

## Avaliação física e mecânica de compósitos de gesso reforçados com fibra de *Bambusa tuldoides*

Physical and mechanical evaluation of plaster composites *Bambusa tuldoides* fiber-reinforced plaster composites

Bruna Lopes Alvarenga<sup>1</sup>, Laércio Mesquita Júnior<sup>2</sup>, Douglas Lamounier Faria<sup>2</sup>,  
Matheus Cordazzo Dias<sup>2</sup>, Vinícius Lopes Alvarenga<sup>1</sup>, Lourival Marin Mendes<sup>2</sup>,  
José Benedito Guimarães Júnior<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Engenharia - Universidade Federal de Lavras, CP. 3037, CEP: 37200-900, Lavras, MG, Brasil.

<sup>2</sup>Departamento de Ciências Florestais - Universidade Federal de Lavras, CP. 3037, CEP: 37200-900, Lavras, MG, Brasil.

E-mail: blopesalvarenga@gmail.com, laerciomjr@gmail.com, douglas.lamounier@yahoo.com,

matheus.cordazzo@gmail.com, viniciusl.alvarenga@hotmail.com, lourival@ufla.br, jose.guimaraes@ufla.br.

---

### RESUMO

Essa pesquisa objetivou avaliar o potencial do bambu *Bambusa tuldoides* como reforço na matriz de gesso. Foi determinada a densidade básica, dimensões de fibras e constituição química da matéria-prima. Foram produzidos compósitos com substituição em volume da pasta de gesso por 0, 5, 10, 15, 20, 25 e 30% de bambu com uma relação água/gesso de 1:1. Para a caracterização mecânica dos compósitos foram realizados ensaios de flexão estática, compressão e densidade aparente. Os valores obtidos na avaliação da fibra apresentaram valores próximos à literatura. Na caracterização dos compósitos todas as propriedades tiveram regressão quadrática significativa e foi possível verificar o comportamento similar entre propriedades mecânicas e a densidade. Na densidade ocorreu um aumento do seu valor até a porcentagem de 17,41% que pode ser justificado devido à absorção da água pela fibra decorrente da presença de pontuações, o que gera uma diminuição na relação água gesso e um aumento da densidade. Já o decréscimo da densidade a partir de 17,41% está relacionado com a grande quantidade de fibras presente que ficam emaranhadas e causam espaços vazios já que a pasta de gesso não consegue infiltrar nesses locais. Na compressão, as porcentagens entre 3,37 e 26,19% são as que atenderam as exigências normativas (maior que 2 MPa), e na flexão as porcentagens entre 0 e 27,23% são as que estão em conformidade com a norma (maior que 1 MPa). Os resultados mostraram que a utilização do bambu *Bambusa tuldoides* como reforço é viável entre as porcentagens 3,37 e 26,19% para atender todas as exigências normativas.

**Palavras-chave:** Análise química, fibras vegetais, matriz cerâmica.

---

### ABSTRACT

This research aimed to evaluate the potential of *Bambusa tuldoides* as reinforcement in the plaster matrix. The basic density, fiber dimensions and chemical constitution of the raw material were determined. Composites were produced with volume replacement of gypsum paste by 0, 5, 10, 15, 20, 25 and 30% of bamboo with a water / gypsum ratio of 1: 1. For the mechanical characterization of the composites, static bending, compression and bulk density tests were performed. The values obtained in the fiber evaluation presented values close to the literature. In the characterization of composites all properties had significant quadratic regression and it was possible to verify similar behavior between mechanical properties and density. In density there was an increase of its value up to the percentage of 17.41% that can be justified due to the absorption of water by the fiber due to the presence of scores, which generates a decrease in the water plaster ratio and an increase in density. The decrease in density from 17.41% is related to the large amount of fibers present that get tangled and cause voids since the plaster paste cannot infiltrate these places. In compression, the percentages between 3.37 and 26.19% are those that met the normative requirements (greater than 2 MPa), and in flexion the percentages between 0 and 27.23% are those that comply with the standard (greater than 1 MPa). The results showed that the use of

*Bambusa tuldooides* as reinforcement is viable between 3.37 and 26.19% to meet all regulatory requirements.

**Keywords:** Chemical analysis, vegetal fibers, ceramic matrix.

## 1. INTRODUÇÃO

O gesso é um material aplicado em sua maior parte na construção civil e que tem sido utilizado desde a antiguidade [1]. A matéria prima do gesso em pó pode ser obtida de pedreiras no desmonte da rocha sedimentar gipsita ou em fosfogesso [2]. A mais comum, que é através do desmonte do mineral gipsita, tem em sua constituição maior parte de sulfato de cálcio di-hidratado ( $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ ). Para ser transformada em gesso em pó deve ser realizado o seu aquecimento que faz com que perca 1,5 moléculas de água, convertendo em hemi-hidrato ( $CaSO_4 \cdot 0,5H_2O$ ) [3].

A sua ampla utilização como material de construção se deve à diversas vantagens, o que inclui boa relação custo-benefício, baixo consumo de energia, boa resistência ao fogo, propriedades de isolamento térmico e acústico, bem como a possibilidade de sua reciclagem diversas vezes. Entretanto, por ser um material cerâmico possui ruptura frágil, além de ter baixa resistência a água faz com que sua utilização se restrinja à algumas condições como aplicação em locais sem contato com a água [4]. Deste modo, nas últimas décadas houve vários estudos relacionados com a melhoria das propriedades do gesso com a produção de compósitos [5].

Os compósitos têm como objetivo a adição de materiais, também conhecidos de enchimento ou reforço, em um material disperso (matriz) a fim de melhorar suas propriedades [4, 6]. A utilização de reforços visa a melhora de uma propriedade específica. A depender da finalidade que o produto necessita em suas propriedades finais, o reforço pode ser sintético ou natural. Fibras de carbono e poliméricas são alguns exemplos de reforço sintético, já as fibras vegetais é um tipo natural de reforço [6].

O estudo de compósitos reforçados com fibras vegetais está vêm crescendo em virtude de suas características, visto que há uma tendência mundial em conciliar a viabilidade econômica com a preocupação ambiental. As fibras vegetais são renováveis, com grande disponibilidade, biodegradáveis e proporcionam a captação de carbono. [7]. Além disso, em comparação com os materiais inorgânicos, foi verificado que as fibras vegetais apresentam maior resistência à tração, menor custo e menor abrasividade. Assim, a utilização dessas fibras tem sido feita para melhorar a resistência à flexão de compósitos a base de gesso bem como a realização de diversos estudos [6, 8, 9].

LUCOLANO *et al.* [10] estudaram a adição de fibras de cânhamo em gesso como reforço termomecânico e concluíram que mesmo em altas temperaturas ocorreu um aumento da tenacidade do gesso impedindo sua ruptura frágil. LUCOLANO *et al.* [11] analisaram diferentes tratamentos da fibra de abaca na interação com a matriz de gesso e obtiveram que com a tratamento com água destilada apresentaram melhor adesão ao gesso. MORALES-CONDE, RODRÍGUEZ-LIÑÁN e PEDREÑO-ROJAS [12] realizaram a caracterização das propriedades físicas e mecânicas de compósitos de gesso com substituição de 0 a 40% em madeira e observaram uma diminuição na resistência à flexão e na resistência à compressão para a substituição de 40%.

Entre os materiais lignocelulósicos mais utilizados nos dias atuais, o bambu se destaca por ser um vegetal de fácil acessibilidade, crescimento rápido, boas propriedades mecânicas, dentre outros. Ao ser incorporado em painéis ocasiona no aumento das propriedades de resistência, bem como estabilidade dimensional e elasticidade [13]. HUANG e YOUNG [14] avaliaram as propriedades de compósitos de resina epóxi reforçado com fibra de bambu e obtiveram um aumento da resistência a tração e do módulo de elasticidade com a diminuição do diâmetro da fibra de bambu. Já XIE, ZHOU e YAN [15] estudaram a resistência à flexão e ao impacto de compósitos de cimento reforçados com fibra de bambu com frações variando de 4% a 16% em peso de fibra e obtiveram melhora nas propriedades mecânicas.

Diante do exposto, a presente pesquisa teve como objetivo avaliar as propriedades físico-mecânicas de compósitos de matriz gesso reforçados com diferentes proporções de fibra *Bambusa tuldooides*, bem como a caracterização física, química e anatômica do reforço utilizado.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Os materiais utilizados para a produção dos compósitos, foram o gesso de fundição obtido no mercado local e fibras vegetais de *Bambusa tuldooides*, material lignocelulósico usado como reforço. As fibras vegetais, foram obtidas de uma plantação localizada na Universidade Federal de Lavras (UFLA), em Lavras, MG, com idade de 28 anos.

Foi realizada a caracterização física das fibras seguindo a metodologia sugerida na NBR 11941 [16]

para a determinação da densidade básica e na NBR 14660 [17] para a umidade na base seca. Na análise química do material foram obtidos o teor de cinzas, extrativos totais, lignina insolúvel, respectivamente pelas normas NBR 13999 [18], NBR 14853 [19], NBR 7989 [20]. A quantificação das holoceluloses foi realizada por diferença. Para a caracterização anatômica foram realizadas 30 medidas de comprimento, espessura da fibra e do lúme após o processo de maceração. A visualização ocorreu através do programa WinCell com a objetiva de 40x, sendo que o preparo da amostra para análise seguiu as recomendações da NBR 15066 [21].

Para a produção dos compósitos os colmos dos bambus foram cortados em tiras menores para posteriormente serem reduzidos em menores dimensões, utilizando o moinho de martelo. Após a trituração, o material passou por um conjunto de peneiras de com aberturas de 0,42 e 0,25 mm, sendo utilizado o material retido na menor.

A relação água/gesso para a produção dos compósitos foi de 1:1, sendo feita a substituição em volume por fibras de bambu nas proporções de 0 a 30% com intervalos de 5% adaptado de MORALES-CONDE, RODRÍGUEZ-LIÑÁN e PEDREÑO-ROJAS [12]. Foram pesados e misturados com o auxílio de um bastão de vidro a quantidade de material para cada tratamento. As formas apresentaram dimensões 40x40x160 mm conforme a norma EN13279-2 [22], utilizando vaselina sólida para facilitar o desmolde dos corpos de prova e posteriormente a pasta foi vertida. Na Tabela 1 estão apresentadas as porcentagens do gesso e da fibra de bambu utilizadas em cada tratamento e a Figura 1 estão alguns corpos de prova desmoldados.

**Tabela 1:** Porcentagem da mistura para cada compósito desenvolvido.

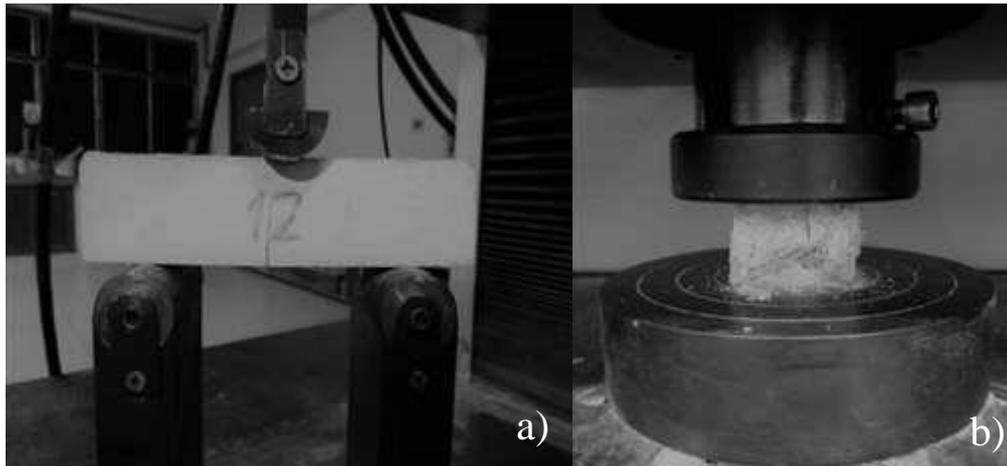
TRATAMENTO	GESSO (%)	FIBRA DE BAMBU (%)
0%	100	0
5%	95	5
10%	90	10
15%	85	15
20%	80	20
25%	75	25
30%	70	30



**Figura 1:** Corpos de prova prismáticos desmoldados.

Os corpos de prova endurecidos foram desmoldados e colocados na câmara de climatização por 6 dias, com temperatura de  $20 \pm 2$  °C e umidade relativa de  $20 \pm 2$ %. Posteriormente foram levados à estufa com temperatura de  $40 \pm 5$  °C por 24 horas, a fim de realizar a completa secagem do material.

A densidade aparente foi realizada conforme a norma NBR 13280 [23] e os ensaios mecânicos de flexão estática e compressão foram realizados de acordo com a normativa EN 13279-2 [22]. Nas Figuras 2a e 2b podem ser observados a realização dos ensaios de flexão e compressão dos compósitos



**Figura 2:** Corpos de prova submetidos aos ensaios a) flexão estática e b) compressão.

A interação entre as fibras de bambu *Bambusa tuldoides* com a matriz de gesso, foi investigada na superfície de ruptura do ensaio de flexão através do microscópio estereoscópio (Nikon SMZ 1500) e com o microscópio eletrônico de varredura (MEV) (Hitachi TM3000). O microscópio eletrônico de varredura foi operado sob uma tensão de aceleração de 15kV. Foi feito um pré-revestimento com uma fina camada de ouro para tornar a fibra condutora e adequada para análise.

Para avaliar as propriedades físicas e mecânicas dos compósitos de gesso reforçados com fibra de bambu, os dados foram submetidos à análise de variância e regressão, a 5% de significância. Os dados foram avaliados estatisticamente com o auxílio do *software* Sisvar.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2 podem ser observados os valores médios de densidade básica e umidade na base seca do bambu *Bambusa tuldoides*.

**Tabela 2:** Propriedades físicas da *Bambusa tuldoides*.

PROPRIEDADES FÍSICAS	VALOR
Densidade básica (kg/m <sup>3</sup> )	303 (3,63)
Umidade na base seca (%)	4,18 (26,07)

Os valores entre parênteses representam o desvio padrão, em porcentagem.

O valor encontrado para densidade básica como mostrado na Tabela 2 foi de 303 kg/m<sup>3</sup>, inferior ao encontrado por MORAIS *et al.* [24] que encontrou 456 kg/cm<sup>3</sup>. Contudo, segundo MOTA *et al.* [25] os valores de densidade para as diversas espécies de bambu podem sofrer variações, inclusive dentro da mesma espécie, principalmente devido a idade e estrutura anatômica. Com isso, a densidade é um parâmetro que depende principalmente do conteúdo, espessura da parede das células e diâmetro das fibras, sendo que espécies com densidade básica mais baixa apresentam fibras mais finas [26, 27]. O valor de densidade básica influencia na quantidade de partículas utilizadas para produção do compósito, pois está diretamente relacionado com a sua massa. Fibras com densidades mais elevadas resultam em compósitos com melhores propriedades mecânicas, já que apresentam mais massa lignocelulósica para resistir as solicitações externas que o material está submetido [28]. Porém, a baixa densidade do bambu resulta em uma relação resistência/peso maior em comparação ao aço e ao concreto [29]. Já a umidade na base seca obtida foi de 4,178%, superior ao encontrado por MORAIS *et al.* [24] para a espécie de bambu *Bambusa tuldoides* que variou de 2,23 a 2,86%, porém da mesma forma que a densidade, a umidade pode sofrer variações até mesmo dentro da mesma espécie.

A caracterização anatômica, bem como seu o valor obtido para o índice de esbelteza estão apresentados na Tabela 3.

**Tabela 3:** Caracterização anatômica das fibras de *Bambusa tuldoides*.

CARACTERIZAÇÃO ANATÔMICA	VALOR
Comprimento médio ( $\mu\text{m}$ )	1826,47 (18,29)
Espessura da fibra média ( $\mu\text{m}$ )	16,64 (23,80)
Diâmetro do lúmen médio ( $\mu\text{m}$ )	2,49 (39,36)
Espessura da parede média ( $\mu\text{m}$ )	14,16 (26,27)
Índice de Esbeltez $\lambda$	109,76

Os valores entre parênteses representam o desvio padrão, em porcentagem.

De acordo com *International Association of Wood Anatomists* (IAWA) [30] as fibras podem ser classificadas como de comprimento médio (910-1600  $\mu\text{m}$ ), moderadamente longa (1610-2200  $\mu\text{m}$ ) ou muito longa (2210 - 3000  $\mu\text{m}$ ). O comprimento médio obtido das fibras foi de 1826,47  $\mu\text{m}$ , assim esta é classificada como fibra do tipo moderadamente longa. De acordo com BENITES *et al.* [31], quanto maior o comprimento da fibra maior a possibilidade de entrelaçamento entre elas. Os valores médios encontrados para comprimento, espessura da fibra e diâmetro do lúme estão dentro da margem relatada por PHILIP [32] para bambus, que tem o comprimento variando de 1500 a 4400  $\mu\text{m}$ , de 10 a 25  $\mu\text{m}$  para a espessura das fibras e diâmetro do lúme com variação de 2,2 a 8,7  $\mu\text{m}$ . A espessura da parede tem sua variação entre 2 a 11  $\mu\text{m}$  e o valor médio obtido neste trabalho foi superior, porém, segundo RUSCH, CEOLIN e HILLING [27] a *Bambusa tuldoides* e também as espécies *Bambusa tulda* e *Bambusa nutans* são os que apresentam maior valor médio de espessura de parede, com valores que excedem 7,1  $\mu\text{m}$ , e são superiores ao diâmetro de seus respectivos lúmens, mesmo assim são classificados como estreitos, visto que apresentam comprimento significativamente maior que o diâmetro da fibra, o que gera um aumento da resistência a ruptura do produto devido a maior massa lignocelulósica em um mesmo volume em relação à outras espécies. Quanto maior a relação entre o comprimento e o diâmetro da fibra, maior o valor de índice de esbeltez e mais longilínea.

AZZINI e CIAMELLO [33] obtiveram as dimensões de comprimento, espessura da fibra e espessura da parede do bambu *Bambusa tuldoides* valores médios de respectivamente de 1890, 18 e 7,2  $\mu\text{m}$ , sendo os valores encontrados neste artigo próximos a estes.

Na Tabela 4 abaixo pode ser observada a análise química da *Bambusa tuldoides* estudada.

**Tabela 4:** Análise química da *Bambusa tuldoides*.

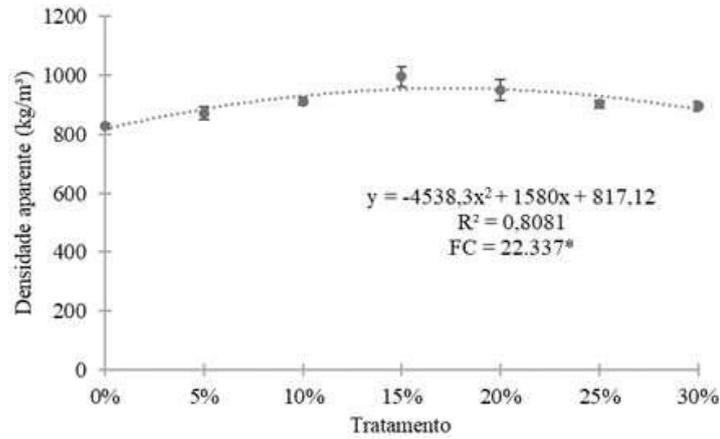
ANÁLISE QUÍMICA	VALOR
Cinzas (%)	1,02 (2,84)
Extrativos totais (%)	5,04 (39,08)
Lignina insolúvel (%)	24,05 (1,25)
Holoceluloses (%)	69,89 (2,76)

Os valores entre parênteses representam o desvio padrão, em porcentagem.

As espécies de bambu de forma geral, apresentam teor variando de 60 a 70% para holoceluloses e de 20 a 30% para lignina, já cinzas e extrativos estão presentes em pequenas porcentagens na composição do vegetal, porém essas quantidades podem sofrer variações de acordo com a espécie, idade, e região do caule que foi retirada e condições climáticas e de solo [27, 34].

Os valores da composição química da fibra vegetal da *Bambusa tuldoides* também foi estudada por MARAFON, AMARAL e LEMOS [35], que obtiveram porcentagem de 65,09% para holoceluloses, 17,92% para lignina e 1,41% para cinzas. Para extrativos totais o valor obtido por esses pesquisadores foi de 15,58%, superior aos observados nesta pesquisa. Segundo SHIROMA, CAMARINI e BERALDO [36] uma menor porcentagem de extrativos totais pode ocasionar em um menor tempo de endurecimento devido ao aumento da cinética de hidratação do gesso.

As densidades aparentes dos compósitos de todos os tratamentos para a caracterização física podem ser observadas na Figura 3.

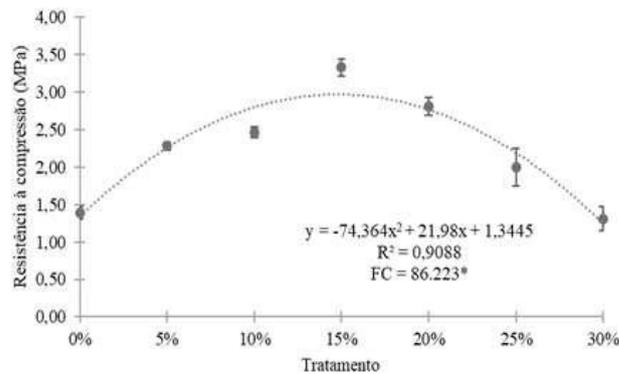


**Figura 3:** Densidade aparente dos compósitos de gesso reforçados com fibra do bambu *Bambusa tuldooides*. R<sup>2</sup> = Coeficiente de determinação. \*Significativo à 5% de significância

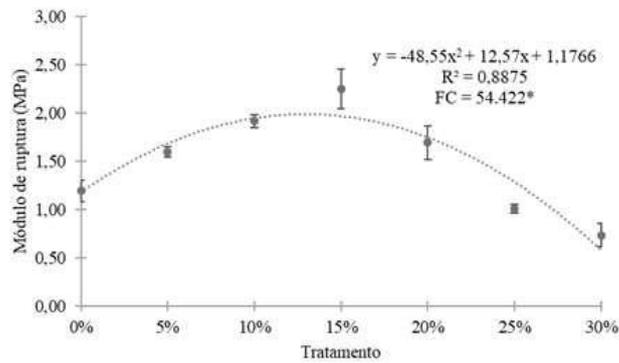
A regressão quadrática foi significativa (Fc = 22,337\*) para densidade aparente, indicando que existe relação quadrática entre a porcentagem de inserção de bambu no compósito e a densidade aparente dos compósitos. O ponto máximo observado pela curva, ou seja, o valor de acréscimo de bambu que permitiria a maior densidade (0,96 g/cm<sup>3</sup>) é de aproximadamente 17,41%. Essa variação é atribuída a afinação a relação água/gesso, pois, de acordo com MELO *et al.* [37] o bambu apresenta uma maior absorção de água que as partículas de madeira, isso pode estar relacionado com as características anatômicas (elevada porosidade) e químicas deste vegetal. O aumento da densidade até o 17,41% de adição de *Bambusa Tuldooides* pode estar associado com essa maior absorção de água pela fibra de bambu, visto que ao absorver, a água que era destinada a hidratação do gesso diminui, consequentemente com menor relação água/gesso da matriz. De acordo com ZHANG *et al.* [38] quanto menor a relação água/gesso, menores são os cristais de gesso formado e maior a densidade.

O decréscimo da densidade a partir de 17,41% mesmo ocorrendo uma diminuição da relação água/gesso com o aumento da adição de fibras vegetais pode estar correlacionado com a grande quantidade de fibras presente no compósito, já que segundo GARCÍA, VEGAS e CACHO [39] há um entrelaçamento entre as fibras que apresentam valores elevados da relação do comprimento com a espessura (L/D), o que impede a entrada da pasta de gesso entre elas, causando aparecimento de espaços vazios, que por consequência diminui a densidade do compósito.

Os valores de módulo de ruptura (MOR) e a resistência à compressão para a caracterização mecânica podem ser observadas nas Figuras 5 e 6 respectivamente.



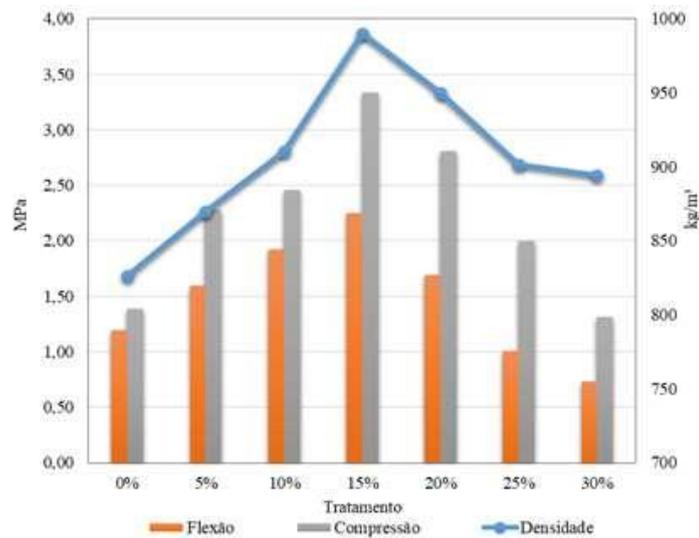
**Figura 4:** Resistência à compressão dos compósitos de gesso reforçados com fibra do bambu *Bambusa tuldooides*. R<sup>2</sup> = Coeficiente de determinação. \*Significativo à 5% de significância.



**Figura 5:** Módulo de ruptura na flexão estática dos compósitos de gesso reforçados com fibra do bambu *Bambusa tul-doides*. R<sup>2</sup> = Coeficiente de determinação. \*Significativo à 5% de significância.

Nas Figuras 5 e 6, que representam a relação entre tensão da força máxima na compressão e o módulo de ruptura com os tratamentos produzidos, pode-se observar a regressão quadrática foi significativa para ambas as propriedades com Fc = 86,223\* para compressão e Fc = 54,422\* para módulo de ruptura. Isto indica que há uma relação quadrática entre a porcentagem de inserção de bambu no compósito com a resistência à compressão e com o módulo de ruptura. O ponto máximo observado pela curva da Figura 4, ou seja, o valor de acréscimo de bambu que permitiria a maior resistência à compressão (2,97 MPa) é de aproximadamente 14,78%. Os valores entre de 3,37 e 26,19% de bambu foram os que atenderam a exigência mínima (maior que 2 MPa) da norma EN 13279-1 [40] para compressão. Já em relação ao módulo de ruptura do compósito, a porcentagem de bambu utilizada que permitiria o seu maior valor (1,99 MPa) é de aproximadamente 12,95%. E os valores entre 0 e 27,23 % são os que atendem a norma EN 13279-1 [40] cujos valores devem ser maiores que 1 MPa para o módulo de ruptura.

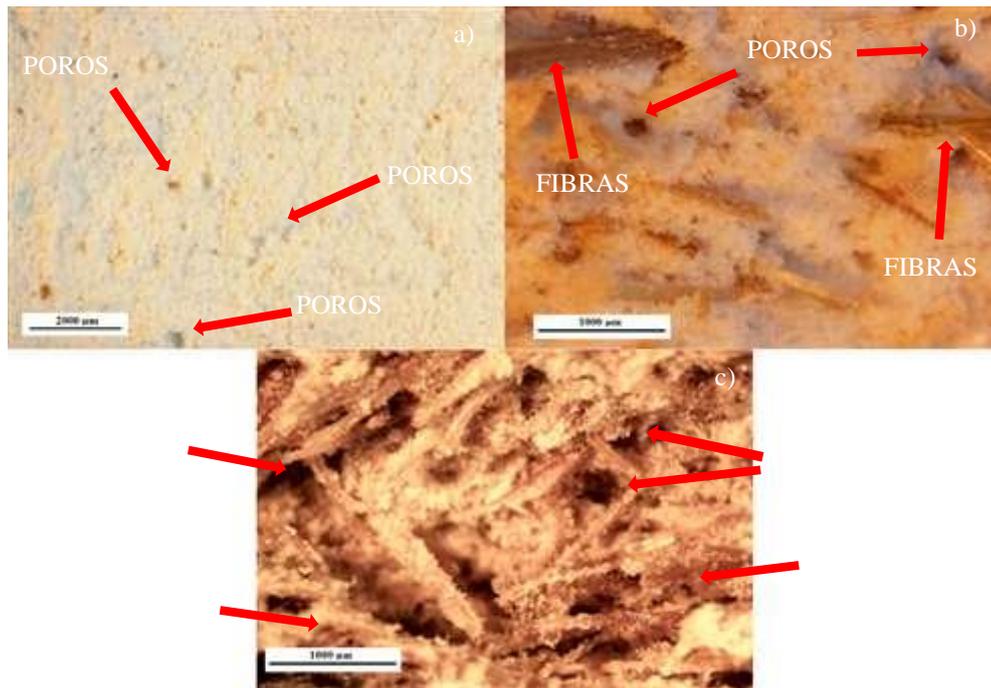
Na Figura 6 estão relacionadas as propriedades mecânicas com a densidade dos compósitos.



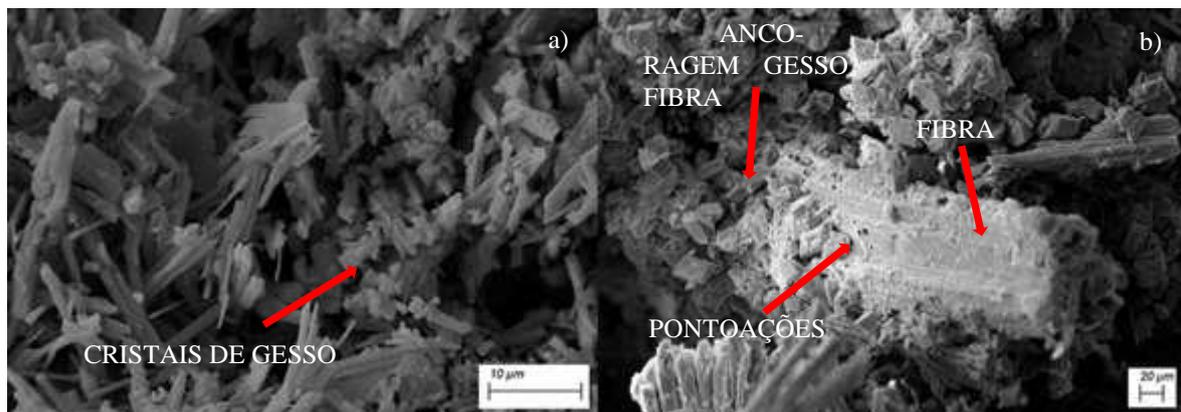
**Figura 6:** Relação entre a densidade, módulo de ruptura na flexão estática e resistência à compressão.

Conforme mostra a Figura 6, ocorreu um comportamento similar entre as propriedades mecânicas e a densidade dos tratamentos, ocorrendo uma relação direta entre elas. A tendência de os compósitos de gesso obterem uma relação proporcional entre densidade e o comportamento mecânico é também encontrada por MESQUITA JÚNIOR et al. [28] e BICER e KAR [41]. O comportamento mecânico do compósito é atribuído à disponibilidade de fibras, já que ocorre comatação dos possíveis espaços vazios disponíveis na matriz. No entanto, em maior proporção de enchimento, há uma diminuição na propriedade mecânica devido ao aprisionamento de ar no compósito, resultante da aglomeração de fibras, e uma falta de aderência entre a fibra de bambu e a matriz de gesso devido à baixa compatibilidade entre esses materiais, portanto, ocasionando baixa

resistência mecânica [42, 43].



**Figura 7:** Imagens realizadas no estereoscópio nos compostos do a) tratamento de 0%, b) tratamento de 15% e c) tratamento de 30%.



**Figura 8:** Imagens realizadas no microscópio eletrônico de varredura: a) cristais de gesso b) fibra ancorada na matriz de gesso.

Nas Figuras 8a e 9a, pode-se observar a matriz de gesso pura, sendo que na 8a é possível verificar a presença de poros e na 9a os cristais de gesso formado. Na Figura 7b observa-se a distribuição homogênea da fibra na matriz do composto de 15%, sem ocorrer formação de espaços. Entretanto na Figura 7c, que mostra o tratamento com 30%, nota-se a aglomeração de fibras e grande quantidade de espaços vazios. Na Figura 8b pode-se visualizar pontoações presentes na fibra, o que justifica sua alta absorção de água, além de apresentarem uma superfície áspera obtendo uma boa ancoragem com a matriz de gesso. Tais imagens corroboram os resultados físico e mecânicos encontrados.

#### 4. CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos, as seguintes conclusões podem ser apresentadas:

1. Com relação às propriedades físicas e químicas das fibras da *Bambusa tuldoides*, foram encontrados valores condizentes ao da literatura.

2. Para a densidade dos compósitos produzidos verificou o aumento da densidade até o a porcentagem de 17,41% e após ocorreu o decréscimo.

3. As propriedades mecânicas analisadas tiveram comportamento semelhante ao da densidade, mostrando que há uma relação direta com ela.

4. A depender da finalidade do compósito, este pode ser utilizado com diferentes concentrações de enchimento. Quando o compósito necessitar de resistência ao esforço de compressão, utilizar 14,78% de reforço, já quando o esforço for de flexão, utilizar 12,95%.

5. A fibra da *Bambusa tuldoides* se mostrou viável para produção de compósitos de matriz de gesso entre

## 5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FAPEMIG, CNPq, FINEP e CAPES pelo apoio financeiro e bolsas de estudo.

## 6. BIBLIOGRAFIA

- [1] VIMMROVÁ, A., KEPPERT, M., SVOBODA, L., *et al.*, “Lightweight gypsum composites: Design strategies for multi-functionality”, *Cement and Concrete Composites*, v. 33, n. 1, pp. 84-89, Jan. 2011.
- [2] MEDINA, N.F., BARBERO-BARRERA, M.M., “Mechanical and physical enhancement of gypsum composites through a synergic work of polypropylene fiber and recycled isostatic graphite filler”, *Construction and Building Materials*, v. 131, pp. 165-177, Jan. 2017.
- [3] SADEGHAMIRSHAHIDI, M., VITTON, S.J., “Analysis of drying and saturating natural gypsum samples for mechanical testing”, *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, v. 11, n. 2, pp. 219-227, Abr. 2019.
- [4] ZHU, C., ZHANG, J., PENG, J., *et al.*, “Physical and mechanical properties of gypsum-based composites reinforced with PVA and PP fibers”, *Construction and Building Materials*, v. 163, pp. 695-705, Fev. 2018.
- [5] SKUJANS, J., VULANS, A., ILJINS, U., *et al.*, “Measurements of heat transfer of multi-layered wall construction with foam gypsum”, *Applied Thermal Engineering*, v. 27, n. 7, pp. 1219-1224, Mai. 2007.
- [6] RAMESH, M., PALANIKUMAR, K., REDDY, K.H., “Plant fibre based bio-composites: Sustainable and renewable green materials”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 79, pp. 558-584, Nov. 2017.
- [7] JESUS, L.C.C. de, LUZ, S.M. da, LEÃO, R.M., *et al.*, “Comportamento térmico de compósitos de poliestireno reciclado reforçado com celulose de bagaço de cana”, *Revista Matéria*, v. 24, n. 3, Set. 2019.
- [8] GUO, S., HU, J., DAI, Q., “A critical review on the performance of portland cement concrete with recycled organic componentes”, *Journal of Cleaner Production*, v. 188, pp. 92-112, Jul. 2018.
- [9] AWALLUDIN, M. F., SULAIMAN, O., HASHIM, R., *et al.*, “An overview of the oil palm industry in Malaysia and its waste utilization through thermochemical conversion, specifically via liquefaction”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 50, pp. 1469-1484, Out. 2015.
- [10] LUCOLANO, F., LIGUORI, B., APREA, P., *et al.*, “Thermo-mechanical behaviour of hemp fibers-reinforced gypsum plasters”, *Construction and Building Materials*, v. 185, pp. 256-263, Out. 2018.
- [11] LUCOLANO, F., CAPUTO, D., LEBOFFE, F., *et al.*, “Mechanical behavior of plaster reinforced with abaca fibers”, *Construction and Building Materials*, v. 99, pp. 184-191, Nov. 2015.
- [12] MORALES-CONDE, M.J., RODRÍGUEZ-LIÑÁN, C., PEDREÑO-ROJAS, M.A., “Physical and mechanical properties of wood-gypsum composites from demolition material in rehabilitation Works”, *Construction and Building Materials*, v. 114, pp. 6-14, Jul. 2016.
- [13] HIZIROGLU, S., JARUSOMBUTI, S., FUEANGVIVAT, V., *et al.*, “Properties of bamboo-rice straw-eucalyptus composite panels”, *Forest Products Journal*, v. 55, pp. 221-225, Dez. 2005.
- [14] HUANG, J., YOUNG, W., “The mechanical, hygral, and interfacial strength of continuous bamboo fiber reinforced epoxy composites”, *Composites Part B: Engineering*, v. 166, pp. 272-283, Jun. 2019.
- [15] XIE, X., ZHOU, Z., YAN, Y., “Flexural properties and impact behaviour analysis of bamboo cellulosic fibers filled cement based composites”, *Construction and Building Materials*, v. 220, pp. 403-414, Set. 2019.
- [16] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 11941: Determinação da densidade básica em madeira, Rio de Janeiro, 2003.
- [17] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14660: Madeira – Amostragem e preparação para análise, São Paulo, 2004.
- [18] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13999: Papel, cartão, pastas celulósicas e madeira – determinação do resíduo (cinza) após a incineração a 525°C, Rio de Janeiro, 2003.
- [19] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14853: Madeira – determinação do material solúvel em etanol-tolueno e em diclorometano e em acetona, Rio de Janeiro, 2010.

- [20] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7989: Pasta celulósica e madeira – determinação de lignina insolúvel em ácido, Rio de Janeiro, 201a.
- [21] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15066: Madeira e pasta celulósica – Determinação das dimensões e fibras – Método de microscopia óptica, Rio de Janeiro, 2004.
- [22] EUROPEAN STANDARDS. EN 13279-2: Gypsum binders and gypsum plasters, part 2 – test methods, Pilsen, 2006.
- [23] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13280: Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido. Rio de Janeiro, 2005.
- [24] MORAIS, W.W.C., HASELEIN, C.R., SUSIN, F., *et al.*, “Propriedades físico-mecânicas de painéis aglomerados com *Bambusa tuldooides* e *Pinus taeda*”, *Ciência Florestal*, v. 25, n. 4, pp. 1015-1026, Dez. 2015.
- [25] MOTA, I.O., PEREIRA, M.A., DAMACENA, P.C., *et al.*, “Estudo das propriedades físicas e mecânicas do bambu brasileiro (*Bambusa vulgaris vittata*) para aplicação na construção de sistemas hidráulicos alternativos de distribuição de água à baixa pressão”, *Revista de estudos ambientais*, v. 9, n. 1, pp. 18-26, Jan. 2017.
- [26] ALMEIDA, A.C., ARAUJO, V.A., MORALES, E.A.M., *et al.*, “Wood-bamboo Particleboard: Mechanical Properties”, *BioResources*, v. 12, n. 4, pp. 7784-7793, Set. 2017.
- [27] RUSCH, F.R., CEOLIN, G.B., HILLING, E., “Morphology, density and dimensions of bamboo fibers: a bibliographical compilation”, *Special Supplement: Bamboo*, v. 49, Ago. 2019.
- [28] MESQUITA JÚNIOR, L., FARIA, D.L., GUIMARÃES JÚNIOR, J.B., *et al.*, “Compósitos à base de cimento e gesso reforçados com partículas de madeira de *Eucalyptus grandis*”, *Ciência da Madeira*, v. 9, n. 3, pp. 191-198, Out. 2018.
- [29] BHAGAT, D., BHALLA, S., WEST, R.P., “Fabrication and structural evaluation of fibre reinforced bamboo composite beams as green structural elements”, *Composites Part C: Open Access*, v. 5, Jul. 2021.
- [30] INTERNATIONAL ASSOCIATION OF WOOD ANATOMISTS (IAWA). List of microscopic features for hardwood identification, with an appendix on non-anatomical information. IAWA Bulletin, v. 10, n. 3, pp. 219-332, 1989.
- [31] BENITES, P.K.R.M., GOUVÊA, A.F.G., CARVALHO, A.M.M.L., *et al.*, “Caracterização anatômica das fibras de oito espécies florestais do cerrado de Mato Grosso do Sul para a produção de papel”, *Ciência da Madeira*, v. 6, n. 2, pp. 88-93, Ago. 2015.
- [32] PHILIP, P., (org.). Celulose e papel; vol. I: Tecnologia da fabricação de pasta celulósica; vol.II: Tecnologia da fabricação do papel, 2ª ed., IPT, 1988.
- [33] AZZINI, A., CIARAMELLO, D., “Bambu como matéria-prima para papel: IV. Estudos sobre o emprego de cinco espécies de *Bambusa*, na produção de celulose sulfato”, *Bragantia*, v. 30, n. 23, pp. 305-319, Mai. 1971.
- [34] NAYAK, L., MISHRA, S.P., “Prospect of bamboo as a renewable textile fiber: historical overview, labeling, controversies and regulation”, *Fashion and Textiles*, v. 3, n. 2, pp. 1-23, 2016.
- [35] MARAFON, A.C., AMARAL, A.F.C., LEMOS, E.E.P., “Characterization of bamboo species and other biomasses with potencial for thermal energy generation”, *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 49, e55282, 2019.
- [36] SHIROMA, L., CAMARINI, G., BERALDO, A.L., “Effect of wood particle treatment on the properties of gypsum plaster pastes and composites”, *Revista Matéria*, v. 21, n. 4, pp. 1032-1044, Dez. 2016.
- [37] MELO, R.R., STANGERLIN, D.M., SOUSA, A.P., *et al.*, “Propriedades físico-mecânicas de painéis aglomerados de madeira-bambu”, *Ciência Rural*, v. 45, n. 1, pp. 35-42, Jan. 2015.
- [38] ZHANG, X., WANG, J., WU, J., *et al.*, “Phase- and morphology-controlled crystallization of gypsum by using flue-gas-desulfurization gypsum solid waste”, *Journal of Alloys and Compounds*, v. 674, pp. 200-206, Jul. 2016.
- [39] GARCÍA, D., VEGAS, I., CACHO, I. “Mechanical recycling of GFRP waste as short-fiber reinforcements in microconcrete”. *Construction and Building Materials*, v. 64, pp. 293–300, Ago. 2014.
- [40] EUROPEAN STANDARDS. EN 13279-1, Gypsum binders and gypsum plasters - Part 1: test methods, 2008.
- [41] BICER, A., KAR, F., “Thermal and mechanical properties of gypsum plaster mixed with expanded polystyrene and tragacanth”, *Thermal Science and Engineering Progress*, v. 1, pp. 59–65, Mar. 2017.
- [42] SELAMAT, M.E., HASHIM, R., SULAIMAN, O., *et al.*, “Comparative study of oil palm trunk and rice husk as fillers in gypsum composite for building material”, *Construction and Building Materials*, v. 197, pp. 526-532, Fev. 2019.
- [43] ZHANG, X., WANG, F., KEER, M.L., “Influence of surface modification on the microstructure and thermo-mechanical properties of bamboo fibers”, *Materials*, v. 8, pp. 6597-6608, 2015.

## ORCID

Bruna Lopes Alvarenga  
Laércio Mesquita Júnior  
Douglas Lamounier Faria  
Matheus Cordazzo Dias

<https://orcid.org/0000-0002-6860-1545>  
<https://orcid.org/0000-0002-4122-1390>  
<https://orcid.org/0000-0002-5405-8430>  
<https://orcid.org/0000-0002-8154-2543>



Vinícius Lopes Alvarenga

Lourival Marin Mendes

José Benedito Guimarães Júnior

<https://orcid.org/0000-0001-9388-5829>

<https://orcid.org/0000-0001-8713-405X>

<https://orcid.org/0000-0002-9066-1069>