambu é a planta que possui o maior volume de fibras em sua constituição, sendo considerado

como o “aço verde”, tornando, portanto, seu emprego mais atrativo em na arquitetura e construção civil, porém, ainda necessitando de mais pesquisas que relacionem os diferentes tipos de resina ou adesivos com as fibras naturais em compósitos.

A Tabela 4 compara os resultados de estudos de compósitos de fibra/partículas de bambu e de outras fibras com adesivo poliuretano a base de óleo de mamona. A fibra de bambu com resina em dois teores (10% e 15%) geraram chapas prensadas as quais tiveram suas propriedades físicas e mecânicas investigadas. Os autores concluíram que essas propriedades não se alteraram com relação aos diferentes teores do adesivo (BERALDO, 2010).

Tabela 4. Comparativo adaptado de indicadores de qualidade entre painel de fibra de bambu, coco e sisal com resina de óleo de mamona.

INDICADOR	Bambu	Sisal	Coco
Tração (MPa)	10,85	38,4	21
Flexão (MPa)	8,7	1,9	1,6

Fonte: Silva (2003); Beraldo (2010).

Silva (2003) também relatou pesquisa com a mesma matriz polimérica (resina), porém com diferentes fibras naturais como o sisal e coco. Foram confeccionadas chapas na proporção de 1:1 de resina poliuretana de mamona e massa seca de fibras respectivamente.

Sánchez (2017) obteve outros resultados relativos à resistência a flexão quando comparou painéis de bambu com painéis composto com bagaço de cana e de coco, como demonstra a Tabela 5.

Tabela 5. Comparativo adaptado de resistência máxima a flexão entre diferentes compósitos de fibras naturais e resina de mamona.

INDICADOR	BAMBU	BAGAÇO DE CANA	COCO
FLEXÃO (MPa)	25,6	22,6	17,92

Fonte: Sánchez, 2017.

Por meio dos resultados de seu trabalho, Sánchez (2017) indicou a viabilidade do uso de fibras vegetais na composição de painéis para usos não estruturais, no entanto a análise da pesquisadora demonstra a necessidade de aprofundamento na pesquisa afirmando que “[...] a dosagem dos materiais constituintes pode ter efeitos sobre o desempenho mecânico e durabilidade do produto final.”

5 MATERIAL E MÉTODOS

Houve uma modelagem experimental dos corpos de prova anterior às etapas abaixo nomeadas, fase esta necessária para avaliar a granulometria das partículas, a interação partículas/matriz, possíveis traços dos materiais, tempo de cura dos corpos de prova, desmoldagem e ensaios pós-cura. Esta fase foi realizada integralmente no período de nove meses.

O presente estudo foi dividido em três etapas principais: 5.1 Material, 5.2 Preparação das fibras e 5.3 Caracterização das fibras/partículas e compósitos.

Material

De acordo com a recomendação do INTERNATIONAL NETWORK FOR BAMBOO AND RATAM (INBAR, 1999), há mundialmente 19 espécies consideradas prioritárias para o desenvolvimento do manejo local das culturas de bambu. A indicação destas espécies foi determinada por meio de critérios como utilização, cultivo, processamento de produtos, agronomia, ecologia e recursos genéticos.

Dentre as espécies recomendadas, foram escolhidas para o presente trabalho duas espécies distintas adaptadas ao local, *Bambusa tuldooides* (nome popular taquara) (Figura 8a) e *Bambusa vulgaris* (nome popular Bambu-açu ou taquaruçu) (Figura 8b).

Figura 8. Espécies de bambu: (a) *Bambusa Tuldooides*; (b) *Bambusa Vulgaris*



a



b

Fonte: autora, 2018.

Os colmos foram coletados na zona rural localizada na região metropolitana do município Umuarama (Figura 9) noroeste do Estado do Paraná (23° 45' 59.0" S 53° 18' 07.2" W).

Figura 9. Localização do município de Umuarama onde foram realizadas as coletas



Fonte: adaptado de Base Cartográfica IPARDES, 2018

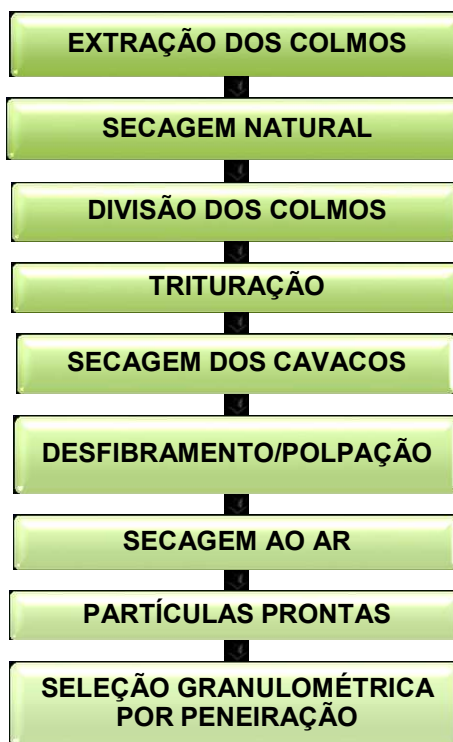
Preparação das fibras

Na presente pesquisa, foram avaliadas as propriedades físico-mecânicas de painéis aglomerados por meio de análise em corpos de prova produzidos, utilizando diferentes proporções de partículas de bambu das espécies *Bambusa tuldoides* e *Bambusa vulgaris*.

As espécies foram coletadas dia 16 de agosto de 2018. Os colmos tinham em média 20 metros de comprimento e ficaram em posição vertical para secagem natural durante 30 dias.

O processamento do bambu seguiu o organograma demonstrado na Figura 10 e suas etapas detalhadas em seguida.

Figura 10. organograma o processamento do bambu visando obtenção de fibras/partículas para confecção de painéis compósitos.



Fonte: autora, 2019.

Após 30 dias os colmos foram divididos em frações de 1,50 m para que pudessem ser transportados para o setor da primeira trituração.

O material foi transportado para o setor de podas de árvores da Prefeitura Municipal de Umuarama, onde os colmos passaram por máquinas de trituração de galhos, Figura 11.

Figura 11. Máquina trituradora de galhos.



Fonte: Prefeitura Municipal de Umuarama, 2018.

Após a trituração, percebeu-se que o material ainda apresentava um teor de umidade bastante elevado, então se iniciou um processo de secagem ao ar por 5 dias, com o material disposto em lonas plásticas no pátio da Universidade Estadual de Maringá – campus Umuarama, sendo revolvido diariamente durante 6 a 8 horas por dia. Os cavacos de bambu depois da perda da umidade superficial foram acondicionados em duas lonas no laboratório de materiais, para posterior seleção granulométrica.

Para a seleção dos cavacos, foi utilizada uma peneira comum de obra e selecionados os particulados graúdos, médios e serragem (Figura 12), sendo os particulados médios reservados para a próxima etapa.

Figura 12. Separação dos particulados.



Fonte: autor, 2019.

Com o objetivo de gerar a melhor granulometria para os ensaios, foram utilizados vários equipamentos como triturador de resíduos e liquidificador como mostra as Figuras 13 (a;b;c;d) e 14 (a;b;c;d).

Figura 13. Cavacos de bambu (a); triturador de resíduos orgânicos (b) ; liquidificador (c); fibra de bambu pós moagem em liquidificador.



a



b



c



d

Fonte: autora, 2020.

Figura 14. Estufa (a); peneira (b) ; partículas de fibra de bambu(c); balança de precisão.



a



b



c



d

Fonte: autora, 2019.

Posteriormente a seleção granulométrica teve início a moldagem dos corpos de prova seguindo as proporções estipuladas na Tabela 6. Após a cura e desmoldagem, iniciou-se o preparo dos corpos de prova para os ensaios Figura 15 (a;b). A preparação constituiu na adequação das dimensões mais apropriadas para os ensaios por meio de cortes e lixamento dos corpos de prova.

Tabela 6. proporção em massa seca das partículas de bambu e PVAc para formação de compósito.

Traços	MATERIAIS (g)		Percentual do traço
	Partículas de bambu	Adesivo PVAc	
T1	100	400	20% PB 80% PVAc
T2	100	350	23% PB 77% PVAc

T1 Bambusa vulgaris; T2 Bambusa tuldoides; PB Partícula de bambu; PVAc Acetato de polivinila.
Fonte: autora, 2019

Figura 15. Corpo de prova: (a) compósito moldado; (b) corpo de prova desmoldado.



a



b

Fonte: autor, 2019.

Caracterização das fibras/partículas e compósito

As duas espécies de bambu foram caracterizadas por meio de ensaios químicos, físicos e mecânicos. Os experimentos foram conduzidos nas seguintes instituições: Central de Análises Avançadas de Materiais – CAM e Central de Microscopia – CMI, da Universidade Estadual de Maringá; Central de Microscopia Eletrônica - CME, da Universidade Federal do Paraná, Setor Palotina; Laboratório de Materiais SENAI, unidade Araçongas.

Análise física dos corpos de prova

Os ensaios de análise física dos corpos de prova do compósito seguiram às recomendações da ABNT NBR 14810 - Chapas de madeira aglomerada - Parte 2. Os corpos-de-prova foram confeccionados no Laboratório de Concreto do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Maringá, Campus Umuarama.

Densidade dos corpos de prova

A densidade foi determinada por meio de ensaios com 6 seis corpos de prova para cada espécie de bambu com dimensões de 20 x 20 x 40 mm.

O cálculo da densidade seguiu de acordo com a norma ABNT NBR 14810-2, 2002 sendo determinada pela expressão:

$$\rho = \frac{ms}{V_{sat}} \times 10^4 \quad (1)$$

Onde:

ρ = densidade, em Kg/m³;

ms = massa seca, em gramas (g);

Vsat = volume saturado, em milímetros cúbicos (cm³).

A massa seca (ms) foi determinada após o corpo-de-prova passar por secagem em estufa a 103°C ± 2°C e suas medida efetuadas a cada 6h até que a variação fosse menor ou igual a 0,5%. O volume saturado (Vsat) foi determinado pelas dimensões finais do corpo-de-prova submerso em água até que alcançada uma massa constante ou com no máximo uma variação de 0,5% em relação à medida anterior, como recomendado pela norma ABNT NBR 7190 (1997). A Figura 16 (a) e (b) mostra os corpos de prova das duas espécies de bambu preparados para o ensaio de densidade.

Ensaio de inchamento em espessura

Para realização do ensaio de inchamento em espessura 2h e 24h, foram utilizados 6 corpos de prova para cada tratamento, com dimensão de 20x20x40 mm, ensaio foi adaptado às especificações da NBR 14.810-2 (2013).

Figura 16. Corpos de prova para ensaio de densidade *Bambusa vulgaris*: (a) ;
Bambusa tuldoides (b).



Fonte: autora, 2020.

Os corpos de prova, após terem sido lixados e identificados, foram anotados os dados referentes à medição da espessura efetuada com paquímetro e das massas em balança de precisão semi-analítica (Figura 17).

Figura 17. Balança de precisão.



Fonte: autora, 2020.

Posteriormente, os corpos de prova foram mergulhados em água destilada em dois recipientes, de maneira que se mantivessem submersos a 25 mm abaixo da superfície da água. Após 2h e 24h de imersão, os corpos de prova foram retirados da água e colocados sobre superfície absorvente para liberar o excesso de água.

Em seguida, mediram-se as espessuras dos corpos de prova em seus respectivos centros. Verificou-se a porcentagem do aumento de espessura de cada corpo de prova para posteriormente serem comparadas com o valor do parâmetro indicado na norma.

Ensaio de absorção de água

Com o objetivo de manter a integridade do adesivo, os corpos de prova passaram por 5 tratamentos. Os impermeabilizantes/hidrofugante utilizados foram: goma laca, verniz acrílico, multi seladora, óleo de linhaça e cera de carnaúba. Após o tempo de secagem recomendada pelo fabricante, os corpos de prova foram submersos em água para verificação da eficiência destes tratamentos (Figura 18).

Os corpos de prova foram observados durante 48h. Após este período, foram retirados da água e depositados em papel absorvente para retirada do excesso de água e depois passaram por verificação da massa em balança de precisão.

Figura 18. Corpos de prova submetidos a teste de absorção de água.



Fonte: autora, 2020.

Ensaio mecânico dos corpos de prova

Os ensaios de módulo de elasticidade e de ruptura foram realizados em máquina universal de ensaios eletromecânica, marca EMIC, dotada de sistema computadorizado para controle das variáveis do ensaio e coleta dos dados de carga e deslocamento (Figura 19 a e b).

Figura 19. Máquina universal para ensaios mecânicos: de flexão (a) ; compressão (b).



A



b

Fonte: autora, 2020.

Compressão (MOR)

Para os ensaios de compressão foram confeccionados 12 corpos de prova para cada espécie de bambu. As dimensões dos corpos de prova foram de 40x40x40 mm. Seis unidades foram ensaiadas no sentido paralelo ao sentido preferencial da fibra e os outros seis foram ensaiados no sentido normal ao sentido preferencial das fibras. A taxa de carregamento foi de 10 MPa/min (NBR 7190, 1997).

Foram medidas as dimensões da seção transversal dos corpos de prova e colocados um a um na máquina universal de ensaios eletromecânica, marca EMIC Laboratório de materiais da Universidade Estadual de Maringá.

Em seguida, foi acionado o equipamento adotando-se uma velocidade de 5 mm/min, até que ocorresse a máxima tensão interna. Foram então registradas as cargas máximas expressas em newtons (Figura 20). Os resultados são expressos em megapascals, com exatidão de 0,01 MPa.

Figura 20. Corpos de prova ensaio de compressão.



Fonte: autora, 2020.

O objetivo deste ensaio é a determinação da curva tensão x deformação. A partir dos resultados determina-se a tensão de ruptura, o módulo de elasticidade na compressão (E) sendo que este é determinado no trecho elástico. A tensão de compressão foi determinada pela expressão:

$$\sigma_c = \frac{F}{A} \quad (3)$$

Onde:

σ_c = é a resistência à compressão, em N/mm^2 (Mpa);

F = é a máxima força de compressão aplicada durante o ensaio, em newtons;

A = é a área inicial da seção transversal comprimida, em milímetros quadrados.

Módulo de Elasticidade (MOE)

É determinado pela expressão:

$$E = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon} \quad (4)$$

Onde:

E = é o módulo de elasticidade;

$\Delta\sigma$ = são as tensões de compressão no trecho elástico;

$\Delta\varepsilon$ = são as deformações no trecho elástico.

Deformação

A deformação é determinada pela seguinte expressão:

$$\varepsilon = \frac{\delta}{h} \quad (5)$$

Onde:

ε = é a deformação;

δ = é o encurtamento, em mm;

h = é a altura do corpo de prova, em mm.

Ensaio de flexão

Flexão estática, segundo a norma ABNT NBR 7190 (1997) e NBR 14810-2 (2006), é definida como a resistência que um corpo de prova apoiado em seus extremos, apresenta quando submetido a uma força aplicada ao seu centro até a ruptura. O módulo de ruptura (MOR) consiste na medição da capacidade máxima de um material suportar uma carga aplicada lentamente por um curto espaço de tempo.

Para os ensaios de tração na flexão foram confeccionados 6 corpos de prova de para cada espécie de bambu com as seguintes dimensões, 120 x 40 x 20 mm. Os corpos-de-prova foram colocados sobre dois apoios na máquina universal de ensaios EMIC, adotando-se 100 mm como comprimento do vão de ensaio. A carga foi aplicada no centro geométrico do corpo de prova como mostra a Figura 21.

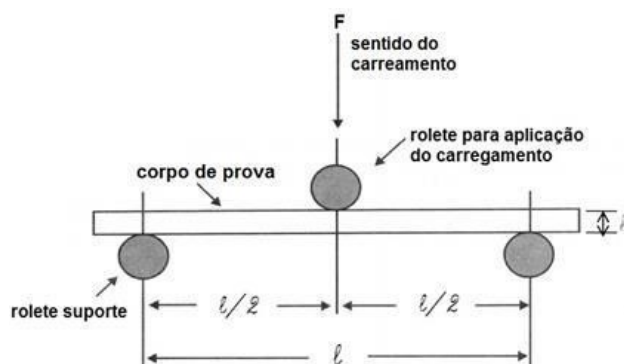
Figura 21. Corpo de prova ensaio de flexão.



Fonte: autora, 2020.

Após o posicionamento do corpo de prova, o indicador de cargas da máquina universal de ensaios foi zerado e adotou-se velocidade constante de aplicação de carga de 7 MPa/min. O resultado foi expresso em megapascals com exatidão de 0,1 Mpa (Figura 22).

Figura 22. Esquema de ensaio de flexão estática.



Fonte: autor, 2019

Resistência à tração na Flexão

O objetivo deste ensaio foi a determinação da curva de resistência na flexão x deformação. A partir dos resultados, foram determinados o módulo de ruptura (MOR) e o módulo de elasticidade na flexão (E). A resistência na flexão é determinada pela expressão:

$$\sigma_{tf} = \frac{3Fl}{2bh^2} \quad (6)$$

Onde:

σ_{tf} = é a resistência à tração na flexão, em megapascals;

F = é a força de flexão aplicada durante o ensaio, em newtons;

l = é o vão do ensaio, 100 mm (adotado);

b = base do corpo de prova, em mm;

h = altura do corpo de prova, em mm;

Módulo de Elasticidade (MOE)

De acordo com a ABNT NBR 7190 (1997), o módulo de elasticidade para tração na flexão é determinado pela expressão:

$$E = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon} \quad (7)$$

Onde:

E = é o módulo de elasticidade;

$\Delta\sigma$ = é a tração na flexão no trecho elástico;

$\Delta\varepsilon$ = são as deformações no trecho elástico.

O resultado do ensaio é a média dos resultados dos corpos de prova ensaiados, expresso em Newtons por milímetros quadrado, com precisão de 1N/mm² para o MOR e de 10 N/mm² para MOE.

Deformação

É determinado pela expressão:

$$\varepsilon = \frac{6 \delta v h}{L^2} \quad (8)$$

Onde:

ε = é a deformação;

δv = é o deslocamento vertical, em mm;

h = é a altura do corpo de prova, em mm;

L = é o comprimento do corpo de prova, em mm.

Análises químicas

Para avaliar o tratamento mecânico (trituração) submetido às partículas de bambu, a interação com o adesivo e as possíveis diferenças químicas entre as duas espécies, foram efetuadas quatro técnicas: a Espectroscopia de infravermelho (FTIR), espectroscopia Raman, Microscopia eletrônica de varredura (MEV) e a microanálise por EDS (Energy-Dispersive X-ray Spectroscopy) acoplada ao MEV.

Para caracterização das partículas de bambu *in natura* e do compósito, foram utilizadas amostras dos particulados finos de ambas as espécies retidos na peneira 60 mesh.

Espectroscopia de infravermelho (FTIR)

O princípio desta espectroscopia tem por base a reflexão de feixes de radiação, ou seja, detecção da quantidade de radiação que passa de um meio mais denso (cristal de ATR) para um meio menos denso (amostra). Essa técnica possibilita a identificação das ligações químicas para posterior classificação dos grupos funcionais presentes na superfície de materiais orgânicos e inorgânicos.

O equipamento utilizado para realizar as análises de espectroscopia foi FTIR-ATR do modelo Vertex 70v da marca Bruker (Figura 23). As análises foram realizadas em equipamento disponibilizado na Universidade Estadual de Maringá – Campus Maringá, Departamento de Física.

Figura 23. Espectrômetro de Infravermelho (FTIR).



Fonte: Bruker, 2019.

Para caracterização as amostras de cada espécie de bambu foram divididas em duas partes: a primeira misturada ao adesivo e a segunda *in natura* e então foram submetidas à varredura na faixa de 4000 a 400 cm^{-1} .

Espectroscopia por Raman

A espectroscopia Raman é uma técnica utilizada para a determinação da composição de um material fornecendo informações sobre as vibrações moleculares permitindo a caracterização da sua estrutura molecular. O equipamento utilizado foi o espectrômetro Vertex70v da marca Bruker (Figura 24). A análise em espectroscopia Raman foi importante na identificação de elementos químicos, fornecendo dados complementares à técnica de FTIR.

Figura 24: Equipamento para análises de espectroscopia Raman modelo Vertex 70v, marca Bruker.



Fonte: autora, 2019.

Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

Para análise das modificações como deformações, quebras e danos da microestrutura e aspectos estruturais das partículas e do compósito, utilizou-se a técnica de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV). O equipamento utilizado foi modelo Quanta 250 (FEI Company) (Figura 25).

Figura 25. MEV Quanta 250 FEG

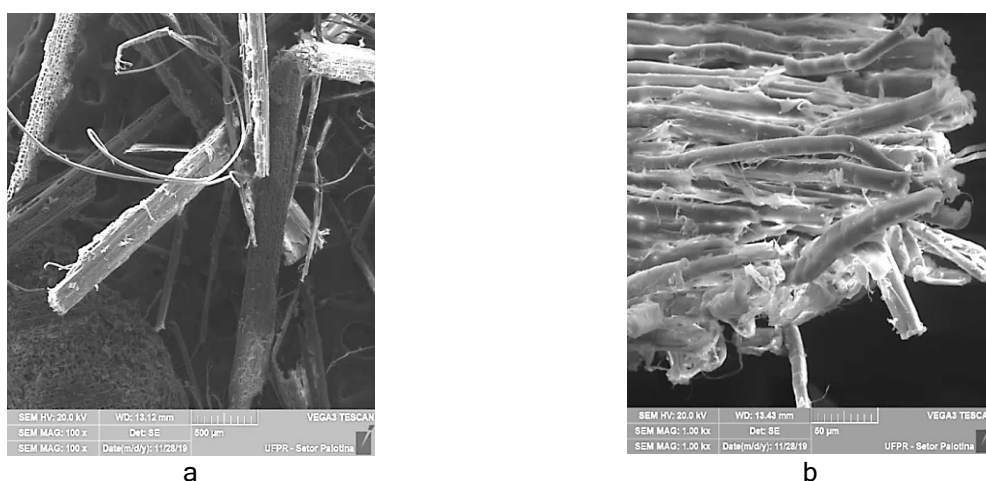


Fonte: FEI Company, 2009.

Para esta análise, as amostras foram feitas dos particulados miúdos da fibra de bambu. Separada uma porção de cada espécie de bambu que foi dividida em duas partes *in natura* e combinada com “cola branca”. Em seguida, foram fixadas com fita dupla face de carbono em pequenas placas de metal (“stubs”) e para que houvesse melhor condutividade de elétrons, as amostras foram recobertas por uma camada de ouro em metalizador da marca BALZERS (SCD 050).

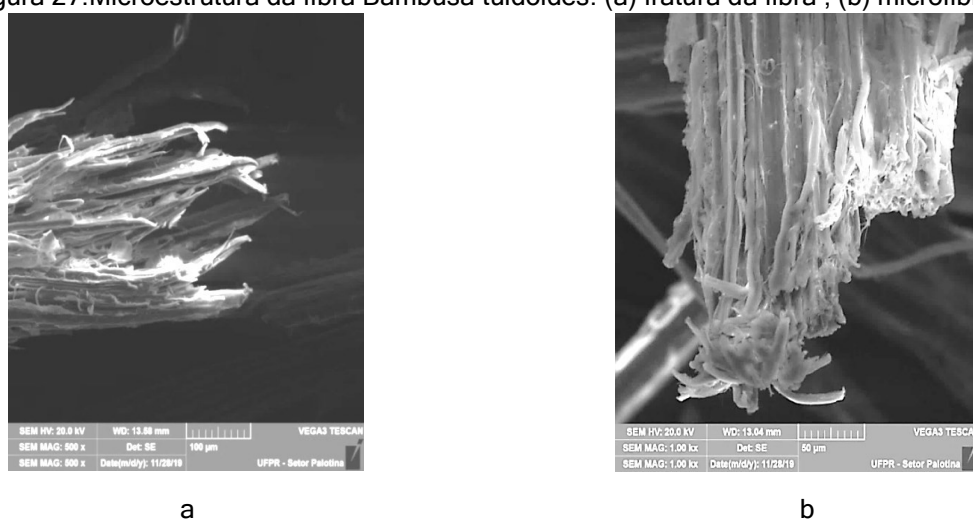
Neste ensaio foram analisadas: a microestrutura da fibra e as superfícies fraturadas, como mostram as figuras da *Bambusa tuldooides* (Figuras 26 a; b) e *Bambusa vulgaris* (Figura 27 a;b).

Figura 26. Microestrutura da fibra *Bambusa vulgaris*: (a) fratura da fibra ; (b) microfibrila .



Fonte: Autora, 2019.

Figura 27. Microestrutura da fibra *Bambusa tuldooides*: (a) fratura da fibra ; (b) microfibrila .

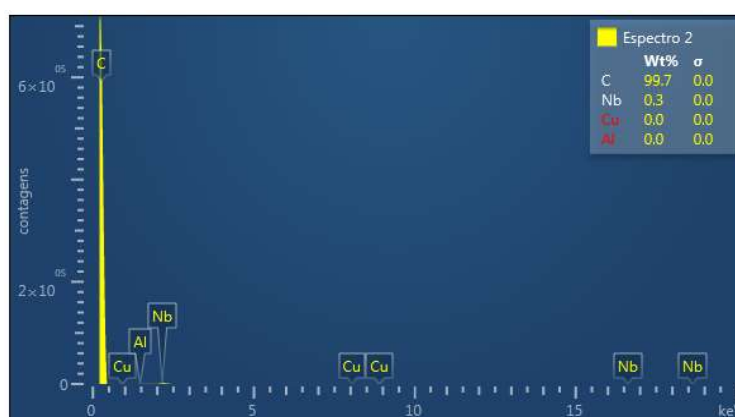


Fonte: Autora, 2019.

Análise química em EDS

A análise química em EDS (Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy) permitiu a identificação de elementos químicos inorgânicos sem, no entanto, apresentar uma quantificação dos mesmos. A Figura 28 mostra um exemplo do gráfico formatado pelo equipamento. As mesmas amostras utilizadas para o MEV foram utilizadas para este ensaio.

Figura 28. Exemplo de gráfico em EDS



Fonte: autora, 2020.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O item 6.1 apresenta os resultados dos ensaios físicos: inchamento em espessura 2h e 24h, densidade e absorção de água. O item 6.2 apresenta os valores para os ensaios mecânicos de flexão e compressão. O item 6.3 apresenta os resultados das análises da composição química das fibras *in natura* e compósitos por FTIR-ATR e Microscopia Raman, análise dos elementos inorgânicos por EDS e análise da microestrutura das partículas *in natura* e aspectos de interação fibra-matriz por MEV.

As Tabelas 7 e 8 demonstram as dimensões dos corpos de prova pós desmoldagem usados para os ensaios de compressão e tração na flexão. Os dados constantes nas tabelas foram necessários para os cálculos dos módulo de ruptura e módulo de elasticidade.

Tabela 7. comparação das dimensões dos corpos de prova, entre espécies.

CORPOS DE PROVA PARA ENSAIO DE COMPRESSÃO							
<i>Bambusa tuldooides</i>			<i>Bambusa vulgaris</i>				
Corpo prova	de	l(mm)	h (mm)	Corpo prova	de	l(mm)	h (mm)
1		35,9	35,9	27		35,8	36,6
2		37,6	37,1	28		33,1	37,8
3		36,6	36,6	29		33,5	35,8
4		35,7	35,8	30		37,6	34,7
5		37,6	37,7	31		34,2	36,6
6		40,2	40,1	32		34,1	36,1
7		40,5	40,5	33		38,7	39,0
8		40,5	40,3	34		37,9	37,5
9		36,8	36,8	35		39,1	36,3
10		37,3	37,2	36		37,1	36,2
11		37,9	37,9	37		34,4	35,6
12		39,1	39,2	38		36,2	31,8
Média		38,0	37,9	Média		36,0	36,2

Fonte: autora, 2020

Tabela 8. comparação das dimensões dos corpos de prova, entre espécies.

CORPOS DE PROVA PARA ENSAIO DE FLEXÃO							
<i>Bambusa tuldoides</i>				<i>Bambusa vulgaris</i>			
Corpo de prova	b(mm)	h (mm)	l (mm)	Corpo de prova	b(mm)	h (mm)	l(mm)
15	39,41	19,00	156,66	21	38,50	15,40	157
16	40,50	20,33	156,00	22	39,70	13,90	158
17	39,58	17,91	155,50	23	38,00	16,00	158
18	38,50	18,91	155,25	24	40,00	14,60	156
19	40,41	17,83	156,75	25	38,70	16,00	157
20	40,33	17,50	155,41	26	40,00	17,00	134
Média	39,79	18,58	155,93	Média	39,15	15,48	153,33

Fonte: autora, 2020

Propriedades físicas

Os ensaios físicos realizados no compósito foram: determinação do inchamento em espessura, densidade e absorção de água em corpos de prova tratados com impermeabilizantes.

Ensaio de inchamento em espessura

Os ensaios de inchamento são práticas comuns para o controle de qualidade em indústrias de chapas e painéis, pois seus resultados são indicativos da coesão entre as partículas e a adesão com a matriz polimérica (resina ou adesivo). O resultado é a média dos inchamentos das espessuras dos corpos de prova com as medidas aferidas em 2h e 24 h, expresso em porcentagem, com precisão de 0,1 %.

Os valores médios calculados para inchamento dos corpos de prova estão demonstrados na Tabela 9.

Tabela 9. Resultados do ensaio de inchamento em espessura (mm).

Corpos de prova	Espessura inicial (mm)	após 2h	após 24h	<i>Bambusa tuldoides</i> Inchamento (%)	NBR 14810 (2013)
41	17,60	18,00	18,00	2,27	18%
42	16,50	17,00	17,00	3,03	
43	17,00	17,50	17,50	2,94	
44	16,50	17,00	17,00	3,03	
45	16,00	16,00	16,00	3,13	
46	17,78	17,78	18,50	4,05	
			Média	3,07	
Corpos de prova	Espessura inicial (mm)	após 2h	após 24h	<i>Bambusa vulgaris</i> Inchamento (%)	NBR 14810 (2013)
47	21,00	22,00	23,00	9,52	18%
48	19,10	20,00	20,00	4,71	
49	21,00	22,50	22,50	7,14	
50	17,00	17,50	17,50	2,94	
51	17,30	18,00	17,50	1,16	
52	17,30	18,00	18,00	4,05	
			Média	4,92	

Fonte: autora, 2020

A análise dos resultados demonstrou que apesar de se constatar diferenças de espessura entre os corpos de prova no decorrer do tempo, ainda assim a variação em porcentagem encontra-se dentro do recomendado pela norma, para as duas espécies.

Densidade

Após a obtenção e análise dos dados, utilizou-se a Tabela 10, onde se apresentam os valores normativos para os ensaios de determinação da densidade estabelecidos pelas normas NBR 14810-2 (2013), Wood Panel Industries Federation - WPIF (2018) anexo 2G e ANSI A 208.1(1999).

Tabela 10. Valores normativos para ensaio de densidade indicados pelas normas brasileira , americana e inglesa.

	NBR 14.810-2 (2013)	ANSI A208.1 (1999)	WPIF annex 2G (2018)
Densidade (Kg/m ³)	551-750	640-800	350-600

Fonte: autor, 2020.

Os valores médios calculados para densidade dos corpos de prova estão demonstrados na Tabela 11, onde se observam que a densidade não teve grande variação entre as duas espécies.

Tabela 11. Resultados finais dos corpos de prova das duas espécies na avaliação de densidade.

Espécies	Média (Kg/m³)
<i>Bambusa vulgaris</i>	460
<i>Bambusa tuldoides</i>	440

Fonte: autora, 2020

A NBR 14810-2 (2013) indica o intervalo de 551 a 750 Kg/m³ para painéis de uso não estruturais em ambiente seco, sendo que os valores obtidos foram inferiores, portanto não atenderam as indicações da norma brasileira.

A norma ANSI A208.1 (1999) indica o intervalo de valores de densidade para painel MDP (Medium Density Particleboard) entre 640 a 800 Kg/m³, deste modo os valores obtidos não se enquadram nesta norma.

De acordo com a norma britânica WPIF 2G (2018), a densidade ideal fica na faixa entre 350 a 600 Kg/m³ para painéis de partículas para utilização em ambientes

internos secos, portanto os valores médios obtidos atenderam aos parâmetros indicados por esta norma.

Os corpos de prova do presente trabalho apresentaram os valores para densidade de 460 e 440 Kg/m³ para as espécies de *Bambusa vulgaris* e *Bambusa tuldooides* respectivamente, porém apenas atenderam aos parâmetros da norma britânica.

De acordo com Weber (2011), quando os valores alcançados para densidade de um material compósito estão abaixo do que recomendam as normas possivelmente à prensagem por ser efetuada de maneira manual não obteve a compactação satisfatória e, portanto não atingindo o valor da densidade esperada para a norma nacional.

Ensaio de absorção de água

Este ensaio teve como objetivo determinar que impermeabilizante/hidrofugante preserva por mais tempo a coesão dos elementos do compósito proposto. O pressuposto deste ensaio é a observação visual da desagregação dos elementos no decorrer do tempo e a absorção de água e portanto aumento da massa de cada corpo de prova (Tabela 12).

Tabela 12. Resultados do ensaio de absorção de água.

Tratamento	01 <i>Bambusa vulgaris</i>			02 <i>Bambusa tuldooides</i>		
	Massa inicial	48 h	Diferença	Massa inicial	48h	Diferença
Sem tratamento	1,31	3,21	1,9	0,97	2,45	1,48
Multi-seladora	1,58	1,78	0,2	1,55	2,08	0,53
Linhaça	1,86	3,95	2,09	1,66	3,19	1,53
Goma laca	1,45	1,97	0,52	1,57	2,29	0,72
Verniz acrílico	1,55	2,36	0,81	1,55	2,37	0,82
Cera de carnaúba	1,27	2,4	1,13	1,4	2,58	1,18

Fonte: autora, 2020.

Os resultados demonstraram que não houve considerável diferença de absorção de água entre as duas espécies. Dentre os impermeabilizantes utilizados, apenas dois promoveram melhores resultados para ensaio proposto, a goma laca e a multi seladora.

Propriedades mecânicas

Foram confeccionados corpos de prova nas mesmas condições para as duas espécies estudadas. Os ensaios mecânicos foram de compressão e tração na flexão, com um total de corpos de prova de 12 e 6 unidades para cada ensaio respectivamente.

Após a obtenção e análise dos dados relacionados às propriedades mecânicas dos compósitos, utilizou-se as Tabelas 13 e 14 que apresentam os valores normativos para os ensaios de compressão e para a resistência de tração na flexão estabelecidas pelas normas EN 310 (1993), ABNT NBR 14810-2 (2013) e ANSI A208.1(1999).

Tabela 13. Valores normativos para ensaio mecânico de compressão indicados pela norma europeia.

	EN 310 (1993)
MOR (MPa)	14 16
MOE (MPa)	2300 3300

Fonte: autora, 2020.

Tabela 14. Valores normativos para os ensaio mecânico de flexão indicados pelas normas brasileira, americana e europeia.

	ABNT NBR14810-2 (2013)	ANSI A208.1 (1999)	EN 310 (1993)
MOR (MPa)	11 15	11	3,80 5,75
MOE (MPa)	1800 2050	1725	2200 2900

Fonte: autora, 2020.

Ensaio de compressão

As Tabelas 15 e 16 apresentam os resultados médios obtidos para os ensaios mecânicos de compressão normal e paralelo às fibras para as duas espécies.

Tabela 15. Valores médios do módulo de ruptura (MOR) e módulo de elasticidade (MOE) para o ensaio de compressão dos corpos de prova da espécie *Bambusa tuldooides*.

Corpos de prova	normal às fibras		Corpos de prova	paralela às fibras	
	MOE (MPa)	MOR (MPa)		MOE (MPa)	MOR (MPa)
01	4667	4,14	07	1276,6	4,84
02	5172	5,19	08	1162,0	4,75
03	2842	4,63	09	1027,3	5,40
04	4844	4,18	10	5113,0	6,60
05	2600	4,71	11	8025,0	5,17
06	3834	5,42	12	7690,0	5,66
Médias	3993	5,72		9247	5,61
Dsv. Padrão	10,82	0,51		28,31	0,69
Coef. de Variação (%)	27,10	11,01		30,61	12,84

Tabela 16. Valores médios do módulo de ruptura (MOR) e módulo de elasticidade (MOE) para o ensaio de compressão dos corpos de prova da espécie *Bambusa vulgaris*.

Corpos de prova	paralela às fibras		Corpos de prova	normal às fibras	
	MOE (MPa)	MOR (MPa)		MOE (MPa)	MOR (MPa)
27	4673	4,55	33	6108	7,62
28	4673	3,99	34	3910	7,20
29	4684	4,18	35	2610	7,46
30	8166	4,10	36	58,15	10,91
31	6112	3,88	37	7910	6,95
32	5990	3,19	38	7834	8,89
Médias	5716	3,98		5697	8,17
Dsv. Padrão	13,77	0,44		21,15	1,50
Coef. de Variação (%)	24,08	11,28		37,12	18,35

A análise dos resultados do ensaio de compressão demonstram valores superiores aos valores das normas europeias. Sendo que para tal propriedade não há especificação normativa brasileira do valor mínimo aceitável. Beraldo (2010), ao

avaliar painéis de partículas de bambu encontrou valores médios de compressão (MOR) de 5,0 a 9,0 Mpa, indicando que as duas espécies se encontram dentro do intervalo testado pelo autor e que apenas o ensaio normal das fibras da *Bambusa tuldooides* obteve um valor abaixo do esperado.

Os valores dos resultados para o módulo de elasticidade (MOE) para as duas espécies foram acima dos indicados na norma ABNT NBR 7190 (1997). Estes resultados podem indicar que os compósitos possuem valores médios próximos das coníferas que possuem MOE entre 3500 a 14500 MPa.

Os ensaios foram desenvolvidos até a máxima tensão de compressão interna, porém mesmo com as fibras internas aparentemente rompidas, os corpos de prova voltaram às dimensões iniciais como mostra a Figura 29 (a; b).

Figura 29. Corpos de prova pós-ensaio de compressão, *Bambusa vulgaris* (a) e *Bambusa tuldooides* (b).



a

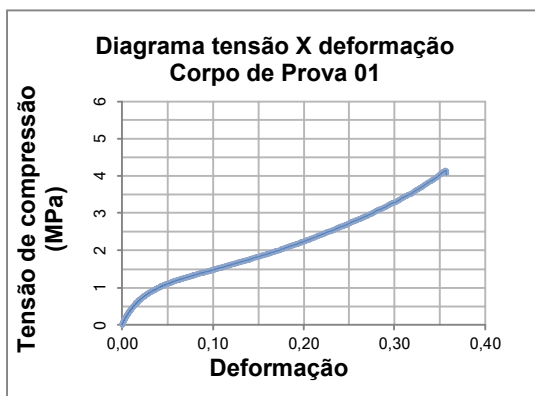


b

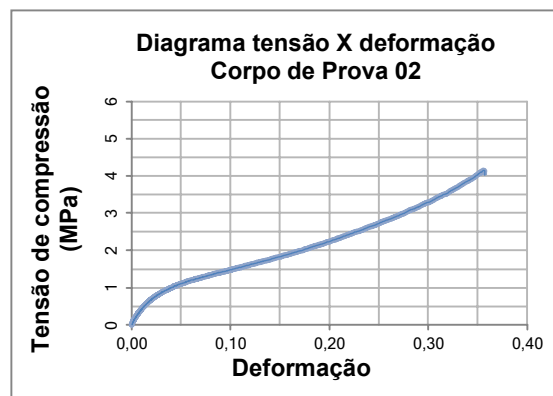
Fonte: autor, 2020.

As Figuras de 30 (a, b, c, d, e, f, g, h, i, j, k, l) apresentam o diagrama tensão versus deformação de um ensaio de compressão de 12 corpos de prova do compósito de partículas de bambu e PVAc.

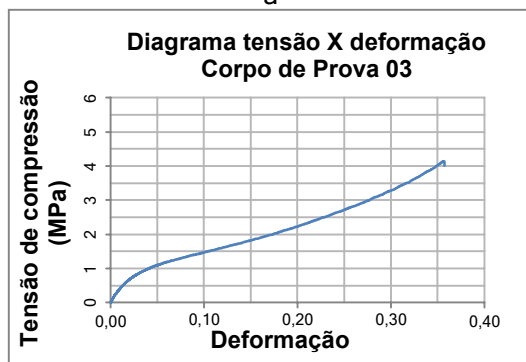
Figura 30.(a, b, c, d, e, f, g, h, i, j, k, l): Diagrama compressão versus deformação de um corpo de prova de compósito de fibra de bambu e PVAc.



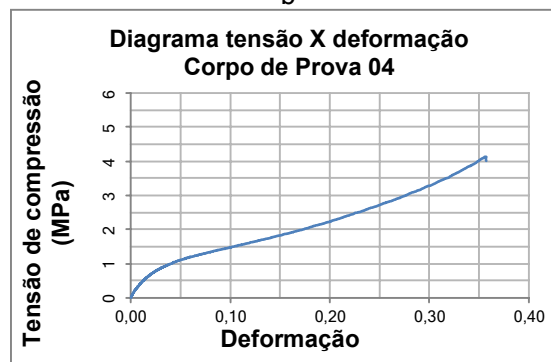
a



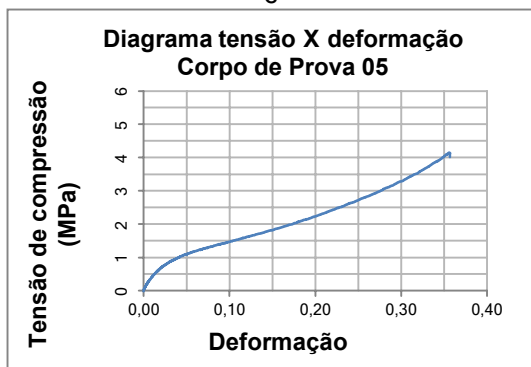
b



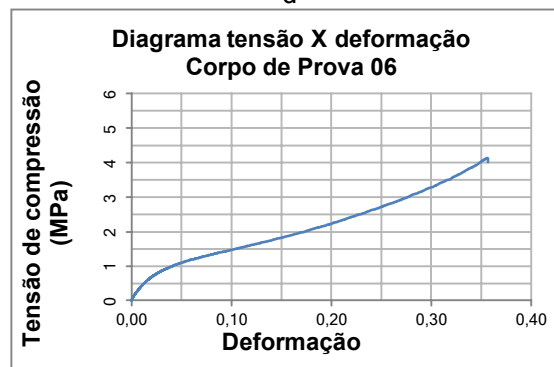
c



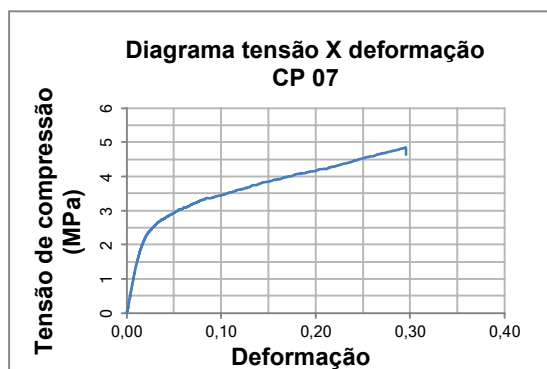
d



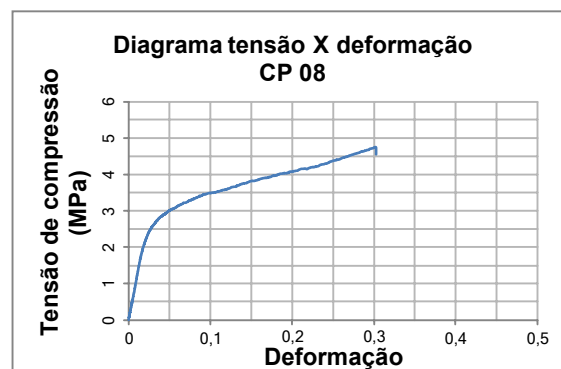
e



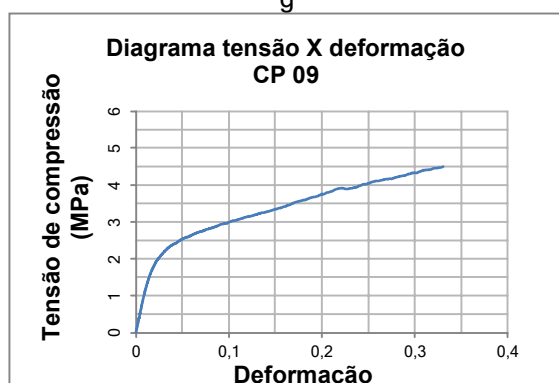
f



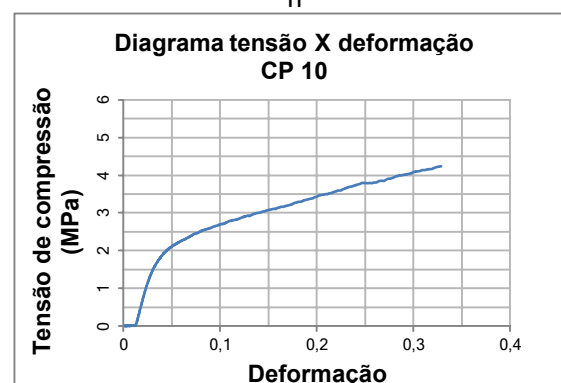
g



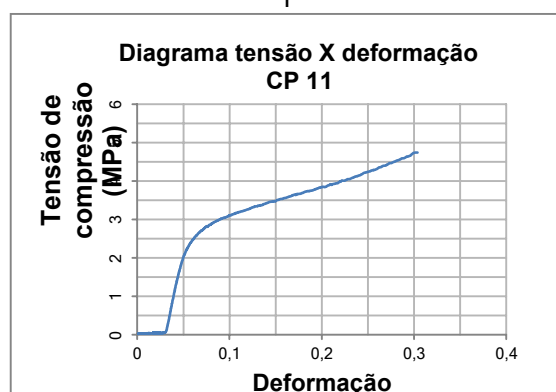
h



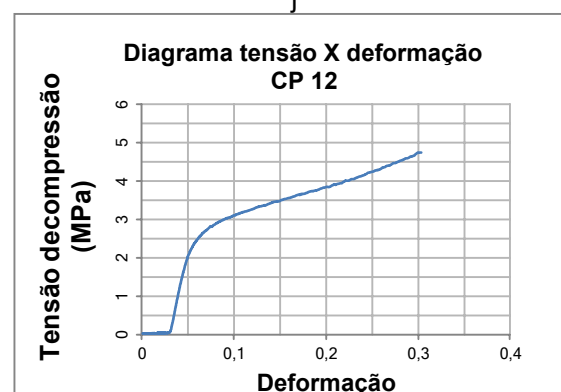
i



j



k

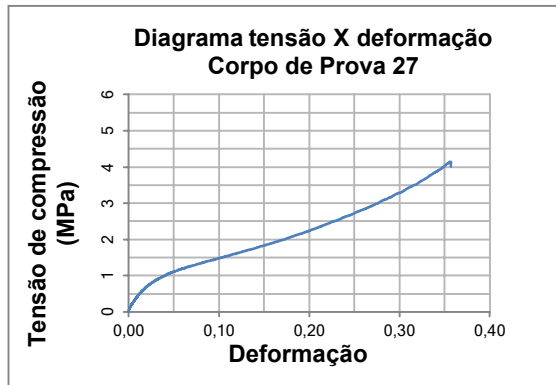


l

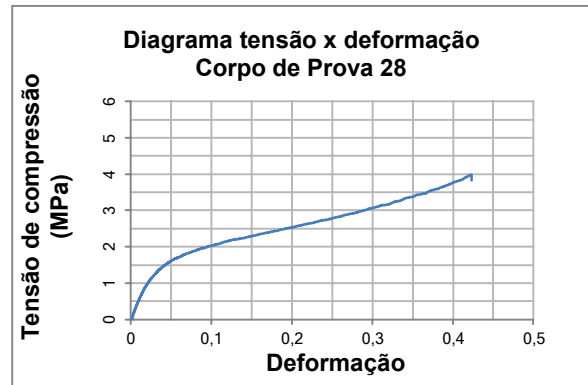
Fonte: autor, 2020.

As Figuras de 31 (a, b, c, d, e, f, g, h, i, j, k, l) apresentam o diagrama tensão versus deformação de um ensaio de compressão de 12 corpos de prova do compósito de partículas da espécie *Bambusa vulgaris* e PVAc. Os ensaios foram desenvolvidos até ruptura das fibras internas do corpo de prova.

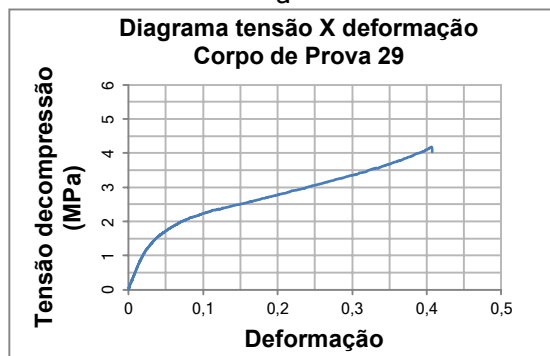
Figura 31.(a, b, c, d, e, f, g, h, i, j, k, l): Diagrama compressão versus deformação de um corpo de prova de compósito de fibra de bambu e PVAc.



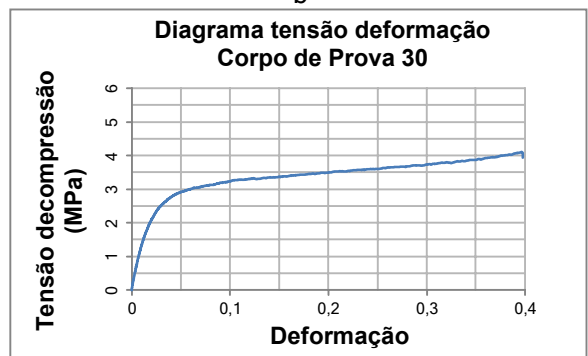
a



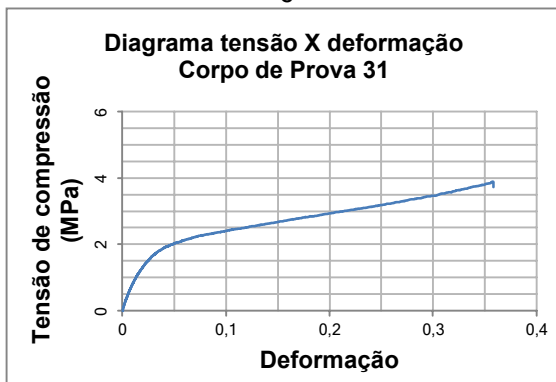
b



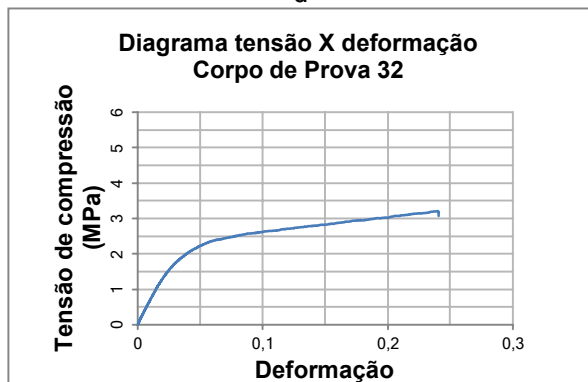
c



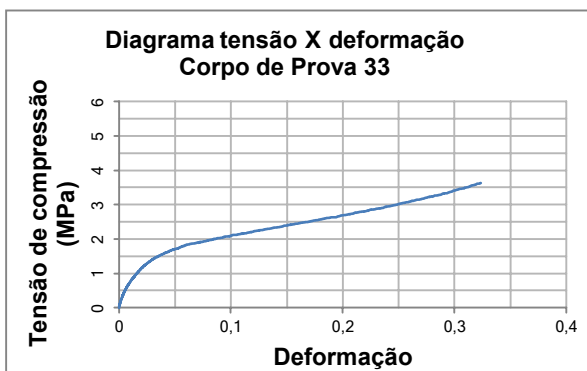
d



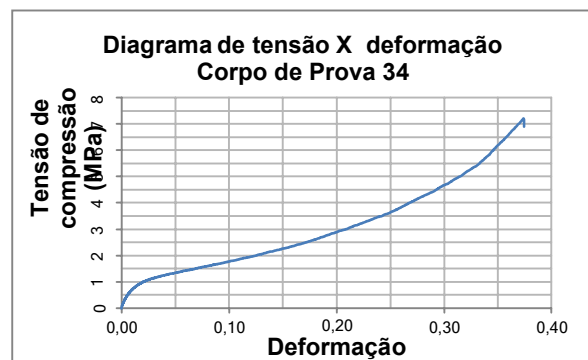
e



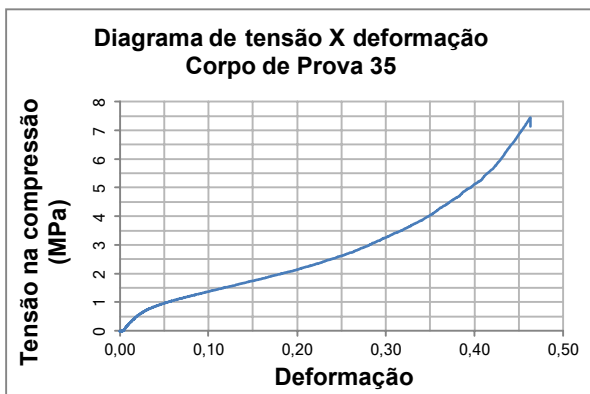
f



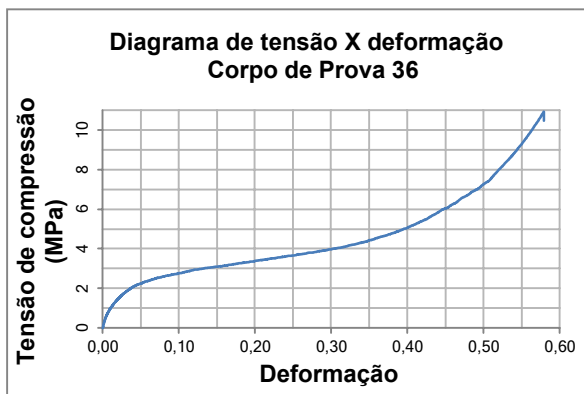
g



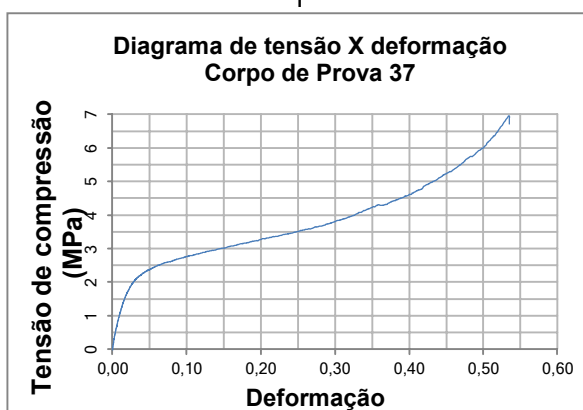
h



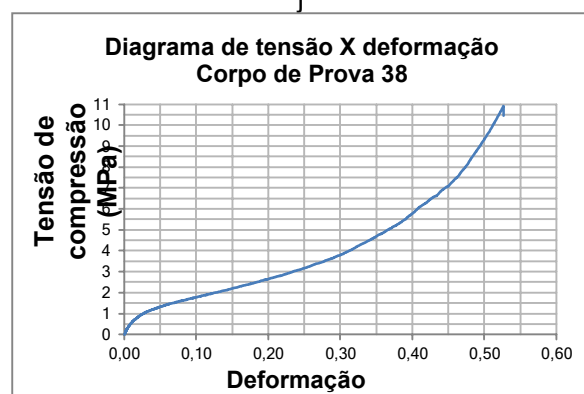
i



j



k



l

Fonte: autor, 2020.

Ensaio de flexão

O ensaio de flexão foi executado no Laboratório de madeiras do SENAI, Arapongas. Foi utilizada a máquina de ensaios universal da marca EMIC e os ensaios foram desenvolvidos até ruptura dos corpos de prova.

A partir do ensaio de flexão dos corpos de prova das duas espécies de bambu, foram obtidos os resultados do módulo de ruptura (MOR) e módulo de elasticidade (MOE) apresentados nas Tabelas 17 e 18.

Tabela 17. Valores médios do módulo de ruptura (MOR) e módulo de elasticidade (MOE) para o ensaio de flexão dos corpos de prova da espécie *Bambusa tuldooides*.

Corpos de prova	MOE (MPa)	MOR (MPa)
15	1670	5,51
16	1260	5,35
17	1270	5,32
18	2180	6,35
19	1800	5,13
20	2160	5,47
Média	1723	5,35
Dsv. Padrão	40,53	0,47
Coef. de Variação (%)	23,53	8,51

Fonte: autora, 2020

Tabela 18. Valores médios do módulo de ruptura (MOR) e módulo de elasticidade (MOE) para o ensaio de flexão dos corpos de prova da espécie *Bambusa vulgaris*.

Corpos de prova	MOE (MPa)	MOR (MPa)
21	1670	5,40
22	1470	4,60
23	1450	5,00
24	2090	4,90
25	1370	3,70
26	1230	5,20
Média	1546,67	4,80
Dsv. Padrão	30,14	0,61
Coef. de Variação (%)	19,48	12,67

Fonte: autora, 2020

As médias dos módulos de elasticidade da *Bambusa tuldooides* e da *Bambusa vulgaris* são 1546,67 MPa e 1723 MPa respectivamente. Os valores estão bem próximos dos indicados na norma NBR 15316-2 (2019), que é de 1600 MPa. No entanto o módulo de ruptura de 4,80 MPa e 5,35 MPa estão bem abaixo dos valores indicados pela norma brasileira que é de 11 MPa.

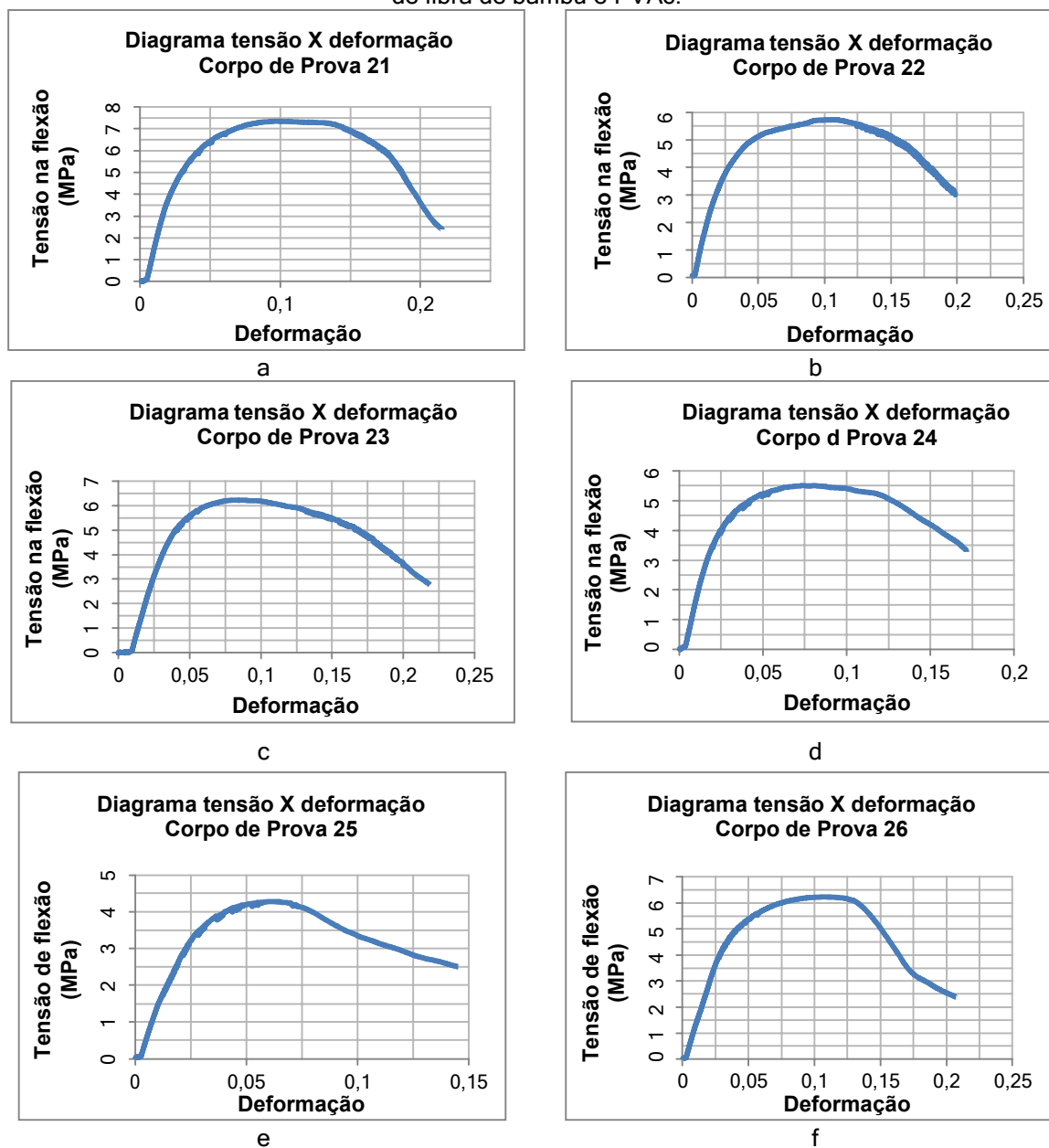
De acordo com a norma europeia EN 310 (1993), os valores mínimos para módulos de ruptura e de elasticidade são 3,8 a 5,75 MPa e 2200 a 2900 MPa, respectivamente. No entanto, os valores médios apresentados nas Tabelas 15 e 16, para módulo de elasticidade, encontram-se abaixo do mínimo exigido e o módulo de ruptura dentro dos parâmetros da norma, determinando não conformidade para estas propriedades mecânicas.

Em estudo para produção de painéis *Eucalyptus grandis*, Melo (2010) determinou que o MOR e MOE tem variação entre 14,62 a 18,53 MPa e 1398 a 1922 MPa, respectivamente. No entanto, Iwakiri (2005), em estudo para a produção de painéis de *Pinus* spp. determinou 6,90 e 2670 para MOR e MOE respectivamente.

Considerando a diferença da proporção do adesivo entre as espécies, pode-se afirmar que os corpos de prova da espécie *Bambusa tuldooides* tiveram os valores maiores para o módulo de elasticidade que os da *Bambusa vulgaris*, isso pode ser explicado que onde há menor proporção de adesivo pode gerar menor adesão entre as partículas.

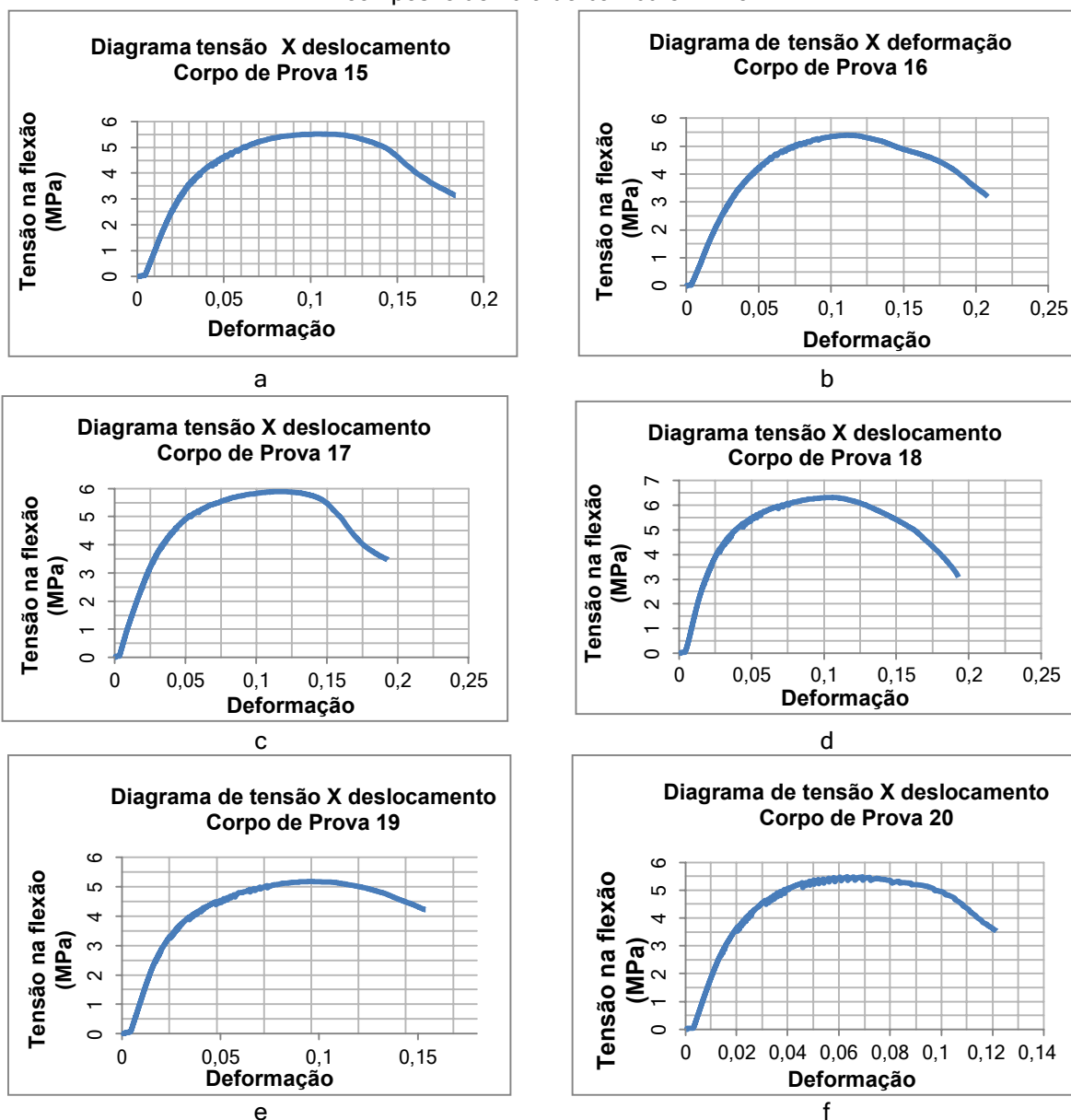
As Figuras 32 e 33 (a, b, c, d, e, f), apresentam o diagrama tensão versus deformação de um ensaio de flexão de 6 corpos de prova do compósito de partículas das espécies *Bambusa vulgaris* e *Bambusa tuldoides* e PVAc.

Figura 32 (a, b, c, d, e, f): Diagrama de flexão versus deformação de corpos de prova de compósito de fibra de bambu e PVAc.



Fonte: autor, 2020

Figura 33. (a, b, c, d, e, f): Diagrama de flexão versus deformação de um corpo de prova de compósito de fibra de bambu e PVAc.



Fonte: autor, 2020.

Após ensaio de flexão, os corpos de prova demonstraram possuir um aceitável fator de resiliência, ou seja, retornam facilmente a forma inicial quase que por completo como mostra a Figura 34.

Figura 34. corpos de prova pós-ensaio de flexão: *Bambusa vulgaris* (a); *Bambusa tuldooides* (b).



Fonte: autor, 2020.

Caracterização química

6.3.1 Espectroscopia por FTIR e Raman

Para a caracterização química foram utilizadas duas técnicas de análise, espectroscopia de infravermelho (FTIR) e Raman. As duas técnicas são complementares sendo utilizadas para identificação dos grupos funcionais nas fibras e suas ligações químicas existentes em uma molécula de materiais em estado sólido, líquido ou gasoso. Embora sejam técnicas que fornecem informações muito semelhantes se baseiam em maneiras diferentes de obtenção de resultados. Para o FTIR, os resultados são obtidos a partir da absorção de radiação, e para o Raman por meio do espalhamento da energia irradiada (FREDERICCI, 2016; RODRIGUES, 2012; BARBOSA, 1979).

As medidas de FTIR foram realizadas em um espectrômetro Bruker (Vertex 70v), no Complexo de Centrais de Apoio à Pesquisa (COMCAP) da Universidade Estadual de Maringá. Os espectros das amostras foram adquiridos através do programa OriginPro Trial 2020 em varreduras no intervalo entre 4000 a 400 cm^{-1} e interpretados de maneira computacional pela versão acadêmica do programa KnowItAll da empresa BioRad.

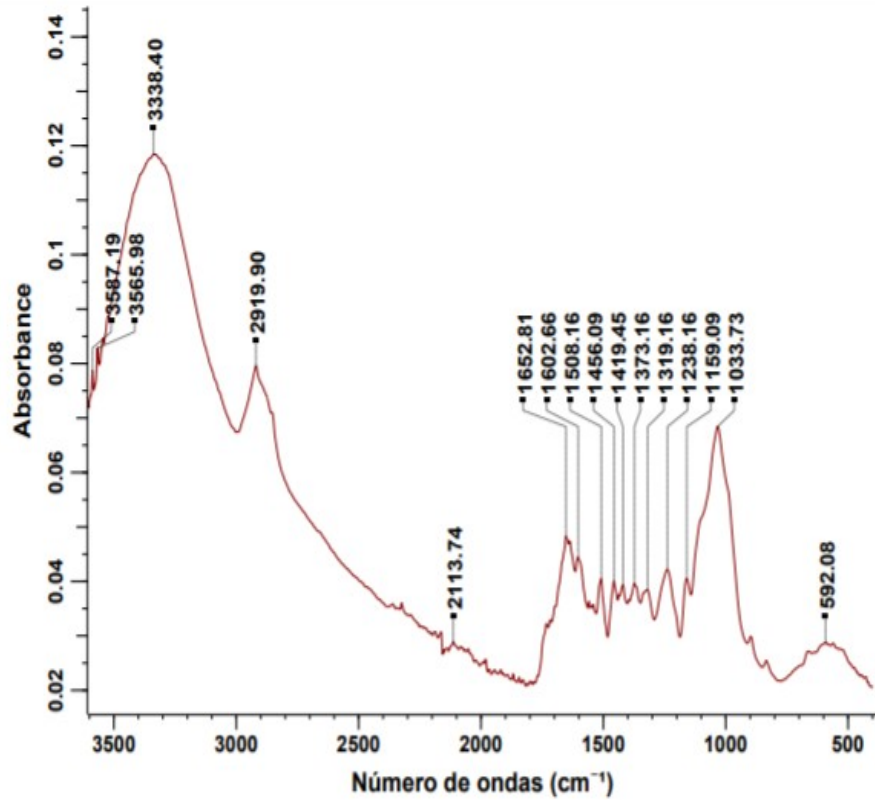
Os picos ativos obtidos de ambas as espécies estudadas tiveram muita similaridade, possivelmente indicando pequenas variações de intensidade. A literatura revisada sugere que para cada banda de absorbância, há picos que podem estar associados a grupos funcionais característicos de materiais lignocelulósicos (SÁNCHEZ, 2017).

Os principais elementos químicos dos materiais lignocelulósicos são lignina, celulose, hemicelulose, amido, sílica e pectina.

Os picos que podem sugerir a presença destes componentes foram mostrados na Figura 35 (a) e (b) para o FTIR e Figura 36 (a) e (b) para Raman.

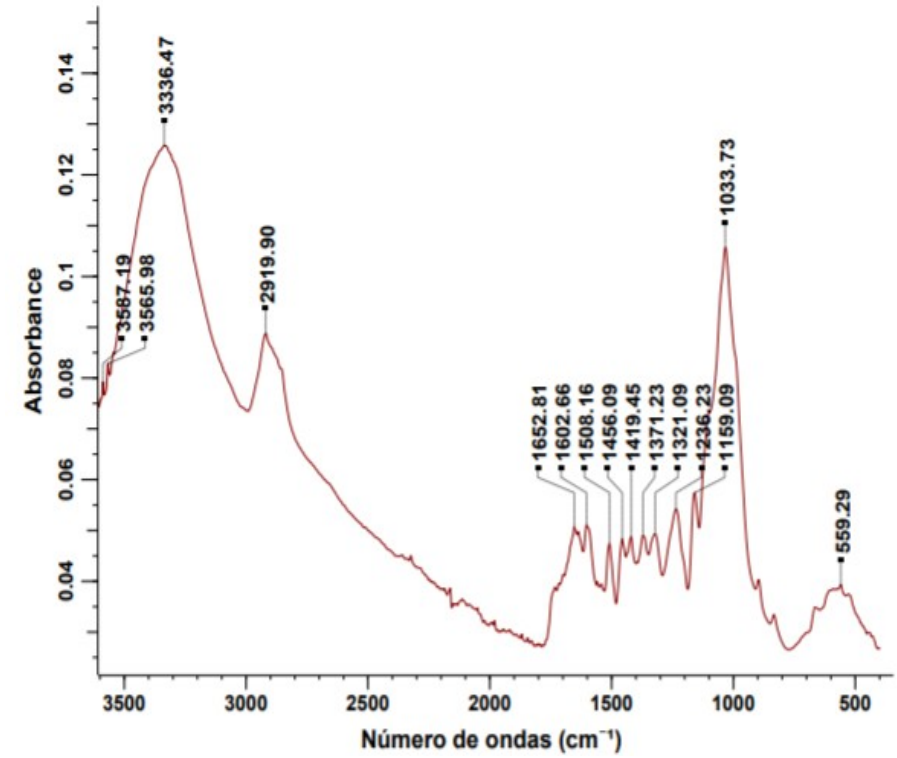
Figura 35.: FTIR das amostras in natura *Bambusa vulgaris* (a); *Bambusa tuldoides* (b).

BIO-RAD



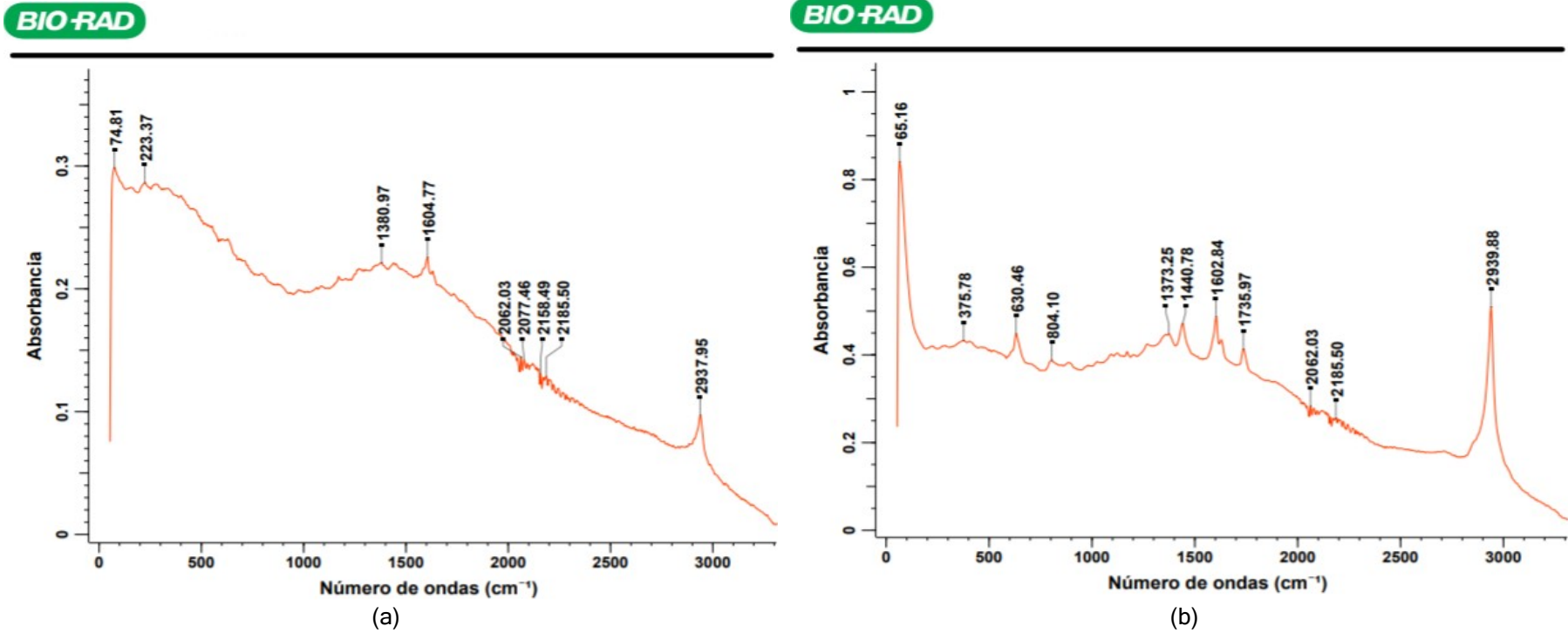
(a)

BIO-RAD



(b)

Fonte: autora, 2020.

Figura 36. Espectroscopia Raman das amostras in natura *Bambusa vulgaris* (a); *Bambusa tuldoides* (b)

Fonte: autora, 2020.

Os resultados da análise FTIR e Raman em amostras de bambu foram apresentadas e comparadas com a literatura. Segundo Liu (2013), as bandas entre 1600 a 1450 cm^{-1} correspondem à região característica da lignina, hemicelulose, celulose e pectina. Os picos 1558, 1508 cm^{-1} indicam a presença de lignina como também os picos 3338 e 1234 cm^{-1} . Porém, o pico 1732 cm^{-1} indica a remoção parcial da lignina e hemicelulose.

Os picos 900 e 896 cm^{-1} podem ser atribuídos a ligações β -glicosídicas entre unidades de xilose na hemicelulose. As bandas entre 1458 e 1373 cm^{-1} podem indicar absorção típica da celulose. Os picos 1630 e 1639 cm^{-1} são atribuídos à vibração de alongamento presença de amido e H_2O respectivamente.

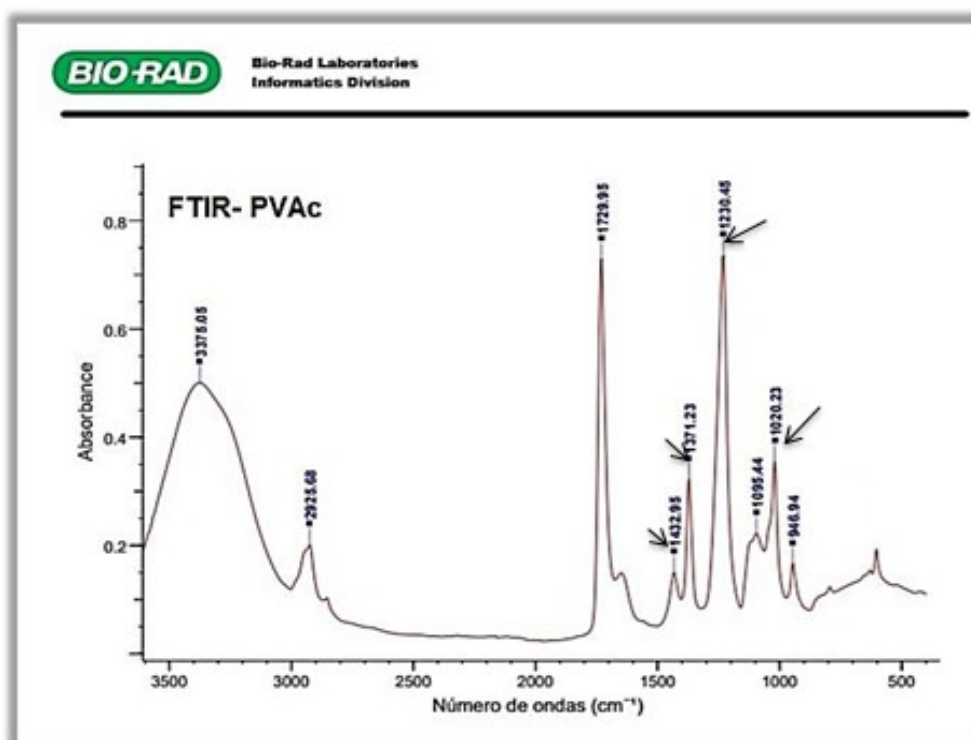
De acordo com Liew (2015), a banda 3200 a 3500 cm^{-1} (3338 cm^{-1}) costuma indicar um aumento hidroxila e o pico 2921 cm^{-1} indica polissacarídeo CH. O pico 561 indica a presença de CBr. O pico 1735 cm^{-1} indica à ligação C=O do grupo carboxílico de hemicelulose e pectina.

O espectro entre 60 e 90 cm^{-1} (69 cm^{-1}) indica a presença de sílica que se apresenta na espectroscopia Raman. O pico 600 cm^{-1} no FTIR indica a presença de CBr (LEITE, 2012).

A Figura 35 mostra os espectros FTIR típicos do acetato de polivinila na região entre os picos 1224 e 1016 cm^{-1} . De acordo com D'Amelia (2016), as bandas de absorção específicas para a molécula de PVAc são sinalizadas pelas áreas de pico 1433, 1370, 1224 e 1016 cm^{-1} que correspondem as principais vibrações identificadas detectadas por espectroscopia.

Os picos indicados com setas (Figura 37) podem corresponder, por proximidade, aos relatados na literatura.

Figura 37. Espectroscopia FTIR da amostra de PVAc (acetato de polivinila).



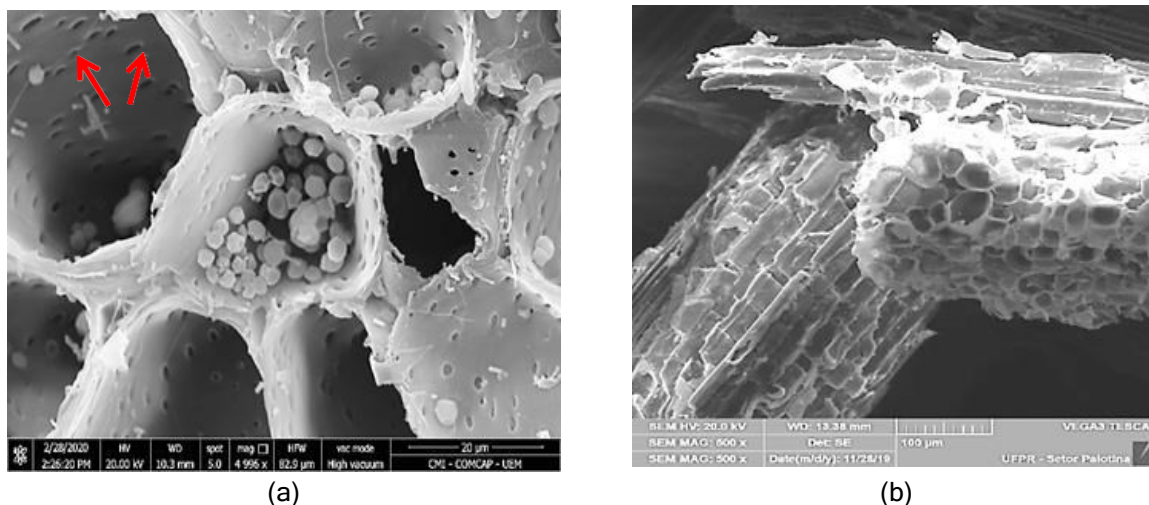
Fonte: autora, 2020.

Análise por MEV da microestrutura das fibras e adesão das partículas/matriz

A Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) consiste na análise da microestrutura de materiais *in natura* e compósitos. Objetivo é identificar por meio de imagens da microestrutura as modificações superficiais como defeitos, falhas, rupturas e interações da fibra/matriz.

Algumas dessas modificações podem influenciar na qualidade mecânica dos compósitos como mostram as Figuras 38, 39, 40 e 41 (a, b).

Figura 38. MEV da *Bambusa vulgaris* in natura: (a) microfibrilas grânulos de amido; (b) fratura da microfibrila.

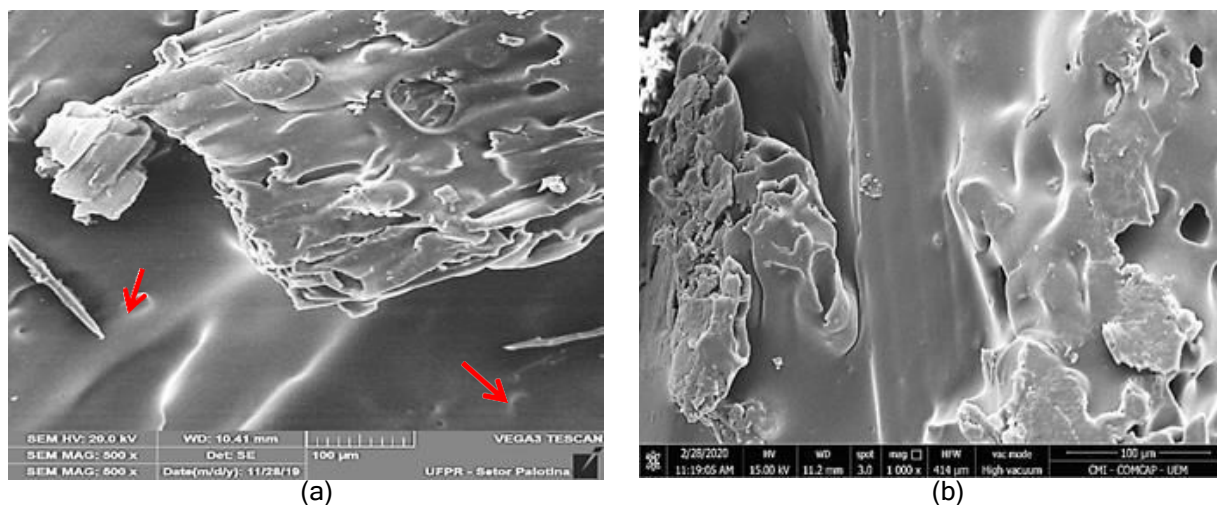


Fonte: Central de Microscopia-UEM, Central de Microscopia-UFPR.

Na micrografia da Figura 38 (a) foi possível observar porções residuais de amido (seta amarela) e pontuações (setas vermelhas). Estes microscópicos furos estão distribuídos ao longo das fibras naturalmente encobertas pelas camadas de celulose retiradas no processo de polpação mecânica. De acordo com Benini (2011), o aparecimento destes orifícios aumenta a superfície de adesão auxiliando na ancoragem mecânica da matriz polimérica (PVAc) com a fibra.

A Figura 38 (b) mostra a ruptura da fibra (seta vermelha), conjunto de células elípticas do parênquima (seta azul) onde são armazenados os grânulos de amido e o aumento da rugosidade superficial pós-tratamento mecânico. Segundo Sánchez (2017), o aumento da rugosidade superficial (seta amarela) proporciona maiores pontos de interação dos materiais que constituem os compósitos gerando maior adesão.

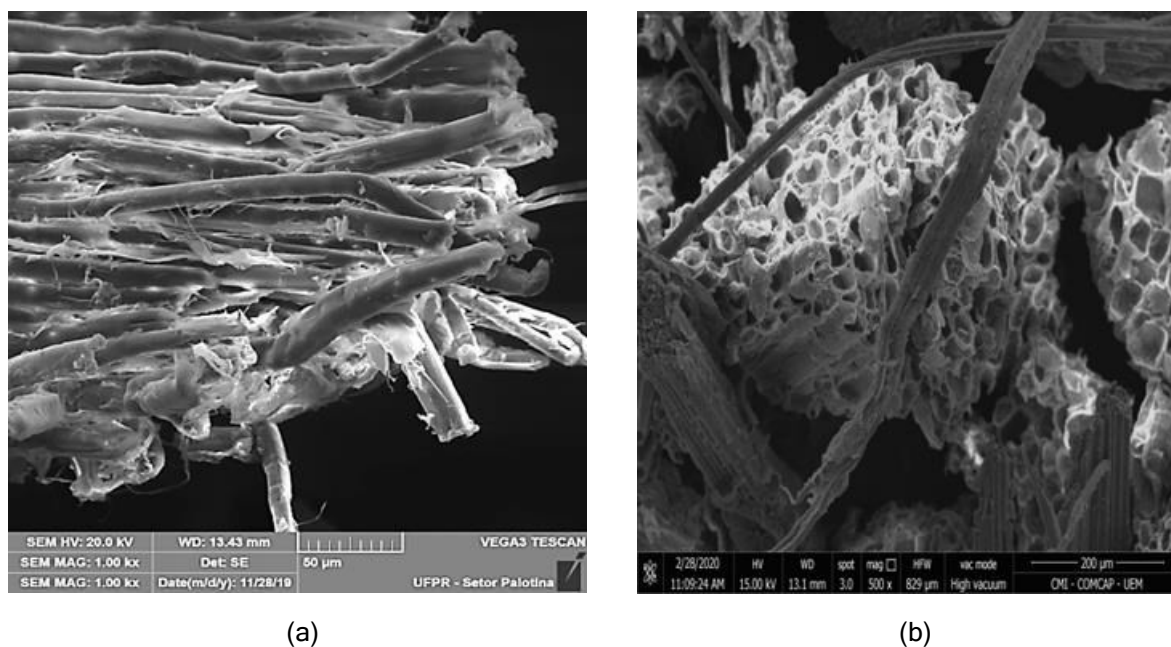
Figura 39. MEV da *Bambusa vulgaris* com PVAc: (a) e (b) fibras recobertas com PVAc.



Fonte: Central de Microscopia-UEM, Central de Microscopia-UFPR.

A Figura 39(a) a fibra de *Bambusa vulgaris* recoberta com PVAc (cola branca) e a presença de bolhas de ar marcadas pelas setas vermelhas. Na Figura 39 (b) as setas mostram as falhas no recobrimento de cola possivelmente resultado do rompimento das bolhas de ar.

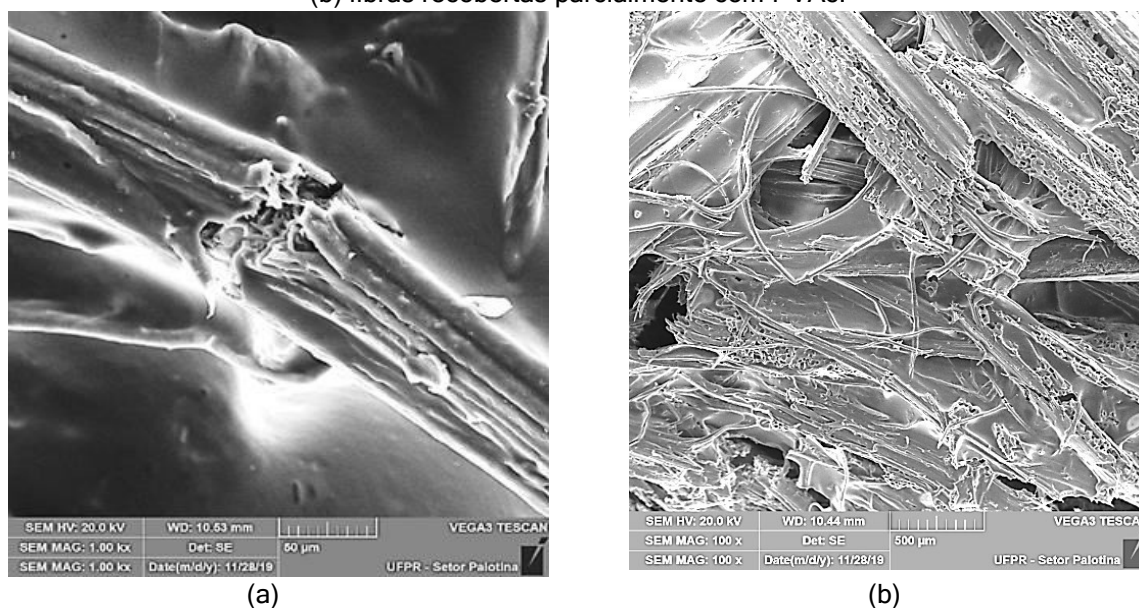
Figura 40. MEV da *Bambusa tuldooides* in natura: (a) (b) fratura das microfibrilas.



Fonte: Central de Microscopia-UEM, Central de Microscopia-UFPR.

A imagem 40 (a) mostra as micro fibrilas *in natura* com extremos rompidos, mas interligadas parcialmente no sentido longitudinal, possivelmente pelas camadas residuais de lignina. A imagem 40 (b) mostra que as fibras pós polpação não tiveram designação total, pois várias fibras encontram-se parcialmente interligadas.

Figura 41. MEV da *Bambusa tuldooides* com PVAc: (a) fibra fraturada com adesão parcial do PVAc ; (b) fibras recobertas parcialmente com PVAc.



Fonte: Central de Microscopia-UFPR, Palotina.

Na imagem 41 (a), a seta indica a fratura da fibra da *Bambusa tuldooides* no compósito com falha de recobrimento do polímero. A Figura 41 (b) mostra uma malha de fibras com formação heterogênea com muitas falhas no recobrimento de PVAc. Essas lacunas podem indicar uma deficiência na homogeneização dos materiais na fase de mistura, fato que possivelmente ocorreu por conta do ser efetuado manualmente.

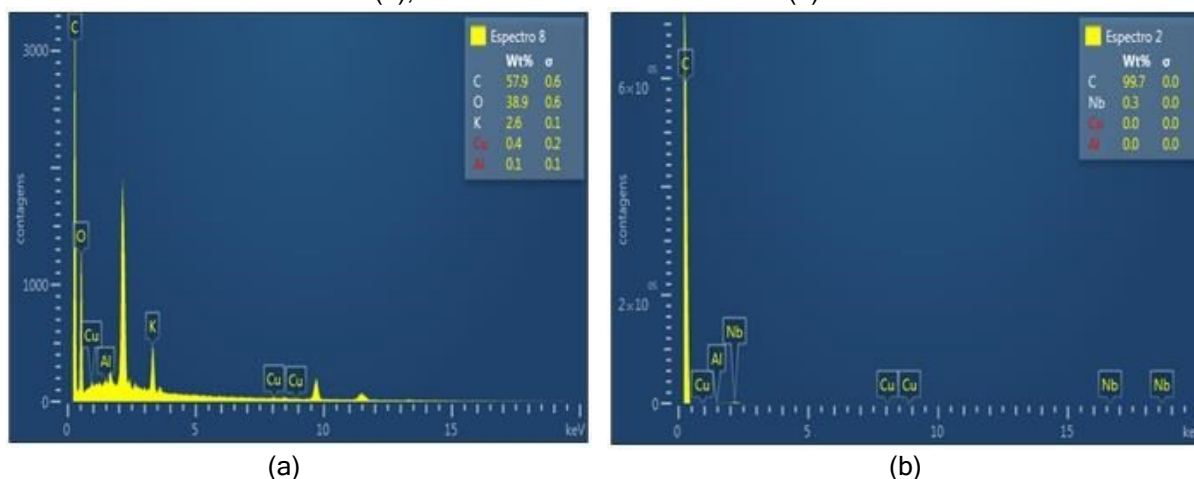
Análise dos elementos inorgânicos por EDS

A análise por EDS (Energy Dispersive X-ray Spectroscopy) é uma ferramenta muito útil para a identificação de dados relacionados com a química inorgânica de materiais. É um equipamento acoplado ao MEV que busca um mapeamento elementar nas mesmas amostras usadas na análise anterior. É um procedimento

considerado não destrutivo que permite o acesso a imagens gráficas não quantitativas.

As Figuras 42 (a) e (b) apresentam imagem do mapeamento elementar por EDS das amostras de *Bambusa tuldoides in natura* e com PVAc, respectivamente.

Figura 42. Elementos inorgânicos detectados em microanálise de EDS: *Bambusa tuldoides in natura*: (a); *Bambusa tuldoides* com PVAc (b).

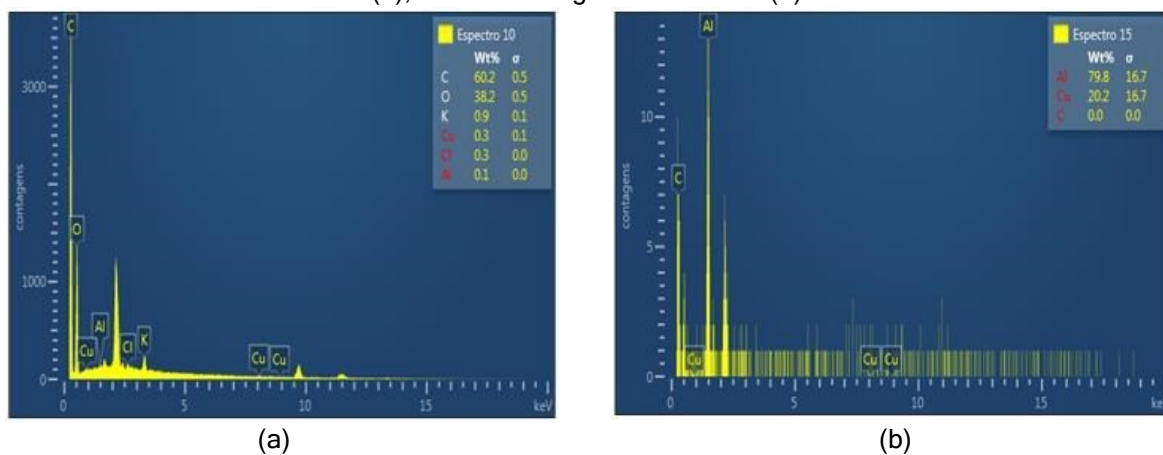


Fonte: Central de Microscopia-UEM, Maringá.

Nas duas imagens estão identificados por picos os elementos inorgânicos presentes nas amostras. Foram constatadas a presença de pequenas concentrações de Cobre (Cu), Nióbio (Nb) e Alumínio (Al) em maior concentração Potássio (K), Oxigênio (O) e Carbono (C).

As Figuras 43 (a) e (b) apresentam imagem do mapeamento elementar por EDS das amostras de *Bambusa vulgaris in natura* e com PVAc, respectivamente.

Figura 43. Elementos inorgânicos detectados em microanálise de EDS: *Bambusa vulgaris in natura*: (a); *Bambusa vulgaris* com PVAc (b).



Fonte: Central de Microscopia-UEM, Maringá.

Nas duas imagens, estão identificados por picos os elementos inorgânicos presentes nas amostras. Foram constatadas a presença de pequenas concentrações de Cobre (Cu), Alumínio (Al), Cloro (Cl) e maior Potássio (K), Oxigênio (O) e Carbono (C).

Observou-se que para análise em EDS, com exceção do Potássio (K), houve pequenas variações da intensidade dos picos dos elementos quando relacionadas às duas espécies de bambu *in natura*.

A presença do metal Nióbio (Nb) na amostra de *Bambusa tuldooides* com PVAc possivelmente se relaciona a uma contaminação do ambiente interno do equipamento, pois sua ocorrência na natureza somente está associada a minerais.

O elemento Cloro (Cl) somente se apresenta na amostra *in natura* da *Bambusa vulgaris*, indicando uma pequena diversidade entre as espécies estudadas no presente trabalho.

7 CONCLUSÃO

O presente trabalho pretendeu relacionar a utilização da fibra/partícula de bambu como material alternativo na construção civil com o debate contemporâneo a respeito da sustentabilidade socioambiental local.

Após confeccionar os corpos de prova dos compósitos de partículas de bambu de duas espécies utilizando adesivo PVAc, foram executados ensaios físico, químico e mecânicos com o objetivo de adquirir dados para a caracterização das propriedades de compósitos de partículas.

Ante os resultados destas análises, foi possível deduzir algumas considerações finais que seguem relatadas.

No processo de confecção dos corpos de prova, verificou-se que somente é possível o uso do material fibroso completamente seco, pois quando úmido tende a se formar uma trama de fibras, comprometendo a seleção granulométrica em peneiras.

Dentre as diversas metodologias para produção de compósitos descrita na literatura, o processo escolhido foi o de polpação/deslignificação das fibras com água em meio mecânico por se mostrar o mais sustentável.

O ensaio de compressão não possui normas para a modalidade de compósitos, então, como referência, foram utilizados os valores da norma europeia. Os resultados do MOE e MOR atenderam aos valores indicados na EN 310 (1999).

Os valores para os ensaios de flexão atenderam as indicações da norma NBR 14810-2 (2013). O ensaio atingiu a ruptura para todos os corpos de prova, possibilitando assim determinar o módulo de ruptura (MOR).

Apesar dos compósitos não terem atingido positivamente a todos os parâmetros das normas consultadas para ensaios mecânicos, os resultados demonstraram que o material é flexível à força aplicada e portanto para utilizações que necessitem desta propriedade ele é suficiente, como por exemplo, na confecção de painéis acústicos.

A densidade média para os compósitos confeccionados apenas atenderam as recomendações das normas britânicas, indicando que pode ter ocorrido falhas na compactação do material.

Em relação aos valores médios obtidos pelo ensaio de inchamento em espessura em 24 h, os resultados para as duas espécies atenderam as especificações da norma NBR 14810-2 (2013).

O teste com vários impermeabilizantes representou uma importante etapa com o objetivo para diminuição da capacidade de absorção de água, necessitando, porém de maiores aprimoramentos das análises.

As análises FTIR e Raman, sendo complementares, demonstraram a presença de celulose, hemicelulose, lignina, pectina, amido e sílica. Estes elementos químicos estão indicados na bibliografia de referência.

As microanálises realizadas por meio de MEV mostraram as microestruturas, a ruptura das fibras e das células parenquimáticas revelando a presença de grânulos de amido e lignina residuais. As imagens indicam que o método de deslignificação mecânica necessita de aperfeiçoamento para maior retirada da lignina e amido, se for o caso desses elementos danificarem o composto no decorrer do tempo.

Os poros e as rugosidades expostas apresentadas nas imagens das microfibrilas *in natura* indicam aumento da superfície de adesão para o adesivo no compósito final.

Nas imagens dos compósitos, foram sinalizadas falhas na cobertura das fibras pelo adesivo e a presença de algumas bolhas de ar, demonstrando a necessidade de melhor compressão do compósito.

A análise por EDS mostra a presença de alguns elementos químicos inorgânicos constituintes do material *in natura*: Alumínio (Al), Cloro (Cl), Carbono (C), Oxigênio (O) e Potássio (K). Segundo a literatura, a presença desses elementos indica que o composto teve homogeneidade na combinação de suas partes.

De maneira geral, os resultados das análises e ensaios demonstraram viabilidade da utilização de compósitos de fibras/partículas de bambus e cola branca como material alternativo para fins não estruturais na arquitetura e construção civil.

8. RECOMENDAÇÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

Com relação a futuros estudos, foi analisada a verificação mais aprofundada de alguns fatores, que seguem elencados:

A quantificação de lignina e de amido por meio de ensaios apoiados por profissionais técnicos em química.

Ampliação do estudo de diferentes dosagens das partículas/matriz.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE. **ANSI-A-208.1-87**: mat-formed wood particleboard. New York, 1987. 9 p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM: D-1037** - Standard methods of evaluating properties of wood-base fiber and particles materials. Philladelphia, 2002.

_____. **ASTM:D-3878-07**. Standard Terminology of Composite Materials. Conshohocken, USA, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT. **NBR 7190**: Projeto de estruturas de madeira. Anexo B: determinação das propriedades das madeiras para projetos de estruturas. Rio de Janeiro. 107 p., 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT. **NBR 14810**: chapas de madeira aglomerada: parte 2: requisitos. Rio de Janeiro, 2002. 4 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT. **NBR 15316-2**: Painéis de fibras de média densidade. Parte 2: requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2019. 4 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO BAMBU. Cadeia produtiva do bambu (2015).

ARAÚJO, C. R. **Cinética de decomposição térmica de compósitos poliméricos com fibras de curauá**. 2003. Tese de Doutorado- Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil.

AZZINI, A.; GODIM-TOMAZ, R. M. A. Extração de amido em cavacos de bambu tratados com solução diluída de hidróxido de sódio. **Bragantia**, Campinas, p. 215-219, 1996.

AZZINI, A. *et al.* Desfibramento de cavacos laminados de Bambusa Vulgaris Schrad visando a extração de amido. **Bragantia**, Campinas, v. 57, n. 1, p., 1998.

AZZINI, A.; BERALDO, A. L. Determinação de fibras celulósicas e amido em cavacos laminados de três espécies de bambu gigante. **Scientia Forestalis**, v. 57, p. 45-51, 2000.

AZZINI, A.; BERALDO, A. L. **Métodos práticos para utilização do bambu**. Campinas: UNICAMP, 14 p., 2001.

BARBOSA, N. P.; GHAVAMI, K. Bambu como material de construção. (Artigo técnico) Departamento de Tecnologia da Construção Civil, **Centro de Tecnologia. Programa de Pós-graduação em Engenharia Urbana, UFPB**. João Pessoa, 2005.

BARBOSA, F. R. *et al.* Espectroscopia Raman e infravermelho em fibras óticas e em sílica, 1979.

BELINI, U. L. *et al.* Formaldeído livre em painéis de eucalipto e cana-de-açúcar. Revista Ciência da Madeira. **Brazilian Journal of Wood Science**, v. 6, n. 2, 2015.

BENINI, K. C. C. de C. **Desenvolvimento e caracterização de compósitos poliméricos reforçados com fibras lignocelulósicas:HIPS/fibra da casca do coco verde e bagaço de cana de açúcar**. Guaratinguetá : [s.n], 2011. 125 f. : il. Bibliografia: f. 106-113.

BERALDO, A. L. *et al.* **Bambu: características e aplicações**. Guaíba: Agropecuária. RS, 127p. 2004.

BERALDO, A. L.; JOSE, F. J. Tableros de partículas de bambú (*Bambusa vulgaris* Schrad) y resina poliuretana a base de aceite de rícino (*Ricinus communis* L.). **Ambient. constr.** (Online), Porto Alegre , v. 10, n. 4, p. 259-266, dez. 2010.

BERALDO, A. L. **Bambu: características e aplicações na construção civil e em arquitetura** / Antonio L. Beraldo e Luiz Roberto P. Aleixo. - 1.ed. - Bauru, SP: Canal6, 2019. 108 p. ; 21 cm.

BILESKEY, P. R. **Caracterização química, física e anatômica do bambu *Guadua tagoara* para polpação Kraft**. 2014. 57 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2014.

BOUSQUET, Y. Beetles associated with stored products in Canada: An identification guide. Canada: **Agriculture and agri-food**. Ottawa, 214 p.1990.

CARBONARI, G. *et al.* Bambu-O aço vegetal. **Mix Sustentável**. 5. ed., v. 3, n., p. 117-25, 2017.

CAO, Y.; WU, Y. Evaluation of statistical strength of bamboo fiber and mechanical properties of fiber reinforced green composites. **Journal of Central South University of Technology**, v. 15, n. 1, p. 564-567, 2008.

CORREIA, Viviane Da Costa *et al.* Polpa celulósica de bambu produzida pelo processo etanol/água para aplicações de reforço. **Ciência Florestal**, v. 25, n. 1, p. 127-135, 2015.

D'AMELIA, R. P. *et al.* Quantitative analysis of copolymers and blends of polyvinyl acetate (PVAc) using Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) and elemental analysis (EA). **World J. Chem. Educ**, v. 4, n. 2, p. 25-31, 2016.

DE SÁ, Mayelli Dantas *et al.* Análise química, térmica e morfológica de compostos de PEEK/CaCO₃. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, v. 11, n. 1, 2016.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. European Standard **-EN 310 - Wood-based panels - Determination of modulus of elasticity in bending and of bending strength**. Bruxelas, 1993.

FANG, C. *et al.* An overview on bamboo culm flattening. **Construction and Building Materials**, v. 171, p. 65-74, 2018.

FARHAT, F. B. Proposições para um programa de governo de desenvolvimento sustentável da cadeia produtiva do bambu do Estado do Paraná, 28, 2010.

FAO and INBAR. 2018. Bamboo for land restoration. INBAR Policy Synthesis Report 4. INBAR: Beijing, China.

FILGUEIRAS, T. S.; OLIVEIRA, R. P.; SFAIR, J. C.; MONTEIRO, N. P.; BORGES, R. A. X. Poaceae. In: MARTINELLI, G.; MORAES, M. A. (Ed.). Livro vermelho da flora do Brasil. Rio de Janeiro: **Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro**, 2013, p. 858-881.

FILGUEIRAS, T. S.; VIANA, P. L. Bambus brasileiros: morfologia, taxonomia, distribuição e conservação. **Bambus no Brasil: da biologia à tecnologia**. Rio de Janeiro: ICH, p. 10-27, 2017.

FREDERICCI, Catia et al. Aplicação da espectroscopia raman na identificação de minerais asbestiformes. **Revista IPT: Tecnologia e Inovação**, v. 1, n. 1, 2016.

GUERRA, S.P.S. *et al.*, **Bambus no Brasil: da Biologia à Tecnologia**. 1ªed. Rio de Janeiro - RJ: Instituto Ciência Hoje, 2017, v. 01, p. 01-655.

GHAVAMI, K.; MARINHO, A. B. Propriedades Geométricas e Mecânicas de Colmos dos Bambus para Aplicação em Construções. **Engenharia Agrícola**. Jaboticabal, v. 23, n.3, p. 415-424, 2003.

GHAVAMI, K.; MARINHO, A. B. . Propriedades Físicas e Mecânicas do Colmo Inteiro do Bambu da Espécie *Guadua angustifolia*. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande -PB, v. 9, n.1, p. 107-114, 2005.

GUIMARÃES JUNIOR, M. *et al.* Caracterização físico-química de fibra e polpas de *Bambusa vulgaris* Schrad para utilização em compósitos poliméricos. **Rev. LatinAm. Metal. Mat**, v. 33, n. 1, p. 33-42, 2013.

GOYAL, A. K.; KAR, P.; SEN, A. Advancement of bamboo taxonomy in the era of molecular biology: a review. **Biology of useful plants and microbes**, Narosa publication house, New Delhi, p. 197-208, 2013.

HUANG, P., CHANG, W., ANSELL, M., CHEW, J., SHEA, A. (2015). Density distribution profile for internodes and nodes of *Phyllostachys edulis* (Moso bamboo) by computer tomography scanning. **Construction and Building Materials**, v. 93, p.197-204, 2015.

IWAKIRI, S.; ANDRADE, A. S. de; CARDOSO JUNIOR, A. A.; CHIPANSKI, E. do R.; PRATA, J. G.; ADRIAZOLA, M. K. O. Produção de painéis aglomerados de alta densificação com uso de resina melamina-ureia-formaldeído. In: **Revista Cerne**, Lavras, v. 11, n. 4, p. 323-328, out./dez. 2005.

INTERNATIONAL NETWORK FOR BAMBOO AND RATTAN (INBAR). Bamboo Panel Boards: a State of the Art Review. New Delhi, India: **Technical Report**, nº 12, 1999. p.119.

INSTITUTO PARANAENSE DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL, 2018.

JAYARAMAN, D., LONG, T.T. Manual for Sustainable Management of Clumping Bamboo. **INBAR Technical Report 41**. Beijing, China: INBAR, 2019. Disponível em: <<https://resource.inbar.int/upload/file/1578457574.pdf>>

KERSCHER, J. J. **Arquitetura e sustentabilidade**: bases conceituais para o projeto ecológico. 18 f. Relatório final, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

LEITE, Diego de Oliveira; PRADO, Rogério Junqueira. Espectroscopia no infravermelho: uma apresentação para o Ensino Médio. **Rev. Bras. Ensino Fís.**, São Paulo , v. 34, n. 2, p. 1-9, June 2012 .

LIESE, W. The anatomy of bamboo culms. In: INTERNATIONAL NETWORK FOR BAMBOO AND RATTAN (INBAR). 1998. China. **Technical Report 20**. China, 1998. 4p.

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.

LI, X. Physical, **Chemical, and Mechanical Properties of bamboo and its utilization potential for fiberboard manufacturing**. 2004. 68p. Tese (Master of Science in Renewable Natural Resources)-Faculty of Agriculture and Mechanical College, Louisiana State University, Louisiana.

LI, H. et al. Large-span bamboo fiber-based composites, Part I: A prediction model based on the Lucas-Washburn equation describing the resin content of bamboo fiber impregnated with different PVAc/PF concentrations. **BioResources**, v. 9, n. 4, p. 6408-6419, 2014.

LIEW, F. K. *et al.* Synthesis and characterization of cellulose from green bamboo by chemical treatment with mechanical process. **Journal of Chemistry**, 2015.

LIMA, C. R. Caracterização físico-mecânica do laminado colado de bambu (*Dendrocalamus giganteus*). **Revista Ciências Florestal**, Santa Maria, jan./mar., v.19, n.1 p.41-51, 2013.

LIU, Zhijia; FEI, Benhua. Characteristics of moso bamboo with chemical pretreatment. *Sustainable Degradation of Lignocellulosic Biomass: Techniques, Applications and Commercialization*, p. 3-14, 2013.

LOPEZ, O.H. **Bamboo: The Gift of the Gods**. Bogotá, Colombia S.A.: The Author. 553p. 2003.

MACIEL, A. dos S.; AFONSO, D. G.; MIRANDA, E. M. de. Plano Estadual de Desenvolvimento do Bambu. Rio Branco, AC: SECT; **FUNTAC**; **EMBRAPA** Acre; SEBRAE, 2016. 54 p.

MATOSKI, S. L. S. **Comportamento de Dinoderus minutus Fabricius (1775) - (coleóptera: bostrichidae) em peças torneadas de madeira**. 106 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

MERA, T.; XU, C. Plantation management and resource economics of bamboo in China. **Ciencia y Tecnología**. v 7, n.1, 2014.

MELO, R. R. de; DEL MENEZZI, C. H. S. Influência da Massa Específica nas Propriedades Físico-Mecânicas de Painéis Aglomerados. In: **Revista Silva Lusitana**, v.18, n.1. Lisboa, jun. 2010. Disponível em: <http://www.scielo.oces.mctes.pt/scielo.php?pid=S0870-63522010000100004&script=sci_arttext>. Acesso em: 30 abr. 2020.

MOIZÉS, F. A. **Painéis de Bambu, uso e aplicações**: uma experiência didática nos cursos de Design em Bauru, São Paulo. 2007. 113 p. Dissertação (Mestrado) - Curso de Desenho Industrial, Departamento de Arquitetura, Artes e Comunicação, Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2007

MORAIS, Wesley Wilker Corrêa et al. Uso de *Bambusa tuldoidea* e *Eucalyptus grandis* para confecção de painéis aglomerados. **Ciência Florestal**, v. 28, n. 2, p. 746-757, 2018.

NASSER, S. M. Painéis de partículas de bambu e casca de amendoim com adesivo à base de mamona / Sílvia Marana Nasser, 2016. 189 f.: il.

PADOVAN, R. B. **O bambu na arquitetura: design de conexões estruturais**. 2010.

PAES, J. B. *et al.* "Cacterização físico-mecânica do laminado colado de bambu DE BAMBU (*Dendrocalamus giganteus*)." **Ciência Florestal**, vol. 19, no. 1, pp.41-51, 2009.

PEREIRA, M. A. dos R. **Bambu, espécies, características e aplicações**. Unesp, Bauru, 1999.

PEREIRA, M. A. R.; BERALDO, A. L. **Bambu de corpo e alma**. Bauru, SP: Canal 6, 2016.

RIVERO, L. A.; BERALDO, A. L. Laminado colado e contraplacado de bambu. Universidade Estadual de Campinas. **Faculdade de Engenharia Agrícola**. Campinas - SP. Agosto, 2003.

ROMO, R.; CARLOS, J. El bambú como material de construcción. **Conciencia Tecnológica** [en línea]. 2006, (31), 67-69. Disponível em: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=94403115>. Acesso em: março de 2020.

RODRIGUES, Ariano De Giovanni; GALZERANI, José Cláudio. Espectroscopias de infravermelho, Raman e de fotoluminescência: potencialidades e complementaridades. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 34, n. 4, p. 1-9, 2012.

RUSCH, F., HILLIG, É., CEOLIN, G. (2018). Anatomia de hastes adultas de bambu: uma revisão. **Pesquisa Florestal Brasileira**, 38. Doi: <https://doi.org/10.4336/2018.pfb.38e201701530>

SALGADO, A. L. de B. *et al.* **Instruções técnicas sobre o bambu**. Campinas: Instituto Agrônômico, 1992. 43 p. (IAC. Boletim Técnico, 143)

SÁNCHEZ, M. L. *et al.* **Caracterização física e mecânica de colmos inteiros do bambu da espécie *Phyllostachys aurea*** : Comportamento à flambagem / Martha Lissette Sánchez Cruz; orientador: Khosrow Ghavami. – Rio de Janeiro : PUC, Departamento de Engenharia Civil, 2002.
[20], 114 f. : il. ; 30 cm

SÁNCHEZ, M. L. *et al.* Physical and mechanical properties of agglomerated panels made from bamboo fiber and vegetable resin. **Construction and Building Materials**. p. 156, 330-339, 2017.

SANTOS, P. S. B. *et al.* Caracterização da lignina obtida da madeira de diferentes espécies por meio do processo organossolve. **Revista Ciência da Madeira (Brazilian Journal of Wood Science)**, v. 6, n. 3, 2015.

SILVA, R. V. da. **Compósito de resina poliuretano derivada de óleo de mamona e fibras vegetais**. 157 f. Tese (Doutorado em Ciências e Engenharia de Materiais) - Área Inter unidades em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

SYAMSU, Khaswar *et al.* Structure analysis of three non-wood materials for liner paper. **Nordic Pulp & Paper Research Journal**, v. 34, n. 4, p. 453-466, 2019.

SPOLIDORO, P. V. **Características dendrométricas e propriedades físicas dos colmos de *Bambusa vulgaris* e *Bambusa tuldoides***. 68 f. Trabalho de graduação (Disciplina Trabalho de conclusão de Curso) - Curso de Engenharia Florestal, Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2008.

TIBURTINO, R. F. *et al.* Tratamento Preservativo de Duas Espécies de Bambu por Imersão Prolongada e Boucherie Modificado. **Floresta e Ambiente**, v. 22, n. 1, p. 124-133, 2015.

THOMPSON, R. **Materiais sustentáveis, processos e produção**. Tradução Débora Isidoro. São Paulo: Senac, 2015.

VAN LENGEN, J. **Manual do arquiteto descalço**. Instituto de Tecnologia Intuitiva e Bio-Arquitetura, 1996.

VASCONCELLOS, R. M. de. Cartilha de Fabricação de Móveis de Bambu. **Instituto do Bambu**. 2004. Disponível em : [www.permear.org.br/pastas/...cartilhamoveisinbambu](http://www.permear.org.br/pastas/cartilhamoveisinbambu).

VIEIRA, A. J. T. *et al.* Aplicação da fibra de bambu aos sistemas industrializados para desenvolvimento de placas de concreto. **Veredas Favip-Revista Eletrônica de Ciências**, v. 9, n.1,p. 92-106, 2016.

WEBER, C. **Estudo sobre viabilidade de uso de resíduos de compensados, MDF e MDP para produção de painéis aglomerados**. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. Curitiba. 2011.

WOOD PANEL INDUSTRIES FEDERATION -. **WPIF Panel Guide, annex 2G**. 2018. Disponível em:< <http://www.wpif.org.uk>>. Acesso em: 01 de maio de 2020.