



**BRUNA LOPES ALVARENGA**

**DESENVOLVIMENTO E ANÁLISE DE COMPÓSITOS À  
BASE DE GESSO E PLACAS DE GESSO ACARTONADO  
REFORÇADOS COM FIBRA DE *Bambusa tuldoides***

**LAVRAS - MG  
2019**

**BRUNA LOPES ALVARENGA**

**DESENVOLVIMENTO E ANÁLISE DE COMPÓSITOS À BASE DE GESSO E  
PLACAS DE GESSO ACARTONADO REFORÇADOS COM FIBRA DE  
*Bambusa tuldoides***

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado  
à Universidade Federal de Lavras, como parte  
das exigências do Curso de Engenharia Civil,  
para obtenção do título de Bacharel.

Prof. Dr. José Benedito Guimarães Júnior  
Orientador

Prof. Me. Laércio Mesquita Júnior  
Coorientador

**LAVRAS - MG  
2019**

**BRUNA LOPES ALVARENGA**

**DESENVOLVIMENTO E ANÁLISE DE COMPÓSITOS À BASE DE GESSO E  
PLACAS DE GESSO ACARTONADO REFORÇADOS COM FIBRA DE  
*Bambusa tuldoides***

**DEVELOPMENT AND ANALYSES OF COMPOSITES OF GYPSUM MATRIX AND  
CARDBOARD PLASTER REINFORCED WITH FIBER OF *Bambusa tuldoides***

Trabalho de Conclusão de Curso apresentada  
à Universidade Federal de Lavras, como parte  
das exigências do Curso de Engenharia Civil,  
para a obtenção do título de Bacharel.

APROVADA em 4 de novembro de 2019.

Me. Douglas Lamounier Faria                      UFLA

Me. Matheus Cordazzo Dias                      UFLA

Prof. Dr. José Benedito Guimarães Júnior  
Orientador

Prof. Me. Laércio Mesquita Júnior  
Coorientador

**LAVRAS - MG  
2019**

*Aos meus pais,  
José Marcos Alvarenga e Simoni Lopes de Carvalho Alvarenga,  
pelo amor, confiança, ensinamentos e dedicação.  
Dedico.*

## AGRADECIMENTOS

Aos meus pais José Marcos e Simoni, e aos meus irmãos Vinícius e Júnior, por todo incentivo e atenção.

Ao professor Dr. José Benedito Guimaraes Júnior, pela orientação, confiança, paciência e amizade.

Ao coorientador, Me. Laércio Mesquita Júnior, pelas colaborações, sugestões, apoio, paciência e amizade em todos os momentos.

À todas amigas que fiz ao longo do curso de Engenharia Civil, pela ajuda nos trabalhos desenvolvidos, momentos de descontração, paciência e companheirismo.

Aos membros da banca de defesa, pelas correções, sugestões e avaliação deste trabalho.

Ao Laboratório de Microscopia Eletrônica (LME) da Universidade Federal Lavras (UFLA).

À Universidade Federal de Lavras (UFLA), pela oportunidade concedida, em especial, a UEPAM.

*“A diferença entre o possível e o impossível  
está na vontade humana”.*

*(Louis Paster).*

## RESUMO

O sistema de construção civil industrializado é amplamente empregado em virtude da rápida execução, canteiro de obras mais organizado e diminuição da produção de resíduos. O *drywall* é um tipo desse sistema que utiliza chapas de gesso acartonado em sua estrutura. No entanto, o gesso é um material cerâmico e este, por sua vez, tem ruptura frágil, ou seja, tem baixa ductibilidade. Uma forma de melhorar o desempenho de um material é uni-lo a outro com as propriedades desejadas o que resulta em um novo material denominado compósito. Os materiais vegetais são alguns dos materiais utilizados como reforço, visto que são renováveis e apresentam boa razão entre resistência e densidade. Desta forma, o objetivo desse trabalho foi produzir e caracterizar compósitos à base de gesso reforçado com fibra vegetal do “Bambu Taquara” (*Bambusa tuldoides* Munro.), em diferentes porcentagens (0, 5, 10, 15, 20, 25 e 30%), para avaliar as propriedades físicas e mecânicas. E também, a produção de placa gesso acartonado reforçados com fibra de *Bambusa tuldoides* com as porcentagens 0, 15 e 30% afim de avaliar as propriedades física, mecânica, térmicas e acústicas do material produzido. Em relação aos compósitos as porcentagens entre 3,37 e 26,19% de substituição de pasta de gesso por fibra vegetal foram as que atenderam as exigências normativas. Já as placas de gesso acartonado os tratamentos que atenderam os requisitos da norma são aqueles com 0 e 15% de fibra. Deste modo, os resultados mostraram que a utilização da fibra de *Bambusa tuldoides* como reforço em compósitos de matriz de gesso é viável para sua aplicação na construção civil.

**Palavras-chave:** Fibra vegetal. Matriz cerâmica. Reforço vegetal. Sistema Construtivo.

## ABSTRACT

The industrialized building construction system is widely employed due to the rapid execution, more organized construction site and reduced waste production. Drywall is a type of this system that uses plasterboard in its structure. However, the plaster is a ceramic material and this, in turn, has fragile rupture, that is, has low ductility. One way to improve the performance of a material is to join it with another one with the desired properties resulting in a new material called composite. Plant materials are some of the materials used as reinforcement, as they are renewable and have a good strength-to-density ratio. Thus, the objective of this work was to produce and characterize vegetal fiber reinforced plaster composites of “Bambu Taquara” (*Bambusa tuldooides* Munro.), In different percentages (0, 5, 10, 15, 20, 25 and 30%) to evaluate the physical and mechanical properties. And also, the production of *Bambusa tuldooides* fiber-reinforced plasterboard with the percentages 0, 15 and 30% in order to evaluate the physical, mechanical, thermal and acoustic properties of the material produced. In relation to composites, the percentages between 3.37 and 26.19% if the replacement of plaster by vegetable fiber were those that met the normative requirements. Already the plasterboard boards the treatments that met the requirements of the standard are those with 0 and 15% fiber. Thus, the results showed that the use of *Bambusa tuldooides* fiber as reinforcement in plaster matrix composites is viable for its application in civil construction.

**Keywords:** Vegetable fiber. Ceramic matrix. Vegetable reinforcement. Constructive system.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Consumo histórico anual de chapas de <i>Drywall</i> no Brasil (milhoes em m <sup>2</sup> ).....	15
Figura 2 - Processo de fabricação das chapas de gesso acartonado .....	16
Figura 3 - Divisória de gesso acartonado .....	17
Figura 4 - Fluxograma simplificado da obtenção de gesso .....	21
Figura 5 - Morfologia do bambu .....	26
Figura 6 - <i>Bambusa tuldoides</i> .....	26

## SUMÁRIO

	<b>PRIMEIRA PARTE .....</b>	<b>11</b>
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>13</b>
<b>2.1</b>	<b>Objetivos gerais.....</b>	<b>13</b>
<b>2.2</b>	<b>Objetivos específicos.....</b>	<b>13</b>
<b>3</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>14</b>
<b>3.1</b>	<b>A Industrialização da Construção Civil: Gesso acartonado.....</b>	<b>14</b>
<b>3.2</b>	<b>Gesso .....</b>	<b>18</b>
<b>3.3</b>	<b>Materiais compósitos .....</b>	<b>22</b>
<b>3.4</b>	<b>Fibras vegetais.....</b>	<b>24</b>
<b>3.4.1</b>	<b>Bambu.....</b>	<b>25</b>
<b>4</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>27</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>28</b>
	<b>SEGUNDA PARTE - ARTIGOS .....</b>	<b>33</b>
	<b>ARTIGO 1 – Avaliação física e mecânica de compósitos de gesso reforçados com fibra de <i>Bambusa tuldoides</i> .....</b>	<b>33</b>
	<b>ARTIGO 2 – Produção e caracterização de placas de gesso acartonado reforçado com fibra de <i>Bambusa tuldoides</i> .....</b>	<b>45</b>

## **PRIMEIRA PARTE**

### **1 INTRODUÇÃO**

O crescimento das atividades no setor da construção civil nos últimos anos tem gerado quantidades significativas de resíduos e a maioria deles não são reutilizados e são redirecionados para aterros sanitários. O impacto ambiental advindo desses resíduos da construção em junção com a escassez de recursos naturais reforça a necessidade de adotar práticas racionais e inovadoras (GUERRA et al., 2019).

Há diversos tipos de sistemas construtivos que visam reduzir os custos na obra, minimizar o desperdício como também a otimização e versatilidade do processo dentro dos conceitos de sustentabilidade. Vedações com gesso acartonado e placas cimentícias de madeira mineralizada são alguns dos sistemas que proporcionam essas características. Apesar da construção civil no Brasil ter histórica resistência a novas formas de construir, a influência de tecnologias externas, que tem por objetivo o aumento de sua eficiência, vem modificando este cenário, ainda que de forma lenta se comparada com outros setores da economia (SANTIAGO, 2008).

A utilização das placas de gesso acartonado na construção civil vem crescendo de forma considerável (FARIA, 2008). De acordo com a norma NBR 14715-1 (ABNT, 2010) as placas de gesso acartonado são placas obtidas através do processo industrial de laminação contínua, onde uma mistura de gesso, água e aditivos são colocadas entre duas lâminas de papel cartão. Tal placa é um material de baixa densidade que é afixada em perfis de aço galvanizado para ser utilizada principalmente na compartimentação e separação de espaços internos de edificações (SABBATINI, 1998).

O gesso utilizado na confecção das placas de gesso acartonado é obtido através da calcinação do mineral gipsita e apresenta diversas vantagens para o seu uso em virtude do seu baixo custo e fácil fabricação aliada a uma alta resistência após hidratado. Além disso, apresenta benefícios para a ambiência já que é um bom regulador térmico (MEDINA; BARBERO-BARRERA, 2017). Porém o mesmo apresenta ruptura frágil e também perda significativa da sua resistência mecânica quando em contato com a água (MESQUITA JUNIOR, 2018).

Desta forma, estudos vêm sendo desenvolvidos afim de melhorar as características do material, como a produção de compósitos, em destaque para a utilização de fibras vegetais como reforço, visto que estas apresentam benefícios por terem maior tenacidade, baixo custo, menor densidade, além de serem renováveis (FIDELIS, 2013).

Diante do exposto, o presente trabalho objetiva a avaliação das propriedades física, mecânicas, térmica e acústica de compósitos de gesso reforçados com fibra vegetal de bambu, já que o mesmo é um vegetal perene e renovável em pequenos espaços de tempo. O mesmo foi estruturado na forma de artigo, em que se encontrarão os detalhes da metodologia e também das revisões bibliográficas pertinentes. Entretanto, é necessária uma revisão bibliográfica geral sobre os aspectos referentes a este trabalho.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 Objetivos gerais

Produção e caracterização de compósitos a base de gesso reforçado com fibras vegetal de bambu para uso como material sustentável de construção.

### 2.2 Objetivos específicos

1. Realizar a caracterização química, física e anatômica das fibras vegetais de *Bambusa tudooides*.
2. Avaliar a influência da inserção da fibra vegetal de *Bambusa tudooides* em diferentes porcentagens sobre as propriedades físicas e mecânicas dos compósitos à base de gesso.
3. Produzir compósitos de gesso acartonado com as porcentagens de fibra com melhor desempenho geral e analisar suas propriedades físicas, mecânicas, térmicas e acústicas.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 A Industrialização da Construção Civil: Gesso acartonado

No Brasil, o setor da construção civil é descrito como atrasado em relação aos processos industriais existentes e com obtenção de margem de lucro baixa. Desta maneira, com a expansão dos empreendimentos econômicos, este apenas se torna viável com a utilização da produção em massa, industrializando principalmente os elementos estruturais e de vedações (FARIA, 2008).

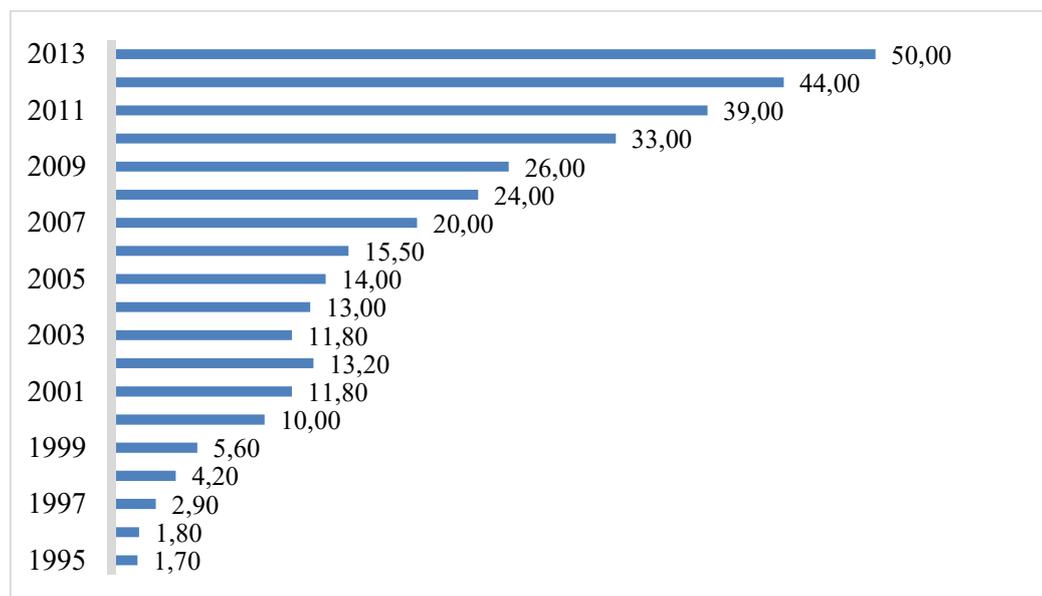
Em geral, a construção industrializada apresenta grande espaço para se desenvolver, pois busca racionalizar e atender às exigências de economia de energia e conforto humano, visando um desempenho global mais adequado (SALES; NEVES; SOUZA, 2001). É de interesse desenvolver edificações que proporcionem conforto térmico e acústico no interior dos seus ambientes, desta forma muitas pesquisas são impulsionadas com o intuito de aprimorar essas características (TILLER et al., 2010).

Outro fator de grande relevância que deve ser considerado para a escolha dos métodos construtivos é o impacto ambiental gerado, já que a construção civil é responsável por grande parte da degradação ambiental. Extração de recursos naturais não abundantes, consumo de energia e geração de resíduos são alguns dos impactos inerentes a este setor. Os processos construtivos convencionais, que utilizam blocos cerâmicos, concreto armado e bloco de concreto são os mais poluentes, em contrapartida os processos industrializados são os que menos afetam. Além disso, a disposição final da maioria dos materiais utilizados obtidos em processos industrializados pode ser reciclada e reaproveitada, já os resíduos obtidos pelo processo convencional a reciclagem é limitada, pois são de difícil separação (CARVALHO, 2017).

Com isso, a aplicação de componentes pré-fabricados em sistemas de fechamento apresenta-se como solução racional, pois proporcionada bom desempenho de isolamento acústico e térmico, diminuição do desperdício de materiais além de aprimorar a otimização de prazos, redução de mão de obra e obtenção de maior qualidade (RIBAS, 2013).

Um dos produtos pré-fabricado com maior crescimento de utilização no Brasil é a placa de gesso acartonado. Sua utilização se iniciou na década de 1970, porém de forma discreta devido à resistência do mercado consumidor. Apenas a partir da década de 1990 a produção de placas de gesso acartonado alcançou grande escala. Desde então, esse tipo de vedação tem seu mercado ampliado de forma expressiva (FARIA, 2008). Pode-se observar o crescimento do consumo no Brasil na Figura 1 a seguir.

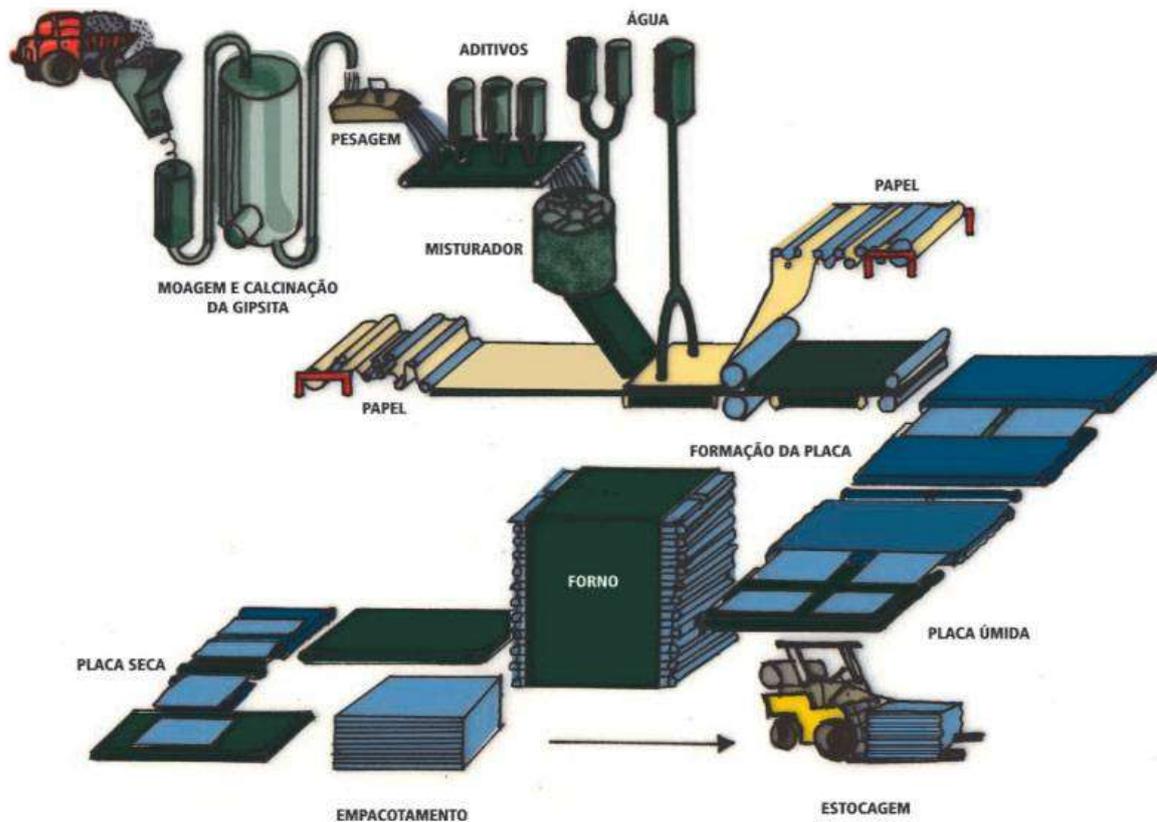
Figura 1: Consumo histórico anual de chapas de *Drywall* no Brasil (milhões em m<sup>2</sup>).



Fonte: Associação brasileira de *Drywall* (2013).

Conforme descrito na NBR 14715-1 (ABNT, 2010), as placas de gesso acartonado são produzidas a partir uma mistura de gesso, água e aditivos que são compreendidas entre duas lâminas de papel acartonado através de um processo denominado laminação contínua. O processo se inicia com a extração da matéria prima e com isso a fabricação do gesso em pó. Posteriormente é realizado a pasta de gesso em pó, água e aditivos que é espalhada sobre uma folha de papel cartão. Esta deve ser submetida a vibração para a expulsão de bolhas de ar com o fim de não comprometer a resistência mecânica após o endurecimento. Em seguida, outra folha de papel cartão é colocada sobre a pasta formando um painel sanduiche de gesso. Por fim, após o endurecimento, as placas são cortadas e secas com temperatura e umidade constantes. A Figura 2 ilustra todo o processo de fabricação das chapas de gesso acartonado.

Figura 2: Processo de fabricação das chapas de gesso acartonado.



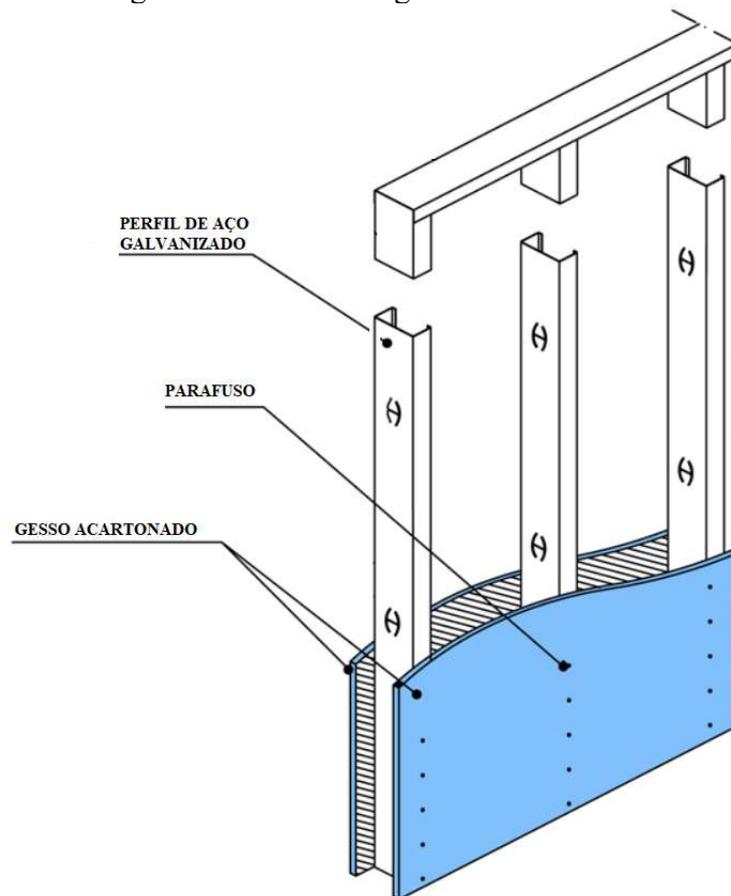
Fonte: ConstruFacilRJ (2013).

No Brasil as chapas de gesso acartonado são divididas em três tipos, sendo cada uma utilizada para diferentes locais. Segundo a NBR 14715-1 (ABNT, 2010) são:

- a) Standard (ST), é uma chapa comum para a utilização em áreas secas;
- b) Resistente à Umidade (RU), é utilizada em áreas sujeitas à umidade por tempo limitado;
- c) Resistente ao fogo (RF), é utilizada em áreas secas com chapas especialmente resistentes ao fogo;

Para a concepção das divisórias, as placas são afixadas em perfis de aço galvanizado com parafusos, formando uma dupla camada de placas de gesso com um espaço entre essas camadas. Neste espaço são utilizados materiais como lã de vidro que permitem uma melhora na acústica dos ambientes, bem como a passagem de fios de eletricidade e tubulações (TANIGUTI, 1999). A Figura 3 exemplifica como é a divisória de gesso acartonado.

Figura 3: Divisória de gesso acartonado.



Fonte: Vivadecora (2018).

As divisórias, além da função de compartimentação de ambientes deve auxiliar no controle de ruídos, calor, ventilação e luz no ambiente (ELDER; VANDENBERG, 1977). Essas podem ser classificadas de acordo com a densidade superficial, caso seja inferior a  $60 \text{ kg/m}^2$  a NBR 11685 (ABNT, 1990) descreve estas como sendo consideradas leves. Deste modo, a divisória composta por gesso acartonado se enquadra neste conceito, visto que sua densidade superficial varia de  $25$  a  $45 \text{ kg/m}^2$ , que faz com que as cargas atuantes na estrutura e na fundação de uma edificação diminua de forma considerável (TANIGUTI, 1999; LAFARGE GESSO, 1996).

### 3.2 Gesso

O gesso utilizado como material na construção civil tem sua presença identificada em argamassa para pisos, fabricação de recipientes e suporte de afrescos desde o ano de 7000 a.C. nas ruínas da Turquia e na Síria (GOURDIN; KINGERY, 1975).

No século XX, a produção do gesso com maior qualidade e desempenho foram decorrentes do desenvolvimento industrial. Com isso, novas aplicações como revestimento de parede, elementos decorativos e pré-moldados para forros e divisórias surgiram. Atualmente, os produtos de gesso são cada vez mais utilizados, devido sua simplicidade, eficiência e baixo consumo de energia em sua produção em relação a outros aglomerantes (SILVA, 2013).

Os materiais de gesso têm baixa condutividade térmica e sonora, baixa densidade, bom comportamento mecânico, baixo índice de combustão, possuem a capacidade de absorver o excesso de umidade do ar e liberá-lo, quando estiver mais baixo, contribuindo para um microclima favorável nas instalações. Além disso, é um material que possibilita sua reciclagem (SILVA, 2013).

O gesso é um material cerâmico, que possui como característica não ter deformação plástica quando sujeito a tensões, com isso tem ruptura frágil. Entretanto, a principal desvantagem do gesso é a perda significativa de resistência mecânica em contato com umidade. Devido essa característica, produtos à base de gesso devem ser utilizados apenas em ambientes internos, como revestimento de alvenarias, blocos para execução de vedação, ornamentos pré-moldados e painéis acartonados para forros e divisórias (MESQUITA JUNIOR, 2018).

O mineral de origem para a obtenção do gesso é a rocha gipsita, sendo que esta pode ser proveniente de fontes naturais ou residuais. A gipsita natural originada de rochas sedimentares é a mais utilizada, já que a residual, que é oriunda de processos industriais, apresenta impurezas e contaminantes inerentes ao processo, o que limita sua aplicação (JOHN; CINCOTTO, 2007; CANUT, 2006).

A rocha gipsita é constituída em maior porcentagem pelo sulfato de cálcio di-hidratado ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) e apresenta em menores porcentagens, impurezas como a argila, cloretos, quartzo e anidrita. Para que seja viável a exploração dessa rocha é necessário que o minério apresente pureza de 80 a 95%. No caso para a obtenção de gesso, quando o material apresenta impurezas ocorre à diminuição dos teores de hemi-hidratatos e anidritas que são os responsáveis pelas características aglomerantes do gesso e pode interferir, dependendo da quantidade de impurezas, nas propriedades do material, como na resistência mecânica, no tempo de pega e na sua consistência (BALTAR; BASTOS; LUZ, 2005; JOHN; CINCOTTO, 2007).

Para a identificação superficial do material se analisa sua coloração, o material com maior pureza tem coloração branca ou incolor, já quando há a presença de outras cores e tonalidades como amarelo, rosa e azul é relativo às impurezas que o mineral contém (ANGELERI; CARDOSO; SANTOS, 1982).

No Brasil, as principais regiões com reservas de gipsita natural são as bacias sedimentares: Amazônica, do Paraíba, Potiguar, do Araripe e do Recôncavo. Porém, diversos são os fatores que determinam se é vantajosa a exploração de cada reserva, podemos citar a localização em relação aos centros consumidores, a pureza do material, a facilidade de exploração, dentre outras (BRASIL, 2009). O polo do sertão do Araripe, localizado no Pernambuco, de acordo com o Sindicato da Indústria do Gesso do Estado de Pernambuco – SINDUSGESSO (2017) é responsável no Brasil por 84,3% da produção de gesso, que proporciona 13.900 empregos diretos e 69.000 indiretos.

A gipsita é obtida com o desmonte do mineral realizada a partir de detonação de explosivos reduzindo os blocos do material em pedaços menores. O material já em dimensões menores é direcionado no Brasil predominantemente para setores de calcinação (produção de gesso), cimenteiro (produção de cimento) e agrícola (PERES; BENACHOUR; SANTOS, 2008). O consumo para a produção de gesso é consideravelmente maior que as demais com aproximadamente 58%. Já para os setores cimenteiro e agrícola o consumo é de 29 e 13%, respectivamente (BRASIL, 2011).

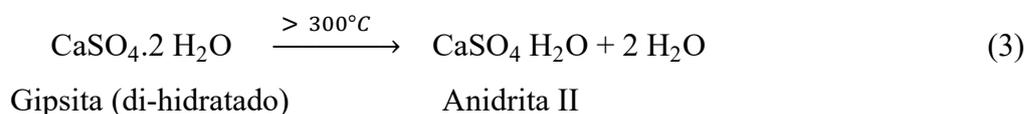
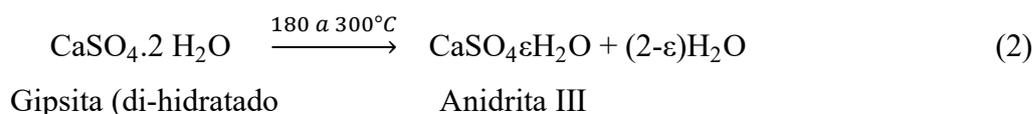
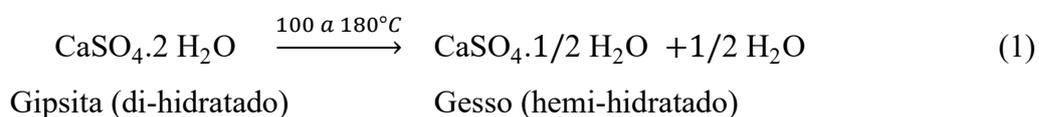
Diferentemente da extração de outras matérias prima, a extração da gipsita não gera resíduos tóxicos, tem uma duração relativamente curta e há pouca interferência na superfície do terreno explorado (MUNHOZ; RENÓFIO, 2006). Contudo, como qualquer outra atividade mineradora causa danos, sua exploração muitas vezes feita de uma maneira inadequada é causa de severos impactos ambientais. Fauna e flora de um bioma que são explorados por anos, correm risco de não mais suportar a intervenção humana e não se recuperarem (GRANJA et al., 2017).

Segundo a NBR 13207 (ABNT,1994), o gesso para a construção é um “material moído em forma de pó, obtido da calcinação da gipsita, construído predominantemente de sulfato de cálcio, podendo conter aditivos controladores do tempo de pega”.

Para a obtenção do gesso em pó é utilizado à gipsita que já passou pelo processo de britagem, porém, em alguns casos, é necessário realizar um segundo estágio passando este material em um circuito fechado com peneiras vibratórias. Em seguida, deve-se submeter o material obtido à temperatura entre 100 a 180 °C, de modo que a gipsita se desidrate de forma parcial e resulte no sulfato de cálcio hemi-hidratado ( $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$ ). Este processo de

desidratação é denominado de calcinação (DE MILITO, 2007; JOHN; CINCOTTO, 2007; GARTNER, 2009).

No entanto, devido a não homogeneização da temperatura no interior do forno para a desidratação da gipsita, o mineral pode se decompor em outros compostos de acordo com a temperatura. Em temperaturas mais baixas que 100 °C o sulfato de cálcio di-hidratado ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) não se dissocia em sulfato de cálcio hemi-hidratado ( $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$ ). Já em temperaturas de 180 a 300 °C pode se dissociar em anidrita III ( $\text{CaSO}_4 \cdot \varepsilon\text{H}_2\text{O}$ ), e maiores que 300°C em anidrita II ( $\text{CaSO}_4$ ) (DE MILITO, 2007; JOHN; CINCOTTO, 2007; GARTNER, 2009). As reações de desidratação térmica da gipsita podem ser observadas nas Equações 1, 2 e 3.

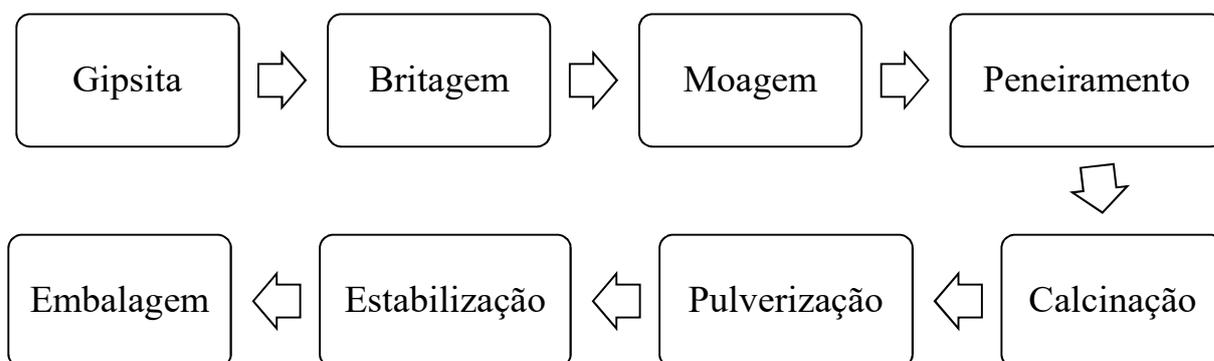


A depender das condições de temperatura e do processo de fabricação e desidratação, o hemi-hidratado pode apresentar duas formas polimórficas ( $\alpha$  e  $\beta$ ). O gesso  $\alpha$  é calcinado em fornos do tipo autoclave, em um ambiente sob alta pressão de vapor de água o que propicia uma liberação mais lenta e homogênea da água de cristalização. Desta forma, os cristais gerados são bem formados com formas prismáticas e aciculares. Ao ser hidratado, o gesso  $\alpha$  apresenta um material com maior resistência mecânica, sendo utilizado na odontologia (LYRA et al., 2001; BALTAR; BASTOS; LUZ, 2005).

O gesso  $\beta$  é obtido através da calcinação sob pressão atmosférica, assim sua água de cristalização é liberada de forma rápida o que gera cristais disformes (fraturados, irregulares, porosos). O gesso beta é o consumido em maior parte na construção civil (LYRA et al., 2001; BALTAR; BASTOS; LUZ, 2005).

Todo o processo de obtenção do gesso em pó utilizado na construção civil deste o mineral gipsita pode ser observado no fluxograma da Figura 4.

Figura 4: Fluxograma simplificado da obtenção do gesso.



Fonte: Adaptado de Peres, Benachour e Santos (2008).

Para a obtenção do gesso endurecido é necessário realizar a reação de hidratação do gesso em pó, ou seja, é feita a dissolução de gesso em água, retomando a quantidade de água perdida no processo de calcinação seguida de precipitação na forma de sulfato de cálcio di-hidratado. Esse processo gera uma pasta homogênea que após certo tempo tem ganho de plasticidade e se solidifica aumentando sua resistência mecânica. Esse tipo de reação é considerado exotérmica, visto que há liberação calor para o meio durante o seu processo (GARTNER, 2009).

A velocidade que ocorre a hidratação do gesso em pó depende das porcentagens dos compostos constituintes, já que cada um apresenta um comportamento diferente quando em contato com a água. A anidrita III apresenta uma velocidade de hidratação superior ao sulfato de cálcio hemi-hidratado, deste modo sua quantidade deve ser controlada para não ocasionar um excesso de calor liberado que prejudica o material, formando por exemplo, microfissuras. A anidrita II, no entanto, se hidrata de forma lenta que pode chegar a dias, o que possibilita um material com menor porosidade. Sendo assim, para obter um maior controle no produto final a calcinação deve ser controlada com temperatura entre 100 e 180 °C, afim de diminuir a quantidade de anidrita no gesso (BARDELLA, 2011; PINHEIRO, 2011).

Além da fração dos constituintes, a presença de impurezas, relação água gesso (a/g), finura dos grãos, velocidade e tempo da mistura e presença de aditivos são outros fatores que influenciam diretamente na velocidade de hidratação. Por exemplo, a quantidade de água

inserida para a hidratação interfere na trabalhabilidade e manuseio da pasta, quanto maior a relação a/g a pega e o endurecimento no material acontece de forma mais lenta, porém resulta em um material com mais poros devido a evaporação do excesso de água presente na pasta, conseqüentemente, sua resistência mecânica decresce (JOHN; CINCOTTO, 2007; SINGH; MIDDENDORF, 2007)

No entanto, é devido a água que propriedades como resistência ao fogo e isolamento térmico tem nesse tipo de material. O gesso não é inflamável devido ao uso da água de cristalização do material, que se evapora durante o incêndio, o que permite que a temperatura não passe de 40 °C. Já o isolamento térmico se justifica pela estrutura porosa do material (PERES, BENACHOUR; SANTOS, 2008). Deste modo, o estudo de como deve ser realizada a produção do gesso endurecido de acordo com a finalidade do produto é imprescindível para obter as propriedades desejáveis para sua aplicação.

### **3.3 Materiais compósitos**

Os materiais tradicionais nem sempre atendem as crescentes exigências de melhor desempenho, segurança, economia e durabilidade e atualmente há uma grande procura por materiais que apresentem boas propriedades em todos os aspectos. É neste cenário que se encontra os compósitos, que são materiais multifásicos feitos artificialmente, ou seja, constituídos por dois ou mais materiais com fases constituintes quimicamente diferentes. Este material final deve exibir uma proporção significativa das propriedades de ambas as fases que a constituem, melhorando assim as faixas das propriedades dos materiais, como rigidez, tenacidade e resistência nas condições ambiente e em temperaturas críticas (CALLISTER, 2002; BRANDÃO, 2015).

A maioria dos materiais compósitos é constituída de apenas duas fases denominadas de matriz e fase dispersa. A matriz é o material contínuo que envolve a fase dispersa, e tem como principal função unir e atuar como meio em que a tensão será transmitida e distribuída pelo reforço. Já a fase dispersa pode atuar como reforço aumentando as propriedades mecânicas do produto final ou apenas servindo como enchimento, diminuindo o custo total do material sem alterar suas propriedades (MOREIRA, 2008).

A estrutura dos materiais constituintes do compósito, a fração volumétrica dos componentes, e da interação físico-química entre as fases são os principais fatores que influenciam nas propriedades mecânicas dos compósitos. Além disso, deve-se também considerar a geometria, dimensão, concentração e dispersão do reforço (CALLISTER, 2002).

Os materiais compósitos podem ser classificados quanto ao tipo de matriz como também quanto ao tipo de reforço. A matriz pode ser feita com materiais cerâmicos (cimento, gesso, vidro), poliméricos (silicone, poliestireno, policarbonato) e metais (alumínio e titânio). Já quanto ao reforço utilizado, o compósito pode ser classificado em partículas (grandes ou pequenas), fibras (curtas ou longas) e estruturais (laminados e sanduíche) (BRANDÃO, 2015).

Os materiais cerâmicos como o gesso, são materiais frágeis, ou seja, se rompem de forma abrupta, desta forma, a inserção de reforço em sua constituição pode resultar em um compósito com melhores propriedades mecânicas. Além disso, suas propriedades térmicas e acústicas também podem ser influenciadas devido a adição de reforços (VENTURA, 2009).

A inserção de materiais fibrosos como reforço em matrizes frágeis faz com que o compósito se deforme elasticamente até a fissuração da matriz. Porém, o material permanece em uso devido as fibras resistirem as cargas transmitidas a elas e só acontece o colapso do material com o rompimento das fibras ou o seu escorregamento na matriz. Algumas fibras sintéticas como o amianto causam problemas a saúde, é neste cenário surge a utilização de fibras de materiais lignocelulósicos como reforço, devido a sua não toxicidade, baixa densidade, boa resistência mecânica, além de serem de fontes renováveis. Desta forma, diversos estudos vêm sendo realizados em compósitos com matriz de gesso com diferentes tipos de reforços, afim de melhorar suas propriedades como um todo.

Mesquita Júnior et al. (2018) avaliaram as propriedades físicas e mecânicas de compósitos de gesso e cimento reforçados com partículas de *Eucalyptus grandis*, afim de uma possível substituição do cimento pelo gesso. Os resultados obtidos mostraram que não houve diferenças estatísticas significativas para absorção de água, densidade aparente, inchamento em espessura, módulo de elasticidade na flexão estática e compressão paralela. Desta forma, concluiu-se que a utilização do gesso em substituição ao cimento pode ser viável, porém mais estudos são necessários.

Marinho, Cunha e Gomes (2013) desenvolveram compósitos de gesso reforçados com fibras de *Cocos nucifera* na forma de sanduiche com fatias de 8 e 10 mm de fibra, afim de avaliar as suas propriedades termofísicas. Os resultados evidenciaram a vantagem de utilização do compósito com fibra vegetal, já que obteve um menor valor de condutividade térmica nesses compósitos, o que confere uma maior capacidade de isolamento.

Cunha (2012) também com compósitos de gesso reforçados com fibra de coco na forma de sanduíche com fatias de 8 e 10 mm de fibra, avaliou suas propriedades térmicas, acústicas e mecânicas. Houve um ganho significativos no comportamento térmico e também acústico, na

faixa de frequência de 102,28 a 1150 Hz. A resistência a compressão e a flexão dos compósitos foi inferior, mas as fibras evitaram um rompimento abrupto do material.

Bicer e Kar (2017) estudaram a empregabilidade dos resíduos de espuma de poliestireno expandido (EPS) como material de enchimento no gesso. A inserção do EPS resultou na diminuição da condutividade térmica, da densidade aparente, da resistência a compressão e tração. Desta forma, a utilização deste compósito é indicada em ambientes internos das edificações.

### **3.4 Fibras vegetais**

Embora sejam pouco exploradas, as fibras vegetais apresentam grande potencial em substituição as fibras sintéticas por terem menor custo, menor peso e maior tenacidade. Além disso, elas geram menor impacto ambiental por serem renováveis e biodegradáveis, assim possibilita a agregação de valor nos produtos que a utiliza (FIDELIS, 2013).

As fibras vegetais podem ser obtidas de diversas partes do vegetal e apresentam uma estrutura alongada cuja seção transversal é vazada (lúmen). Sua composição química consiste basicamente de células com grande quantidade de celulose (microfibrilas) envolvidas por uma matriz amorfa de hemicelulose e lignina. Essa matriz amorfa tem como função a proteção das microfibrilas à ataque de enzimas e microrganismos, o que gera um material rígido e pouco reativo. A proporção de cada componente depende da espécie vegetal como também das condições ambientais, mas em média apresenta 40-50% de celulose, 20-30% de hemicelulose, 20-28% de lignina e em pequenas proporções de demais substâncias como cinzas e extrativos (SILVA et al., 2009; SANTOS et al., 2012).

A celulose é o componente mais abundante das fibras vegetais, atuando na estrutura fornecendo força e estabilidade nas paredes celulares. Além disso, devido a formação de cristais podem ser insolúveis à água e alguns solventes orgânicos. As hemiceluloses são polissacarídeos com baixa massa molar, alta higroscopicidade e não há a formação de cristais. Uma de suas funções é a de ligar a celulose a lignina, porém devido as suas características apresenta alta taxa de decomposição. Já a lignina atua como agente cimentante das células, de forma que a rigidez da parede celular aumente, e impede o ataque microrganismos. Além disso, apresenta alta massa molar e comportamento hidrofóbico, que gera diminuição da permeabilidade da parede celular (SENA NETO et al., 2012; SANTOS et al., 2012; VELOSO et al., 2013)

### 3.4.1 Bambu

O bambu é uma monocotiledônea pertencente à família *Gramineae* e subfamília *Bambusoideae* cujo início de sua utilização, de acordo com as antigas escritas chinesas, foi descrita desde os anos 1600 a 1100 a. C. Atualmente apresenta catalogado 50 gêneros e 1300 espécies que podem ser encontradas em maior parte nas regiões de zonas quentes e com chuvas abundantes das regiões tropicais e subtropicais da América do Sul, Ásia e da África (LÓPEZ, 2003).

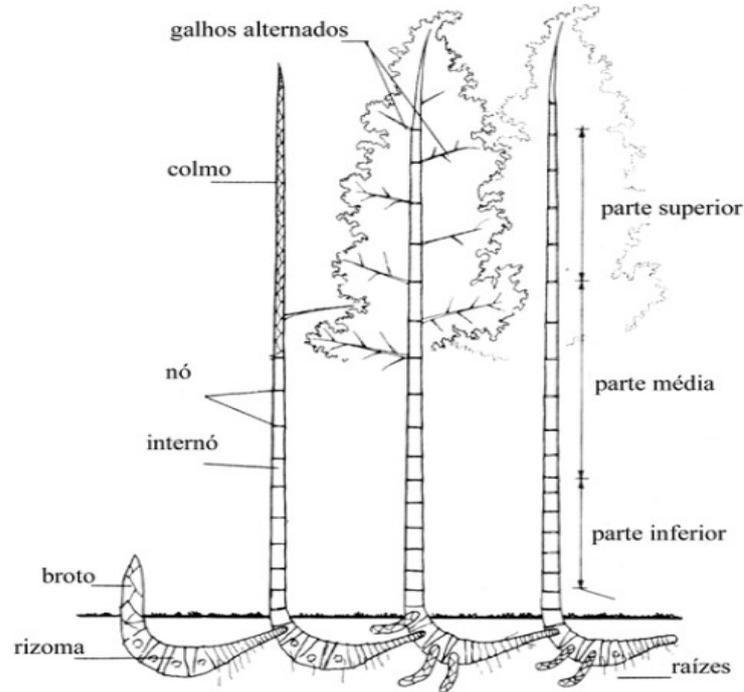
O bambu mesmo que ainda pouco difundido, apresenta grande potencial por ser um vegetal perene, renovável em pequenos espaços de tempo e ser efetivo na captação de gás carbono. Seu cultivo apresenta alta produtividade devido ao grande aproveitamento da área de plantio mesmo que em regiões com elevada declividade. Além disso, suas excelentes propriedades físicas, químicas e mecânicas podem substituir e evitar cortes de florestas tropicais, para o uso do material maciço, a produção de compósitos, chapas de aglomerados, painéis, compensados, dentre outros (PEREIRA, 2001; BERALDO; AZZINI, 2004; PEREIRA; BERALDO, 2008).

O bambu é produzido por processos fotossintéticos que ao fixar o gás carbono o converte principalmente em celulose, hemicelulose e lignina. Com isso, tanto as porcentagens relativas a cada constituinte, como as propriedades físicas e mecânicas do bambu, estão intimamente relacionadas com a espécie, relações climáticas, tipo de solo, idade do colmo, teor de umidade (CORREA, 2014).

A sua morfologia é formada por parte aérea e parte subterrânea. A parte aérea é o colmo que possui formato cilíndrico, sendo este constituído por entrenós ocós separados transversalmente por diafragmas na parte interna que podem ser visualizados como nós na parte externa no bambu. Já a parte subterrânea é composta por rizoma e raízes (PEREIRA, 2001).

Os colmos tem suas propriedades determinadas a partir da estrutura anatômica do vegetal. As fibras, por exemplo, que são caracterizadas pela sua forma delgada, influencia nas propriedades mecânicas do colmo (CORREA, 2014). Na Figura 5 é possível observar a morfologia do bambu.

Figura 4: Morfologia do bambu.



Fonte: LÓPEZ (2003).

As espécies *Bambusa tudoides*, *Bambusa vulgaris* e *Dendrocalamus giganteus* são as mais encontradas no Brasil, principalmente nos Estados de Minas Gerais, Bahia, Paraná, Santa Catarina e São Paulo (MURAKAMI, 2007). A *Bambusa tudoides* é um tipo de espécie entouceirante e que não se alastra, sendo seu colmo reto e de cor escura. Apresenta grande resistência às geadas além de servirem como barreira acústica quando plantadas em linha, porém ainda é pouco explorada (GRECO; CROMBERG, 2011). A Figura 6 apresenta a *Bambusa tudoides*

Figura 4: *Bambusa tudoides*.



Fonte: Do autor (2019).

#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

No presente trabalho foram produzidos compósitos de gesso reforçados com fibra de *Bambusa tuldoides* visando a sua utilização em chapas de gesso acartonado que são empregados na construção civil.

Os resultados obtidos indicam o possível uso dessa fibra como reforço, uma vez que as exigências mínimas das normas foram atendidas para a maioria dos tratamentos analisados.

Em relação a resistência ao arrancamento de parafuso e condutividade térmica a inserção das fibras vegetais resultaram em melhores desempenhos. Todos os tratamentos de chapas de gesso acartonado atenderam a norma de isolamento acústico para ambientes internos a partir da frequência de 1000 Hz.

Fica como sugestão para futuros trabalhos:

- i. Como a absorção de água pelas fibras vegetais mostrou influenciar nas propriedades físicas e mecânicas dos compósitos, sugere-se estudos sobre a absorção de água pela fibra bem como formas que amenizem esses efeitos.
- ii. Avaliação de possíveis tratamentos utilizados na fibra vegetal afim de melhor a ancoragem entre fibra-matriz.
- iii. Avaliar a combustibilidade e a durabilidade do material.
- iv. Estudos da viabilidade econômica e aplicabilidade em escala industrial, assim como aceitação comercial e técnica na construção civil.
- v. Avaliar a influência dos extrativos nos propriedade do compósito.

## REFERÊNCIAS

- ANGELERI, F. B.; CARDOSO, S. R. F.; SANTOS, P. S. As gipsitas brasileiras e sua aplicação como gesso na indústria cerâmica. Descrição dos métodos utilizados para seu estudo e caracterização. Parte I: Ensaio químicos. **Cerâmica**, São Paulo, v. 28, n. 156, p. 471-479, dez. 1982.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE DRYWALL – 2013. Disponível em: <[https://drywall.org.br/?gclid=EAJaIQobChMIz-2Mzdep5QIViYSRCh2aCAqhEAAYASAAEgJnO\\_D\\_BwE](https://drywall.org.br/?gclid=EAJaIQobChMIz-2Mzdep5QIViYSRCh2aCAqhEAAYASAAEgJnO_D_BwE)>. Acesso em: 17 setembro 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11685**: Divisórias leves internas moduladas – Terminologia. Rio de Janeiro, 1990.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13207**: Gesso da construção civil. Rio de Janeiro, 1994.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14715-1**: Chapas de gesso para *drywall* – Parte 1: Requisitos. Rio de Janeiro, 2010.
- BALTAR, C. A. M.; BASTOS, F. F.; LUZ, A. B. Gipsita. Rio de Janeiro: CETEM-Centro de Tecnologia Mineral Ministério da Ciência e Tecnologia, 2005. 23 p. Comunicação Técnica. Disponível em: <<http://mineralis.cetem.gov.br:8080/bitstream/cetem/1079/2/21.GIPSITA%20ok.pdf>>. Acesso em: 30 agosto 2019.
- BARDELLA, P. S. **Análise das propriedades de pastas de gesso de construção reciclado**. 2011. 214 p. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Campinas, SP. Disponível em: <<http://repositorio.unicamp.br/jspui/handle/REPOSIP/258676>>. Acesso em: 10 set. 2019.
- BERALDO, A. L.; AZZINI, A. Bambu características e aplicações. Editora Agropecuária Ltda., Guaíba, Rio Grande do Sul. 2004.
- BICER, A.; KAR, F. Thermal and mechanical properties of gypsum plaster mixed with expanded polystyrene and tragacanth. **Thermal Science and Engineering Progress**, Whitley Bay, v. 1, p. 59–65, 2017. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2451904917300082>>. Acesso em: 13 set. 2019.
- BRANDÃO, C. B. **Propriedades físicas, mecânicas e térmicas de argamassa de revestimento com adição de resíduo de pneu**. 2015. 102 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana) - Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2015.
- BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral. Ministério de Minas e Energia. Sumário mineral brasileiro de 2008. Brasil: DNPM, 2009.
- BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral. Ministério de Minas e Energia. Sumário mineral brasileiro de 2010. Brasil: DNPM, 2011a. Disponível em: <[https://sistemas.dnpm.gov.br/publicacao/mostra\\_imagem.asp?IDBancoArquivoArquivo=5474](https://sistemas.dnpm.gov.br/publicacao/mostra_imagem.asp?IDBancoArquivoArquivo=5474)>. Acesso em: 20 set. 2019.

CALLISTER JÚNIOR, W. D. **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução**. 5 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2002, p. 589, 2002.

CANUT, M. M. C. Estudo da viabilidade do uso do resíduo de fosfogesso como material de construção. 2006. 154 p. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006. Disponível em: <<https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/ISMS-6X6R77>>. Acesso em: 30 agosto 2019.

CARVALHO, L. R. **Proposta de estudo de processos construtivos industrializados do ponto de vista ambiental**. 132 p. Monografia – Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: <<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10022481.pdf>>. Acesso em: 12 set. 2019.

CUNHA, P. W. S. **Estudo sobre as potencialidades de compósitos à base de gesso e fibras de coco seco para aplicação na construção civil**. 2012. 120 p. Tese (Doutorado em Processamento de Materiais a partir do Pó; Polímeros e Compósitos; Processamento de Materiais a part) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2012. Disponível em: <<https://repositorio.ufrn.br/jspui/handle/123456789/12847>>. Acesso em: 13 set. 2019.

CONSTRUFACILRJ – 2013. Disponível em: <<https://construfacilrj.com.br/placas-de-gesso-liso-e-acartonado/>>. Acesso em: 17 setembro 2019.

CORREA, M. A. P. **Utilização de Bambu na Construção**. 2014. 107 p. Tese (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Universidade do Porto, Porto, 2014.

DE MILITO, J. A. **Avaliação do desempenho de aglomerante à base de gesso com cimento portland de alto forno e sílica ativa**. 2007. 339 p. Tese (Doutorado) - FEC-UNICAMP, Campinas, 2007. Disponível em: <<http://repositorio.unicamp.br/jspui/handle/REPOSIP/258270>>. Acesso em: 30 agosto 2019.

ELDER, A.J.; VANDENBERG, M. *Construccion: manuales* AJ. Madrid, H. Blume, 1977.

FARIA, R. Industrialização econômica. *Revista TÉCNICA* 136 julho de 2008.

FIDELIS, M. E. A.; PEREIRA, T. V. C.; GOMES, O. F. M.; SILVA, F. A.; TOLEDO FILHO, R. D. The Effect of Fiber Morphology on the Tensile Strength of Natural Fibers. **Journal of Materials Research and Technology**, Elsevier, v. 2, n. 2, p. 149–157, 2013. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2238785413000306>>. Acesso em: 12 set. 2019.

GARTNER, E. M. Cohesion and expansion in polycrystalline solids formed by hydration reactions – The case of gypsum plasters. **Cement and Concrete Research**, v.39, p. 289 – 295, 2009.

GOURDIN, W. H.; KINGERY, W. D. The beginnings of pyrotechnology: neolithic and egyptian lime plaster. **Journal of Field Archaeology**, Boston, v. 2, n. 1, p. 133-150, 1975. Disponível em: <[https://www.jstor.org/stable/529624?seq=1#page\\_scan\\_tab\\_contents](https://www.jstor.org/stable/529624?seq=1#page_scan_tab_contents)>. Acesso em: 30 agosto 2019.

GRANJA, C. V. A.; CAVALCANTE, E. P.; CAFFÉ FILHO, H. P.; SIQUEIRA, M. S.; NASCIMENTO, W. do. Degradação ambiental: Exploração de gipsita no polo gesseiro do Araripe. Id online: **Revista Multidisciplinar e de Psicologia**, v. 11, n. 36, 2017. Disponível em: <<https://idonline.emnuvens.com.br/id/article/view/782>>. Acesso em: 30 agosto 2019.

GRECO, T.M; CROMBERG, M. **Bambu: cultivo e manejo**. Florianópolis: Insular, 2011. 1181p.

GUERRA, B. C.; BAKCHAN, A.; LEITE, F.; FAUST, K. M. BIM-based automated construction wast estimation algorithms: The case of concrete and drywall wast streams. **Wast Management**, v. 87, p. 825-832, março 2019. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X1930131X?via%3Dihub>>. Acesso em: 12 set. 2019.

JOHN, V. M.; CINCOTTO, M. A. Gesso de construção civil. In: ISAIA, G. C. **Materiais de construção civil**. São Paulo: Ibracon, 2007. p. 727-760.

LAFARGE GESSO. Sistema Lafarge: painéis de gesso. Manual Técnico de paredes e forros. 43 p. Jan. 1996.

LÓPEZ, O. H. Bamboo the gift of the gods. Bogotá – Colombia. p. 553, 2003.

LYRA SOBRINHO, A. C. P.; AMARAL, A. J. R.; DANTAS, J. O. C.; DANTAS, J. R. A. Balanço mineral brasileiro 2001: Gipsita. Brasília: Departamento Nacional de Produção Mineral, 2001, 23 p.

MARINHO, G. S.; CUNHA, P. W. S.; GOMES, U. U. Propriedades termofísicas de compósito de matriz de gesso e fibra vegetal. **HOLOS**, v.1, p. 127-138, mar. 2013. Disponível em: <<http://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/view/1203>>. Acesso em: 13 set. 2019.

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**, Guildford, v. 131, p. 165–177, 2017. Disponível em:<<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061816318335>>. Acesso em: 12 set. 2019.

MESQUITA JÚNIOR, L. **Desenvolvimento e análise de compósitos à base de gesso com adição de resíduos de pneu e partículas de madeira de *Eucalyptus grandis***. 2018. 76 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Biomateriais) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2018. Disponível em: <<http://repositorio.ufla.br/handle/1/29497>>. Acesso em: 30 agosto 2019.

MESQUITA JÚNIOR, L. et al. Compósitos à base de cimento e gesso reforçados com partículas de madeira de *Eucalyptus grandis*. **Ciência da Madeira**, Pelotas, v.9, n.3, p.191-198, 2018. Disponível em: <<https://periodicos.ufpel.edu.br/ojs2/index.php/cienciadamadeira/article/view/12185/8883>>. Acesso em: 13 set. 2019.

MOREIRA, W. **Compósitos I: materiais, processos, aplicações, desempenhos e tendências**. São Paulo: ABMACO, 2008.

MUNHOZ, F. C.; RENÓFIO, A. Uso de Gipsita na construção civil e adequação para a P+L. XII SIMPEP, Bauru - SP, novembro 2006. Disponível em: <[http://www.simpep.feb.unesp.br/anais/anais\\_13/artigos/761.pdf](http://www.simpep.feb.unesp.br/anais/anais_13/artigos/761.pdf)>. Acesso em: 30 agosto 2019.

MURAKAMI, C. H. O bambu: matéria-prima do futuro. **Boletim Florestal**, São Paulo, v.1, n.6, p.5, 2007.

SENA NETO, A. R.; ARAUJO, M. A. M.; SOUZA, F. V. D.; MATTOSO, L. H. C.; MARCONCINI, J. M. Characterization and comparative evaluation of thermal, structural, chemical, mechanical and morphological properties of six pineapple leaf fiber varieties for use in composites. **Journal Industrial Crops and Products**, v. 43, p. 529 – 537, 2012. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926669012004669>>. Acesso em: 13 set. 2019.

PEREIRA, M. A. dos R. Bambu: Espécies, Características e Aplicações. Departamento de Engenharia Mecânica/ Unesp. Apostila. Bauru. 2001, p. 56.

PEREIRA, M. A. dos R.; BERALDO, A. L. Bambu de corpo de alma. Canal 6, Bauru, São Paulo. 2008, p. 240.

PERES, L.; BENACHOUR, M.; SANTOS, V. A.; Gesso – Produção e utilização na construção civil. SEBRAE, Recife (2008).

PINHEIRO, S. M. de M. **Gesso reciclado: Avaliação de propriedades para uso em componentes**. 2011. 303p. Tese (doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Campinas, SP. Disponível em:<<http://repositorio.unicamp.br/jspui/handle/REPOSIP/257820>>. Acesso em: 10 set. 2019.

RIBAS, R. A. J. **Método para avaliação do desempenho térmico e acústico de edificações aplicado em painéis de fechamento industrializados**. 2013. 222 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2013. Disponível em: <[https://www.repositorio.ufop.br/bitstream/123456789/4383/1/TESE\\_M%C3%A9todoAvalia%C3%A7%C3%A3oDesempenho.pdf](https://www.repositorio.ufop.br/bitstream/123456789/4383/1/TESE_M%C3%A9todoAvalia%C3%A7%C3%A3oDesempenho.pdf)>. Acesso em: 12 set. 2019.

SABBATINI, F. H. O processo de produção das vedações leves de gesso acartonado. **Anais**. São Paulo: Epusp/PCC, 1998.

SALES, U.C.; NEVES, F.A.; SOUZA, H.A. Avaliação comparativa do desempenho acústico de painéis de vedação pré-fabricados. In: Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído, 4, e Encontro Latino Americano sobre Conforto no Ambiente Construído, 3, 2001, São Pedro, SP. Anais eletrônicos: Encac 2001, v.1, p. 1-7, 2001.

SANTIAGO, A. K. **O uso do sistema Light Steel Framing associado a outros sistemas construtivos como fechamento vertical externo não estrutural**. 2008. 168 p. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Civil) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2008. Disponível em: <[http://www.tede.ufop.br/tde\\_arquivos/11/TDE-2012-03-08T155950Z-681/Publico/DECIV%20-%20Diss%20%20Alexandre%20Kokke%20Santiago.pdf](http://www.tede.ufop.br/tde_arquivos/11/TDE-2012-03-08T155950Z-681/Publico/DECIV%20-%20Diss%20%20Alexandre%20Kokke%20Santiago.pdf)>. Acesso em: 12 set. 2019.

SANTOS, F. A.; QUEIRÓZ, J. H.; COLODETTE, J. L.; FERNANDES, S. A.; GUIMARÃES, V. M.; REZENDE, S. T. Potencial da Palha de Cana de Açúcar para Produção de Etanol. **Química Nova**, v. 35, n. 5, p. 1004- 1010, 2012. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-40422012000500025](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422012000500025)>. Acesso em: 13 set. 2019.

SILVA, L. M. C. C., **Material compósito à base de gesso reforçado com fibras**. 2013. 106 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade do Minho Escola de Engenharia, Azurem, 2013. Disponível em: <[https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/30805/1/Tese\\_Luciana%20Silva\\_2013.pdf](https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/30805/1/Tese_Luciana%20Silva_2013.pdf)>. Acesso em: 30 agosto 2019.

SILVA, R.; HARAGUCHI, S.K.; MUNIZ, E. C.; RUBIRA, A.F.; Aplicações de fibras lignocelulósicas na química de polímeros e em compósitos. **Química Nova**, v.32, p.661, 2009. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-40422009000300010](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422009000300010)>. Acesso em: 13 set. 2019.

SINDUSGESSO – 2017. Disponível em: <<http://www.sindusgesso.org.br/governo-promove-forum-para-debater-desenvolvimento-do-polo-gesseiro-do-araripe/>>. Acesso em: 17 set. 2019.

SINGH, N. B; MIDDENDORF, B. Calcium sulphate hemihydrates hydration leading to gypsum crystallization. **Progress in crystal growth and characterization of materials**, v. 53, p. 57 – 77, 2007. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960897407000034>>. Acesso em: 10 set. 2019.

TANIGUITI, E. K. **Método Construtivo de Vedação Vertical Interna de Chapas de Gesso Acartonado**. 1999. 313 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999. Disponível em: <<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-14112001163706/publico/tdefinal.pdf>>. Acesso em: 12 set. 2019.

TILLER, D.K.; MUSSER, A.; WANG, L.M.; RADIK, M.J. Combined effects of noise and temperature on human comfort and performance. **American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Inc (ASHRAE)**, v. 16, part 2, p. 522-540, 2010.

VELOSO, Y. M. S.; SOUZA, I. E. S.; SANTOS, J. V.; LEITE, M. S. Reutilização da Fibra da Casca do Coco Verde para Produção de Matéria Prima Industrial. **Cadernos de Graduação – Ciências Exatas e Tecnológicas**, Sergipe, v. 1, n. 17, p. 91 – 98, outubro de 2013. Disponível em: <<https://periodicos.set.edu.br/index.php/cadernoexatas/article/view/579/570>>. Acesso em: 13 set. 2019.

VENTURA, A. M. F. M. Os Compósitos e a sua aplicação na Reabilitação de Estruturas metálicas. **Ciência e Tecnologia dos Materiais**, Lisboa, v. 21, n. 3-4, 2009. Disponível em: <[http://www.scielo.mec.pt/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S087083122009000200003](http://www.scielo.mec.pt/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S087083122009000200003)>. Acesso em: 10 set. 2019.

VIVADECORA – 2018. Disponível em: <<https://www.vivadecora.com.br/pro/curiosidades/passo-a-passo-drywall/>>. Acesso em: 17 setembro 2019.

SEGUNDA PARTE  
ARTIGOS

ARTIGO 1 – AVALIAÇÃO FÍSICA E MECÂNICA DE COMPÓSITOS DE GESSO  
REFORÇADOS COM FIBRA DE *Bambusa tuloides*  
(Artigo redigido conforme normas da Revista Matéria)

## 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>3</sup>,  
Lourival Marin Mendes <sup>4</sup>, José Benedito Guimarães Júnior <sup>5</sup>.

<sup>1</sup> Graduanda em Engenharia Civil, Universidade Federal de Lavras, Cx.3037, 37200-000, Lavras, Minas Gerais, Brasil  
e-mail: blooposalvarenga@gmail.com

<sup>2</sup> Doutorando em Engenharia de Biomateriais, Universidade Federal de Lavras, Cx.3037, 37200-000, Lavras, Minas Gerais, Brasil.

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

<sup>3</sup> Doutorando em Ciência e Tecnologia da Madeira, Universidade Federal de Lavras, Cx.3037, 37200-000, Lavras, Minas Gerais, Brasil.

e-mail: matheus.cordazzo@gmail.com

<sup>4</sup> Professor Doutor do Departamento de Ciências Florestais, Universidade Federal de Lavras, Cx.3037, 37200-000, Lavras, Minas Gerais, Brasil.

e-mail: lourival@ufla.br

<sup>5</sup> Professor Doutor do Departamento de Engenharia, Universidade Federal de Lavras, Cx.3037, 37200-000, Lavras, Minas Gerais, Brasil.

e-mail: 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 dos compósitos foram realizados ensaios de flexão estática, compressão e densidade aparente. Os valores obtidos na avaliação da fibra apresentaram valores próximos a 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 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 utilizado 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 há crescentes estudos relacionados com a melhoria das propriedades do gesso como 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) afim 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 desenvolvimento de compósitos reforçados com fibras vegetais está em constante crescimento 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 compactação 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 em fibras de bambu com diâmetros. 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 avaliação físico-mecânica 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, estudados no presente trabalho, foram o gesso de fundição obtido no mercado local e fibras vegetais de *Bambusa tuldooides*, material lignocelulósico usado como reforço. A fibras vegetais, foram obtidas de 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 foi obtida os teores de cinzas, extrativos totais, lignina insolúvel, de acordo, respectivamente com as normas NBR 13999 [18], NBR 14853 [19], NBR 7989 [20]. A quantificação da holocelulose 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 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 peneira de 0,25 mm.

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 abaixo 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.

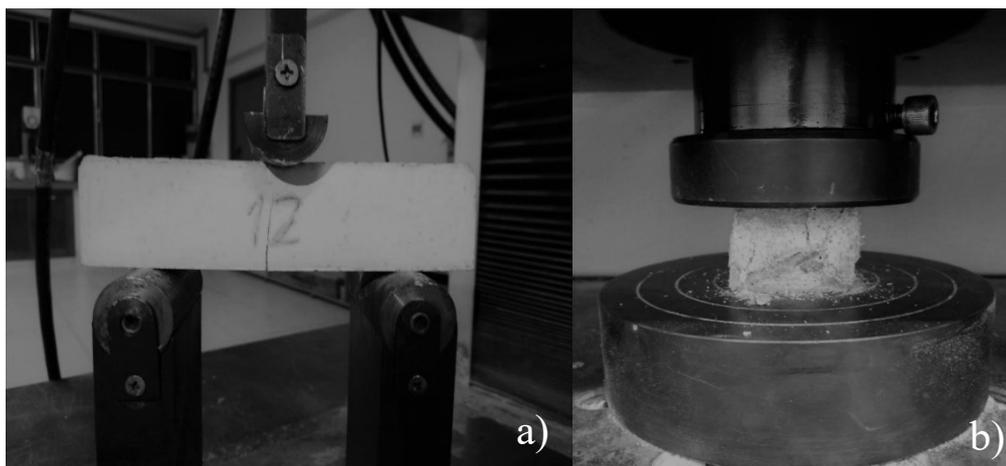
TRATAMENTO	GESSO (%)	FIBRA DE BAMBU (%)
0%	100	0
5%	95	5
10%	90	10
15%	85	15
20%	80	20
25%	75	25
30%	70	30



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

Os corpos de prova após endurecidos foram desmoldados colocados na câmara de climatização por 6 dias, com temperatura de  $20 \pm 2$  °C e umidade relativa de  $20 \pm 2$ %. Posteriormente foram colocados na estufa com temperatura de  $40 \text{ °C} \pm 5$  °C por 24 horas, afim 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 (com avaliação do módulo de ruptura) 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 o as fibras de bambu *Bambusa tuldooides* com a matriz de gesso, foi investigada na superfície de ruptura do ensaio de flexão através do o 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 tuldooides*.

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

PROPRIEDADES FÍSICAS	VALOR
Densidade básica (kg/m <sup>3</sup> )	303 (11)
Umidade na base seca (%)	4,18 (1,09)

Os valores entre parênteses representam o desvio padrão.

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]. 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 tuldooides* 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 feita no *software* WinCell do comprimento, diâmetro das fibras e diâmetro do lúme que foram retidas na peneira de 0,25 mm, bem como seu o valor obtido para o índice de esbeltez estão apresentados na Tabela 3.

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

CARACTERIZAÇÃO ANATÔMICA	VALOR
Comprimento médio (um)	1826,00 (334,00)
Espessura da fibra média (um)	17,00 (4,00)
Diâmetro do lúmen médio (um)	2,50 (1,00)
Espessura da parede média (um)	14,00 (4,00)
Índice de Esbeltez $\lambda$	109,740

Os valores entre parênteses representam o desvio padrão.

De acordo com *International Association of Wood Anatomists* (IAWA) [29] as fibras podem ser classificadas como de comprimento médio (910-1600 um), moderadamente longa (1610-2200 um) ou muito longa (2210 - 3000 um). O comprimento médio obtido das fibras foi de 1826,00 um, assim esta é classificada como fibra do tipo moderadamente longa. De acordo com BENITES *et al.* [30], quanto maior o comprimento da fibra maior a possibilidade de entrelaçamento entre elas. Os valores encontrados para comprimento, espessura da fibra e diâmetro do lúme médio estão dentro da margem relatada por PHILIP [31] para bambus, que tem o comprimento variando de 1500 a 4400 um, de 10 a 25 um para a espessura das fibras e diâmetro do lúme com variação de 2,2 a 8,7 um. A espessura da parede tem sua variação entre 2 a 11 um e o valor médio obtido neste artigo 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 um, 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 [32] 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 um, sendo os valores encontrados neste artigo próximos a estes. Estudos mais recentes com outros tipos de bambus foram realizados, GUIMARÃES JUNIOR *et al.* [33] estudaram o bambu *Bambusa vulgaris* e obtiveram valores médios de 2300 um para comprimento, 14 um para espessura da fibra e 5 um para espessura da parede.

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

**Tabela 3:** Análise química da *Bambusa tuldoides*.

ANÁLISE QUÍMICA	VALOR
Cinzas (%)	1,02 (0,03)
Extrativos totais (%)	5,04 (1,97)
Lignina insolúvel (%)	24,05 (0,30)
Holocelulose (%)	69,89 (1,93)

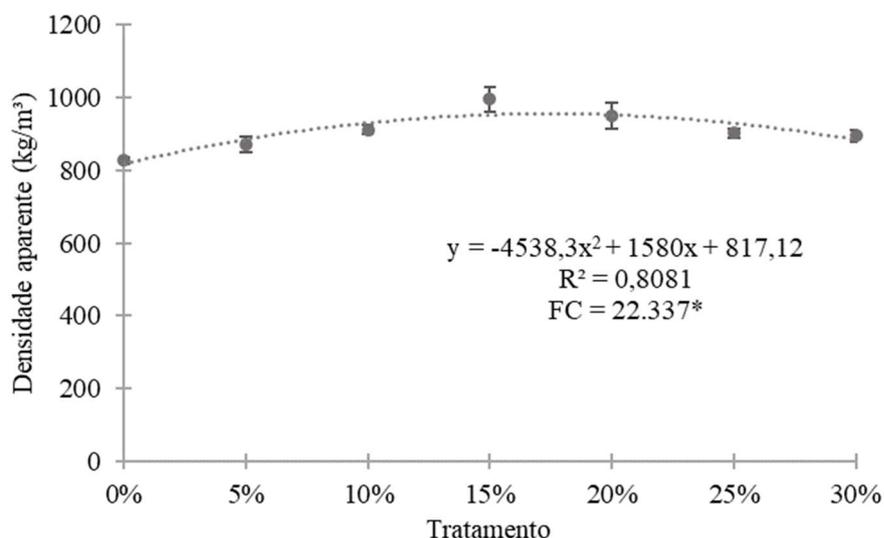
Os valores entre parênteses representam o desvio padrão.

As espécies de bambu de forma geral, apresentam teor variando de 60 a 70% para holocelulose e de 20 a 30% para lignina, já cinzas e extrativos estão presentes em pequenas porcentagens na composição do vegetal, porém essa 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* estudada foi similar às

porcentagens obtidas por LI [35] para a espécie *Phyllostachys pubescens*, que foi de 72,69% de holocelulose, 23,95% de lignina e 1,36% de cinzas. Para extrativos totais os valores obtidos por esses pesquisadores foi de 2%, inferior aos observados nesta pesquisa. Segundo SHIROMA, CAMARINI e BERALDO [36] uma maior porcentagem de extrativos totais pode ocasionar em um maior tempo de endurecimento devido à diminuição da cinética de hidratação do gesso.

As densidades aparentes dos compósitos de todos os tratamentos para a caracterização física podem ser observadas na Figura 4.

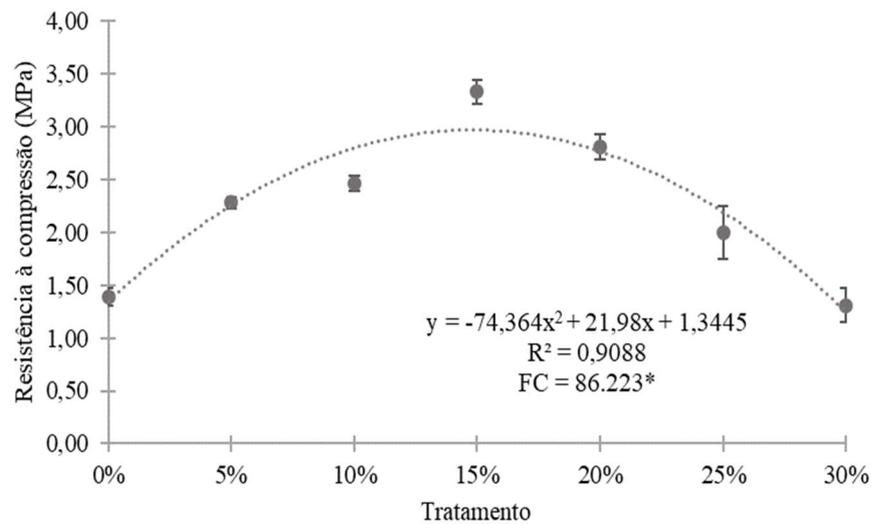


**Figura 4:** Densidade aparente dos compósitos de gesso reforçados com fibra do bambu *Bambusa tuldooides*.  $R^2$  = Coeficiente de determinação. \*Significativo à 5% de significância

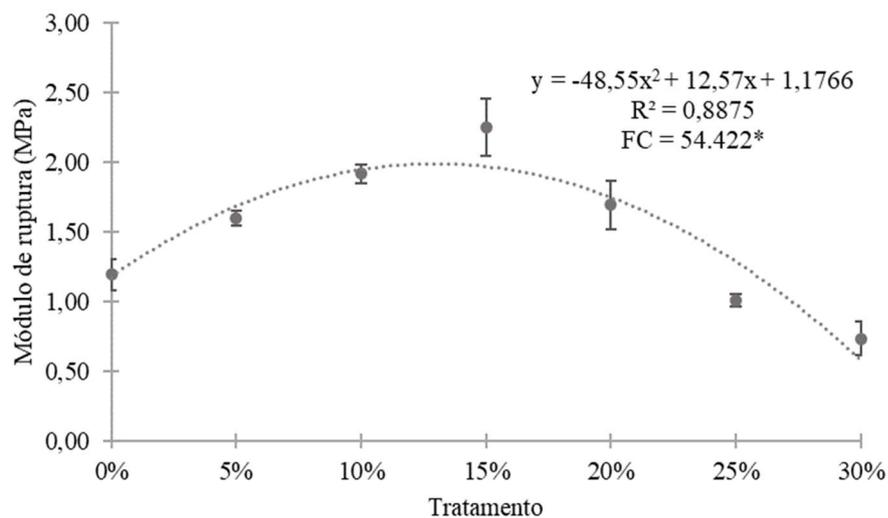
A regressão quadrática foi significativa ( $F_c = 22,337^*$ ) para densidade aparente, indicando que existe relação quadrática entre a porcentagem de inserção de bambu no compósito e a densidade aparente dos mesmos. O ponto máximo observado pela curva, ou seja, o valor de acréscimo de bambu que permitiria a maior densidade ( $0,96 \text{ g/cm}^3$ ) é de aproximadamente 17,41%. Essa variação é atribuída a afixação 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 aumentando a 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 massa total do compósito em um mesmo volume.

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.



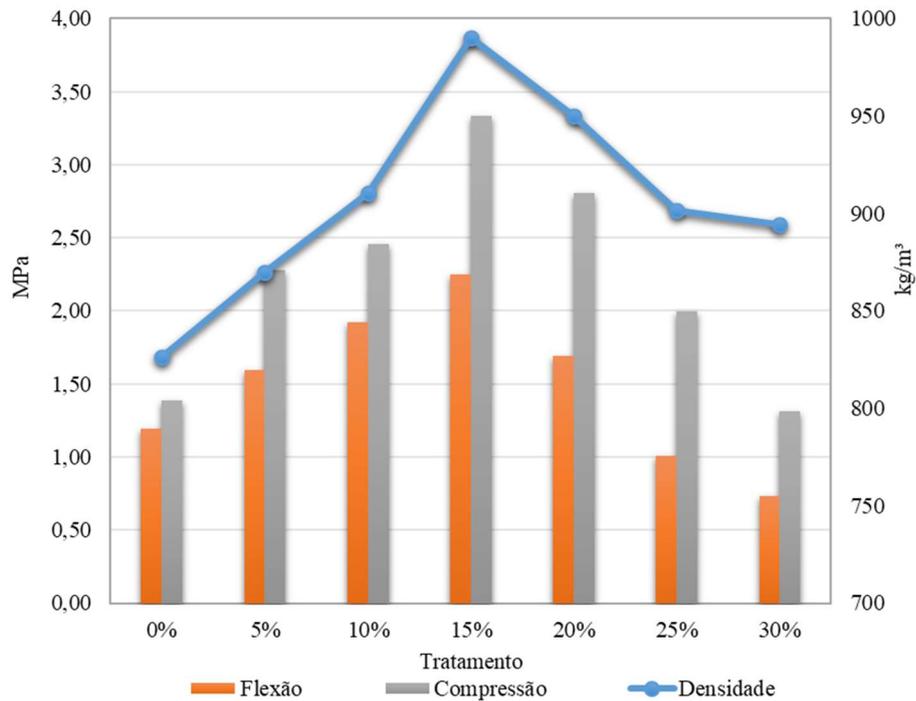
**Figura 5:** Resistência à compressão dos compósitos de gesso reforçados com fibra do bambu *Bambusa tuldoides*.  $R^2$  = Coeficiente de determinação. \*Significativo à 5% de significância.



**Figura 6:** Módulo de ruptura na flexão estática dos compósitos de gesso reforçados com fibra do bambu *Bambusa tuldoides*.  $R^2$  = Coeficiente de determinação. \*Significativo à 5% de significância.

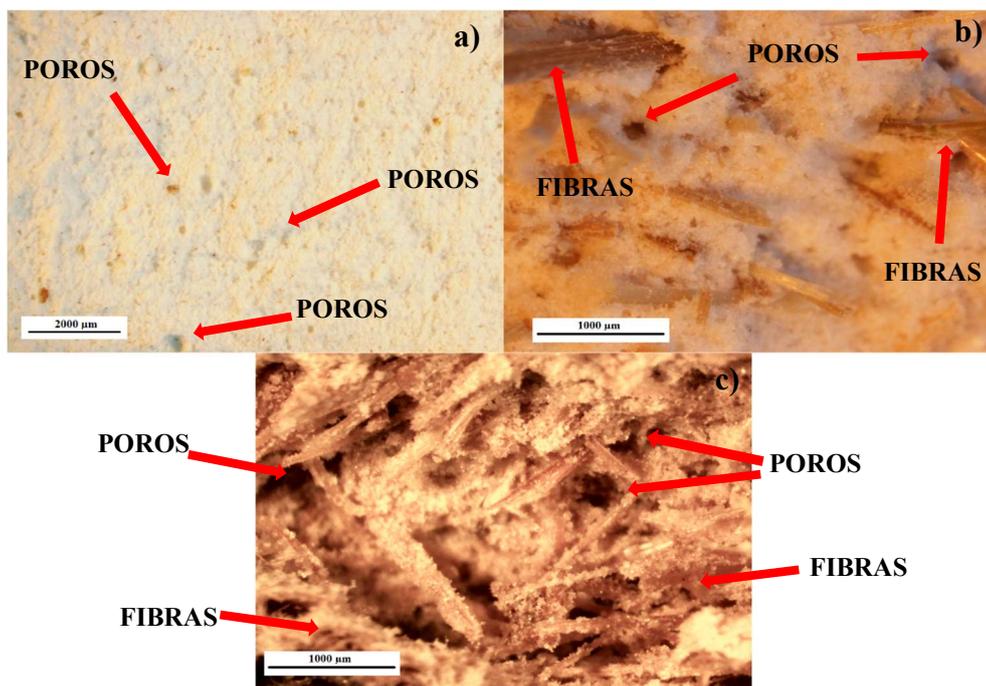
Nas Figuras 5 e 6, que representam a relação entre tensão da força máxima na compressão e o módulo de ruptura com os tratamentos produzidos, pode-se observar a regressão quadrática foi significativa para ambas as propriedades com  $F_c = 86,223^*$  para compressão e  $F_c = 54,422^*$  para módulo de 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 5, 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 7 estão relacionadas as propriedades mecânicas com a densidade dos compósitos.

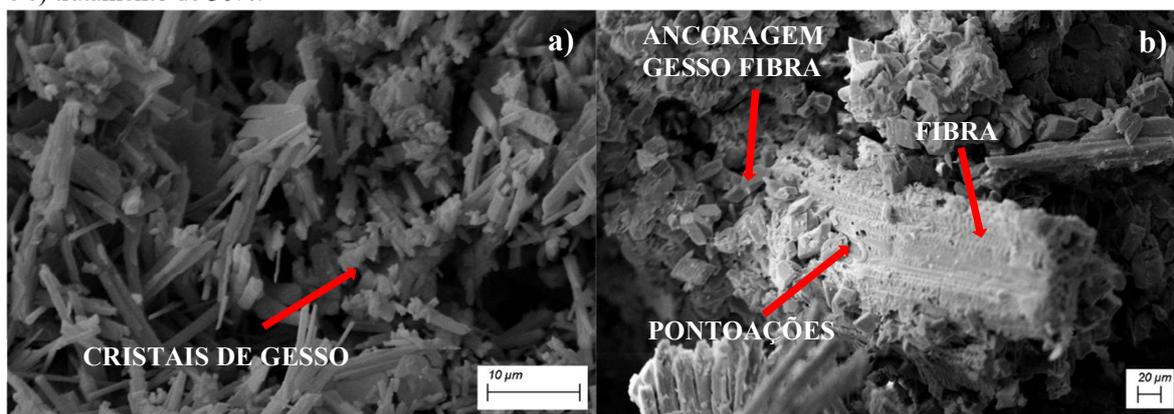


**Figura 7:** Relação entre a densidade, módulo de ruptura na flexão estática e resistência à compressão dos compósitos.

Conforme mostra a Figura 7, ocorreu um comportamento similar entre as propriedades mecânicas, compressão e flexão, 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, 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, portanto, ocasionando baixa resistência mecânica [42].



**Figura 8:** Imagens realizadas no estereoscópio nos compósitos do a) tratamento de 0%, b) tratamento de 15% e c) tratamento de 30%.



**Figura 9:** 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 8b observa-se a distribuição homogênea da fibra na matriz do compósito de 15%, sem ocorrer formação de espaços. Entretanto na Figura 8b, que mostra o tratamento com 30%, nota-se a aglomeração de fibras e grande quantidade de espaços vazios. Na Figura 9b 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 colaboram para justificar os comportamentos 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 do mesmo. O aumento pode ser justificado pela absorção da fibra devido a presença de pontoações (porosidade) que faz a relação água gesso diminuir. Já o decréscimo se deve a grande quantidade de fibras inserida aumentando a quantidade de espaços vazios ocasionado pelo seu entrelaçamento.
3. As propriedades mecânicas analisadas (flexão e compressão) tiveram comportamento semelhante ao da densidade, mostrando que há uma relação direta com ela.
4. A fibra da *Bambusa tuldoides* se mostrou viável para produção de compósitos de matriz de gesso entre as porcentagens de 3,37 e 26,19% de bambu. Porém, mais estudos são necessários para a caracterização completa desse compósito produzido.

#### 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 tuldoides* e *Pinus taeda*”, *Ciência Florestal*, v. 25, n. 4, pp. 1015-1026, Dez. 2015.
- [25] MOTA, I. de O. da, PEREIRA, M. de 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] 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.
- [30] BENITES, P. K. R. M., GOUVÊA, A. de 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.
- [31] 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.
- [32] 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.
- [33] GUIMARÃES JUNIOR, M., NOVACK, K. M., BOTARO, V. R., *et al.*, “Caracterização anatômica da fibra de bambu (*Bambusa vulgaris*) visando sua utilização em compósitos poliméricos”, *Revista Iberoamericana de Polímeros*, v. 11, n. 7, pp. 442-456, Dez. 2010.
- [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] 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.
- [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. de, *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.

ARTIGO 2 – PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE PLACAS DE GESSO  
ACARTONADO REFORÇADOS COM FIBRA DE *Bambusa tuldoides*  
(Artigo redigido conforme normas da Revista Matéria)

## Produção e caracterização de placas de gesso acartonado reforçado com fibra de *Bambusa tuldooides*

### Production and characterization of *Bambusa tuldooides* fiber-reinforced cardboard plaster

Bruna Lopes Alvarenga <sup>1</sup>, Laércio Mesquita Júnior <sup>2</sup>, Douglas Lamounier Faria <sup>2</sup>, Lourival Marin Mendes <sup>3</sup>, José Benedito Guimarães Júnior <sup>4</sup>

<sup>1</sup> Graduanda em Engenharia Civil, Universidade Federal de Lavras, Cx.3037, 37200-000, Lavras, Minas Gerais, Brasil  
e-mail: blopesalvarenga@gmail.com

<sup>2</sup> Doutorando em Engenharia de Biomateriais, Universidade Federal de Lavras, Cx.3037, 37200-000, Lavras, Minas Gerais, Brasil.

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

<sup>3</sup> Professor Doutor do Departamento de Ciências Florestais, Universidade Federal de Lavras, Cx.3037, 37200-000, Lavras, Minas Gerais, Brasil.

e-mail: lourival@ufla.br

<sup>4</sup> Professor Doutor do Departamento de Engenharia, Universidade Federal de Lavras, Cx.3037, 37200-000, Lavras, Minas Gerais, Brasil.

e-mail: jose.guimaraes@ufla.br

---

#### RESUMO

O objetivo deste trabalho foi produzir e avaliar a adição de fibras de *Bambusa tuldooides* como reforço em placas de gesso acartonado. A densidade básica, umidade na base seca, análise química e dimensões das fibras foram realizadas para a caracterização do bambu. Foi determinada a relação água gesso ideal de acordo com as exigências da densidade. Os compósitos produzidos tiveram a substituição em volume da pasta de gesso por 0, 15 e 30% de bambu sendo denominados respectivamente de T1, T2 e T3, assim foram avaliadas a densidade aparente, flexão estática longitudinal (para obtenção do módulo de elasticidade – MOE e módulo de ruptura - MOR), arrancamento de parafuso, condutividade térmica e isolamento acústico. A relação de água gesso ideal para a produção dos compósitos foi de 1:1. A densidade teve aumento de seu valor até o tratamento T2 e posteriormente ocorreu sua diminuição até o tratamento T3. Todos os tratamentos obtiveram densidade de acordo com as exigências da norma de gesso acartonado. O comportamento na flexão estática longitudinal foi semelhante ao da densidade, aumentando seu valor até o tratamento T2 e diminuindo até o tratamento T3, porém apenas os valores de MOR dos tratamentos T1 e T2 atenderam a norma. A resistência ao arrancamento de parafuso teve seu valor aumentado com a adição de fibras. A condutividade térmica diminuiu com o aumento da quantidade de fibras presente, de modo que o tratamento T3 foi o melhor isolante térmico. Já no isolamento acústico, o valor de índice de redução sonora aparente para todos os tratamentos está de acordo com a norma de isolamento acústico, para paredes divisórias, a partir da frequência de 1000 Hz. Diante do exposto, conclui-se ser possível a utilização de fibras de *Bambusa tuldooides* como reforço de placas de gesso acartonado.

**Palavras-chave:** Condutividade térmica, *drywall*, fibras lignocelulósicas.

---

#### ABSTRACT

The objective of this work was to produce and evaluate the addition of *Bambusa tuldooides* fibers as reinforcement in plasterboard. Basic density, dry base moisture, chemical analysis and fiber dimensions were performed for the characterization of bamboo. The ideal water plaster ratio according to the density requirements was determined. The composites produced were replaced by volume of the gypsum paste by 0, 15 and 30% of bamboo being denominated respectively T1, T2 and T3, thus the apparent density, longitudinal static flexion (to obtain the modulus of elasticity) were evaluated. - MOE and rupture module - MOR), screw pullout, thermal conductivity and sound insulation. The ideal plaster water ratio for the production of composites was 1: 1. Density increased in value until treatment T2 and subsequently decreased until treatment T3. All treatments obtained density according to the requirements of the standard plasterboard. The behavior in the longitudinal static flexion was similar to the density, increasing its value until treatment T2 and decreasing until treatment T3, but only the MOR values of treatments T1 and T2 met the norm. Screw pullout strength was increased by

the addition of fibers. Thermal conductivity decreased with increasing amount of fiber present, so T3 treatment was the best thermal insulator. In the case of acoustic insulation, the apparent sound reduction index value for all treatments is in accordance with the acoustic insulation standard for partition walls, starting at the frequency of 1000 Hz. Given the above, it is concluded that it is possible the use of *Bambusa tuldoidea* fibers as reinforcement of plasterboard.

**Keywords:** Thermal conductivity, Drywall, lignocellulosic fibers.

## 1. INTRODUÇÃO

Nos dias atuais, a utilização de novos materiais na construção civil vem crescendo de forma expressiva, um desses materiais são as placas de gesso acartonado, que são aplicadas em grande maioria como divisórias e forros. Esse tipo de material quando afixadas em perfil de aço galvanizado ou madeira, forma um sistema construtivo denominado *drywall* que apresenta facilidade na remodelação e são frequentemente empregados para compartimentar ambientes em residências, hotéis e edifícios de escritórios [1, 2]. Segundo a NBR 14715 [3] o gesso acartonado é um tipo de material industrializado, cujo processo de fabricação se dá pela laminação contínua de uma mistura de gesso, água e aditivos entre duas folhas de papel cartão. O gesso tem como função resistir aos esforços de compressão, já o papel o de resistir aos esforços de tração para que o material seja resistente mecanicamente [4].

As placas de gesso acartonado quando utilizadas como paredes duplas apresentam excelentes características, como fácil instalação, baixa densidade, resistência ao fogo, bom isolamento térmico e acústico. Atualmente, de acordo com a mudança do estilo e padrão de vida das pessoas, a exigência quanto ao isolamento acústico das paredes dos edifícios se tornou mais rigorosa [2, 5]. Já o isolamento térmico de materiais utilizados em ambientes também é imprescindível devido a capacidade auxiliar na regulação da temperatura do local com a diminuição da utilização de meios como ar-condicionados e ventiladores que consomem energia desnecessariamente. Isso fez com que estudos relacionados a materiais com melhores desempenho térmico crescesse devido ao apelo ambiental gerado, bem como eficiência energética e questão econômica [5].

O gesso é o principal componente deste produto, proveniente do mineral gipsita que é em maior parte constituído por sulfato de cálcio di-hidratada ( $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ ) [6]. Este material possui grande utilização no setor da construção civil devido as suas propriedades como boa relação custo-benefício, consumo energético baixo, resistência ao fogo, isolamento térmico e acústico. Porém, por ser um material cerâmico apresenta ruptura frágil, além de apresentar baixa resistência a água, podendo se dissolver [7]. Deste modo, a produção de compósitos vêm aumentando afim de melhorar suas propriedades indesejadas [8].

Os compósitos são a junção de dois ou mais materiais com diferentes propriedades químicas e físicas, afim de produzir um material com melhores propriedades. Os compósitos particulados ou reforçados com fibras são aqueles que apresenta fase continua denominada de matriz e fase dispersa denominada de reforço [7]. Há também os compósitos laminados que possuem núcleo mais leve entre materiais mais rígidos, como é o caso do gesso acartonado, que apresenta uma placa de gesso revestidas por lâminas de papel cartão [9]. A utilização de determinado material se deve a propriedade que se objetiva ter [10]. Os reforços orgânicos, como as fibras vegetais apresentam vantagens na sua utilização por terem alta resistência a tração, baixo custo, além de serem renováveis, biodegradáveis e realizam a compactação de carbono, o que proporciona conciliar a preocupação ambiental com a viabilidade econômica que é uma tendência mundial [10,11].

A utilização de fibras vegetais como reforço tem seus estudos crescendo de forma considerável visando a análise das propriedades térmicas e acústicas do material. RIZZO *et al.* [12] avaliaram a propriedade acústica de aglomerados de poliuretano rígido com adição de fibras de bananeira e celulose e os resultados mostraram que os aglomerados apresentaram melhora nas médias frequências. LOUZI *et al.* [13] estudou a caracterização física, acústica e térmica de biocompósitos poliméricos reforçados com fibra de coco e concluiu que o aumento da quantidade de fibras faz com que o isolamento acústico e térmico do biocompósito aumente. Já SAIR *et al.* [14] analisaram o isolamento térmico de compósitos de matriz de gesso reforçada com resíduos de cortiça e papelão e obtiveram maior isolamento térmico nesses compósitos em relação ao referencial.

O bambu é um vegetal pertencente à família *Gramineae* e subfamília *Bambusoideae*. Ele é um material lignocelulósico lenhoso e perene que apresentam rápido crescimento, boas propriedades mecânicas, além de ser um vegetal de fácil acesso. Essas características o fazem se destacar em estudos de compósitos com sua utilização [15,16].

Deste modo, este artigo propõe a produção de placas de gesso acartonado em ambiente laboratorial com o uso de fibras de *Bambusa tuldoidea* como reforço nas porcentagens 0, 15 e 30% com substituição em volume da pasta de gesso e a caracterização das propriedades físicas, mecânicas, acústica e térmica, afim de obter o melhor tratamento para atender a maior variedade de aplicações possível do material.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Na produção das placas de gesso acartonado foram necessários gesso de fundição e papel cartão de alta gramatura do tipo paraná obtidos no mercado local, e fibras vegetais de *Bambusa tuldooides*, material lignocelulósico usado como reforço. Os colmos de *Bambusa tuldooides* foram coletadas da plantação localizada na Universidade Federal de Lavras (UFLA), em Lavras, MG, com idade de 28 anos.

As fibras de *Bambusa tuldooides* foram caracterizadas fisicamente através de ensaios realizados de acordo com as diretrizes expostas na NBR 14660 [17] para a determinação umidade na base seca e na NBR 11941 [18] para a determinação da densidade básica. Na caracterização química do material do material foi obtida os teores de cinzas, extrativos totais, lignina insolúvel, de acordo, respectivamente com as normas NBR 13999 [19], NBR 14853 [20], NBR 7989 [21] e a holocelulose foi realizada por diferença. Para a caracterização anatômica foram medidos o comprimento e espessura da fibra, bem como a espessura do lúmen da fibra, através do programa WinCell com a objetiva de 40x, sendo a amostra preparada pelo processo de maceração seguindo as recomendações da NBR 15066 [22].

Para a produção das placas de gesso acartonado os colmos dos bambus foram cortados em tiras menores e posteriormente fragmentados com a utilização do moinho martelo, em menores dimensões. Em seguida, com a material já triturado, o mesmo foi submetido ao processo de peneiração por um conjunto de peneiras de com aberturas de 0,42 e 0,25 mm, sendo o material retido na peneira de 0,25 mm o utilizado na produção.

Para a escolha da relação água/gesso foram realizados ensaios com relação 0,6, 0,8, 1,0 e 1,2 para verificar qual das relações é obtido a densidade dentro das exigências da norma NBR 14715 [3]. A substituição de fibras de bambu realizada em volume nas proporções 0, 15 e 30% foram adaptadas de MORALES-CONDE, RODRÍGUEZ-LIÑÁN e PEDREÑO-ROJAS [23]. As porcentagens de gesso e fibra de bambu para cada tratamento podem ser observadas na Tabela 1.

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

TRATAMENTO	GESSO (%)	FIBRA DE BAMBU (%)
T1	100	0
T2	85	15
T3	70	30

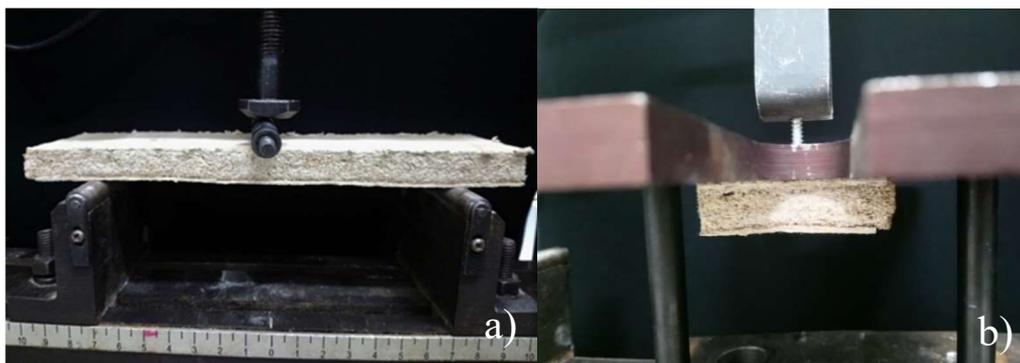
A norma dos requisitos das chapas de gesso acartonado NBR 14715 [3] estabelece espessuras padrão bem como respectivas densidades, deste modo as chapas podem ter espessuras de 9,5, 12,5 e 15,0 mm ( $\pm 0,5$  mm). Afim de padronizar o processo produtivo foi escolhido produzir chapas de 12,5 mm de espessura.

Em uma forma de madeira com dimensões de 25 x 25 x 1,5 cm foi afixado a primeira lâmina de papel cartão e os demais materiais foram pesados e misturados com o auxílio de um bastão de vidro e vertidos na forma. Em seguida a segunda lâmina de papel cartão foi colocada sobre a pasta de forma cuidadosa. Ao apresentar determinada consistência, pesos foram distribuídos em cima do corpo de prova afim de obter uma melhor fixação entre a pasta e o papel cartão. As chapas de gesso acartonado após endurecidos foram retirados da forma e colocados na câmara de climatização por 6 dias com temperatura de  $20 \pm 5$  °C e umidade relativa de  $20 \pm 2\%$ . Posteriormente colocados na estufa com temperatura de  $40 \pm 5$  °C por 24 horas, afim de realizar a completa secagem do material. Na Figura 1 mostra uma placa de gesso acartonado no processo de secagem na câmara climatizada.



**Figura 1:** Chapa de gesso acartonado desmoldado.

A densidade aparente e a flexão estática longitudinal (com avaliação de módulo de elasticidade – MOE e de ruptura - MOR) foram realizadas de forma adaptada de acordo com a normativa NBR 14717 [24]. Já o ensaio de arrancamento de parafuso foi adaptado da norma NBR14810-3 [25]. Nas Figuras 2a e 2b podem ser observados a realização dos ensaios de flexão e arrancamento de parafuso dos compósitos.



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

A determinação do isolamento acústico foi realizada de forma adaptada à metodologia descrita por TOUTONGE [26] de duas câmaras em escala reduzida. Os corpos de prova foram colocados entre as duas câmaras, sendo uma câmara com uma fonte sonora e o outro com o receptor. As medições foram realizadas nas frequências de 120 a 8000 Hz. Já a condutividade térmica foi determinada através da metodologia proposta por SILVA [27] e EUGÊNIO [28], sendo os valores de temperatura obtidos no aquecimento das amostras na face exposta a radiação da lâmpada e na face oposta até sua estabilização. A condutividade térmica foi calculada pela razão entre o produto da espessura da amostra com a radiação incidente da lâmpada pela diferença de temperatura estabilizada.

A caracterização os corpos de prova para a análise da interface entre o as fibras de *Bambusa tuldooides* com a matriz de gesso, foi investigada na superfície de ruptura do ensaio de flexão através do microscópio estereoscópio Nikon SMZ 1500 e da microscopia eletrônica de varredura (MEV) com o microscópio SEM 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 o material condutor e adequado 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 o teste de média de Scott-Knott, a 5% de significância. Os dados foram avaliados estatisticamente com o uso do *software* Sisvar.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A densidade básica das fibras de *Bambusa tuldooides* foi de 303 kg/m<sup>3</sup>, valor inferior ao encontrado por SANTOS *et al.* [29], que foi de 420 kg/m<sup>3</sup>. Já o valor de umidade na base seca encontrado por MORAIS *et al.* [30] variou entre 2,23 a 2,86%, valores inferiores ao obtido neste trabalho que foi de 4,178%. No entanto, MOTA *et al.* [31] relata que essas propriedades podem sofrer variações tanto comparada com outras espécies de bambu, como dentro da mesma espécie, pois são propriedades influenciadas de forma direta com a posição de retirada da amostra no colmo e pela sua idade. A densidade varia também de acordo com o conteúdo das fibras, bem como sua espessura e seu diâmetro. Essa variação na estrutura anatômica interfere nas propriedades mecânicas do produto produzido, visto que quanto maior a massa lignocelulósica em um mesmo volume maior a resistência da fibra [32].

A análise feita no software WinCell do comprimento e diâmetro das fibras que foram retidas na peneira de 0,25 mm, bem como seu índice de esbeltez estão na Tabela 2.

**Tabela 2:** Caracterização anatômica da fibra de *Bambusa tuldooides*.

CARACTERIZAÇÃO ANATÔMICA	VALOR
Comprimento médio (um)	1826,00 (334,00)
Espessura da fibra média (um)	17,00 (4,00)
Diâmetro do lúmen médio (um)	2,50 (1,00)
Espessura da parede média (um)	14,00 (4,00)
Índice de Esbeltez $\lambda$	109,740

Os valores entre parênteses representam o desvio padrão.

O comprimento médio obtido para as fibras da *Bambusa tuldooides* foi de 1826,00 um, que de acordo com a *International Association of Wood Anatomists* (IAWA) [33] é classificada como fibra do tipo moderadamente longa já que está compreendido entre os valores de 1610 a 2200 um. PHILIP [34] relata que em geral, para as fibras de bambus, o comprimento varia de 1500 a 4400 um, a sua espessura varia de 10 a 25 um, espessura da parede entre 2 a 11 um e o diâmetro do lúmen varia de 2,2 a 8,7 um. Com exceção da espessura da parede das fibras, que teve valor médio superior ao relatado por PHILIP [34], as outras dimensões se enquadraram nas margens. No entanto, essa maior espessura de parede é considerada normal, visto que, de acordo com RUSCH, CEOLIN e HILLING [32] os bambus das espécies *Bambusa tuldooides*, *Bambusa tulda* e *Bambusa nutans*, são espécies que apresentam espessura de parede médio maiores. Em geral os valores excedem 7,1 um e são superiores ao diâmetro dos seus respectivos lúmens. Porém, apesar de possuírem paredes mais espessas, ainda são consideradas estreitas, já que seu comprimento é relativamente maior que o seu diâmetro. Para o índice de esbeltez foi encontrado o valor de 109,47, sendo que quanto maior o valor deste índice mais fina é a fibra.

As medidas das dimensões da fibra foram próximas aos obtidos por AZZINI e CIAMELLO [35] para a mesma espécie, sendo os valores médios de comprimento 1890 um, espessura da fibra 18 um e espessura da parede 7,2 um. MARINHO, NISGOSKI e MUÑIZ [36] avaliaram as dimensões das fibras da espécie *Dendrocalamus giganteus* Munro em diferentes idades, e os valores mais próximos foram encontrados para a idade de 3 anos com comprimento de 3390 um, 28 um para a espessura da fibra e 11 um para espessura de parede. Deste modo mostra que o índice de esbeltez do *Dendrocalamus giganteus* é superior ao estudado neste artigo. Porém a espessura média da parede da *Bambusa tuldooides* é maior ao do *Dendrocalamus giganteus*.

A composição química das fibras pode ser observada na Tabela 3.

**Tabela 3:** Análise química da *Bambusa tuldooides*.

ANÁLISE QUÍMICA	VALOR
Cinzas (%)	1,02 (0,03)
Extrativos totais (%)	5,04 (1,97)
Lignina insolúvel (%)	24,05 (0,30)
Holocelulose (%)	69,89 (1,93)

Os valores entre parênteses representam o desvio padrão.

Os valores da composição química da fibra da *Bambusa tuldooides*, como descrito na Tabela 3, foram similares às porcentagens obtidas por VALE, MOREIRA e MARTINS [37] para a espécie *Bambusa vulgaris* exceto em relação ao teor de cinzas. Foram obtidos os valores de 69,32 a 72,75% de holocelulose, 21,99 a 29,01% de lignina, 3,37 a 6,33% de extrativos e 2,33 a 10,05% para cinzas. Também está de acordo com NAYAK e MISHRA [38] ao qual para as espécies de bambu de uma forma geral apresentam teor variando de 60 a 70% para holocelulose e de 20 a 30% para lignina, já cinzas e extrativos estão presentes em pequenas porcentagens na composição do vegetal, porém essa quantidades podem sofrer variações de acordo com a espécie, idade, e região do caule que foi retirada e condições climáticas e de solo.

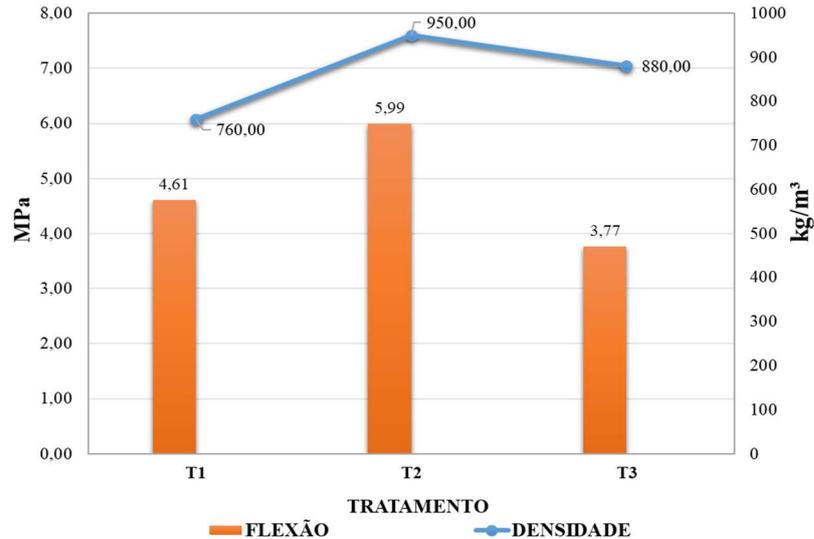
A relação água gesso cujo produto obteve densidade dentro das exigências da norma NBR14715 [3] foi a relação 1:1, ou seja, para cada 100 gramas de gesso são necessários 100 gramas de água. Os resultados da caracterização física e mecânica podem ser observados na Tabela 4.

**Tabela 4:** Caracterização física e mecânica das chapas de gesso acartonado reforçados com fibra de *Bambusa tuldooides*.

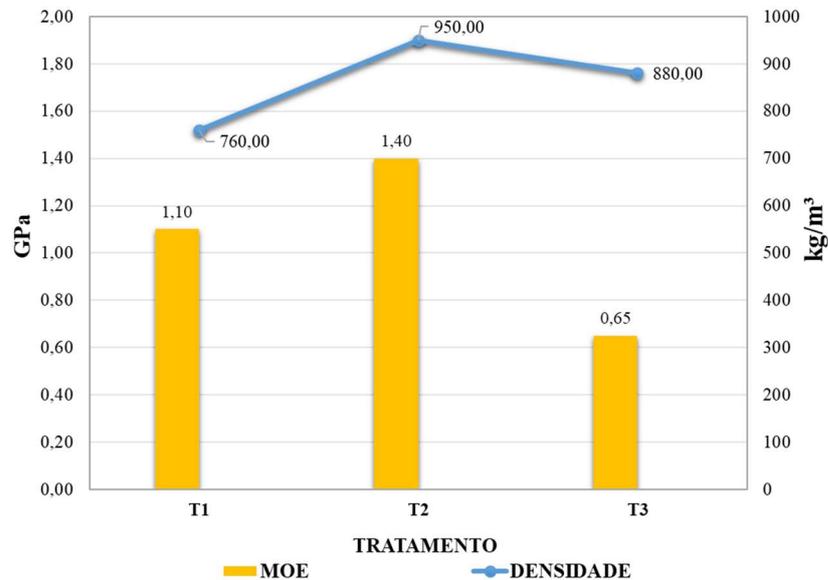
TRATAMENTO	DENSIDADE APARENTE (kg/m <sup>3</sup> )	MOR (MPa)	MOE (GPa)	ARRANCAMENTO DE PARAFUSO (N)
T1	760,00 (10,00) A	4,61 (0,27) B	1,10 (0,12) B	83,07 (15,22) A
T2	950,00 (10,00) C	5,99 (0,14) C	1,40 (0,05) C	180,57 (25,09) B
T3	880,00 (10,00) B	3,77 (0,19) A	0,65 (0,11) A	241,23 (8,82) C

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste Scott-Knott a 5% de significância. Valores entre parênteses representam o desvio padrão.

Já nas Figura 3 e 4 estão a relação entre densidade aparente e MOR e densidade aparente e MOE respectivamente.



**Figura 3:** Relação entre a densidade aparente e módulo de ruptura das chapas de gesso acartonado reforçadas com fibras de bambu.



**Figura 4:** Relação entre a densidade aparente e módulo de elasticidade das chapas de gesso acartonado reforçadas com fibras de bambu.

Devido a produção das chapas de gesso acartonado serem industrializadas a padronização da espessura bem como sua densidade são atendidas de forma mais fácil, porém, neste trabalho, apesar da sua produção ter sido feita de forma manual, conseguiu-se espessuras com médias iguais estatisticamente entre os tratamentos (12,59 mm). Este valor se encontra dentro da margem das chapas de 12,5 mm ( $\pm 0,5$  mm). Em relação a densidade aparente o tratamento T1 obteve valor médio de 760 kg/m<sup>3</sup>, o tratamento T2, 950 kg/m<sup>3</sup> e o tratamento T3, 880 kg/m<sup>3</sup>. Todos os tratamentos se encontraram na margem de densidade das chapas de 12,5 mm definida pela norma NBR 14715 [3] que varia de 640 a 960 kg/m<sup>3</sup>, sendo que o desvio padrão sofrer variação de no máximo  $\pm 40$  kg/m<sup>3</sup>.

Os valores de densidade de todos os tratamentos são significativamente diferentes, com isso pode-se observar com a inserção das fibras de *Bambusa tuldooides* um aumento da densidade em relação ao tratamento T1, até o tratamento T2 e posteriormente ocorreu diminuição do seu valor até o tratamento T3. O seu aumento se justifica pela absorção da água, destinada a hidratação do gesso, pelas fibras, ocasionando na diminuição da relação água gesso, que segundo ZHANG *et al.* [39] gera o aumento da densidade. De acordo com MELO *et al.* [40] as fibras apresentam grande quantidade de pontoações o que facilita a absorção de água pelas fibras. Já a diminuição da densidade do tratamento T2 até o tratamento T3 pode ser justificado pela maior quantidade de fibras inserida, já que estas segundo GARCÍA, VEGAS e CACHO [41] se entrelaçam formando espaços

vazios devido à dificuldade da pasta de gesso penetrar esses espaços, fazendo assim, com que a massa total do compósito diminua em um mesmo volume.

BICER e KAR [42] relatam que as propriedades mecânicas como o MOE e o MOR estão relacionados de forma direta com a densidade, o que pode ser confirmado com o resultado obtido. A norma NBR 14715 [3] estabelece para as chapas com 12,5 mm de espessura devem apresentar valor mínimo de MOR de 4,10 MPa para a flexão longitudinal, desta forma os tratamentos T1 e T2 se adequam a este requisito. Já o tratamento T3 tem MOE igual a 3,77 MPa, que é inferior ao mínimo estabelecido pela norma. O valor de MOE não é especificado pela referida norma, porém o aumento do seu valor pode ser observado com a inserção de até 15% de fibras de *Bambusa tuldoides* e de acordo com HESSEL *et al.* [43] quanto maior o valor de MOE maior capacidade de absorver cargas sem ocasionar em uma deformação permanente no material.

O ensaio de arrancamento de parafuso resultou valores estatisticamente diferentes entre os tratamentos. Como pode ser observado na Tabela 4, a resistência ao arrancamento foi crescente com a adição de fibras, onde o tratamento T3 obteve o maior valor que foi de 247,85 N. Estudo realizado por HASELEIN *et al.* [44] obteve melhora significativa da resistência ao arrancamento de parafuso em compósito de gesso reforçado com partículas de *Pinus elliottii* Engelm. Esse ganho de resistência ao incorporar material lignocelulósico pode ser justificada pelo seu emaranhamento com o aumento das porcentagens, visto que pode ocorrer o entrelaçamento do reforço no parafuso, o que dificulta o seu arrancamento.

A condutividade térmica das chapas de gesso acartonado reforçadas com *Bambusa tuldoides* podem ser observados na Tabela 5.

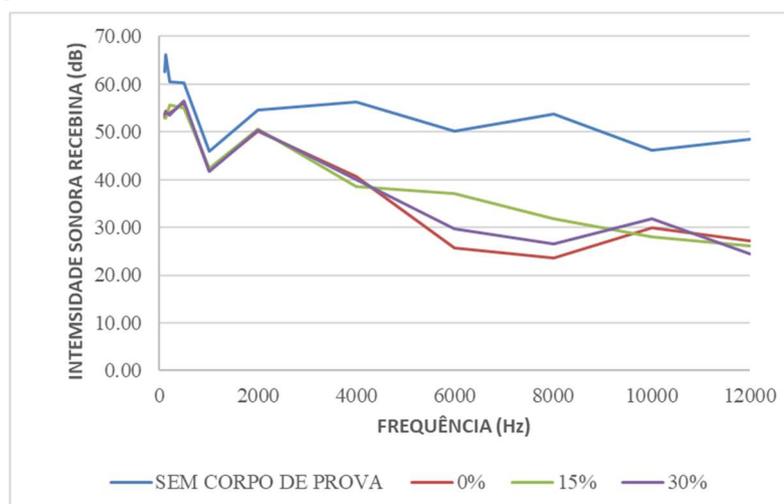
**Tabela 5:** Condutividade térmica das chapas de gesso acartonado reforçados com fibra de *Bambusa tuldoides*.

TRATAMENTO	CONDUTIVIDADE TÉRMICA (W/cm.°C)
T1	0,20 (0,01) C
T2	0,18 (0,01) B
T3	0,16 (0,01) A

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste Scott-Knott a 5% de significância. Valores entre parênteses representam o desvio padrão.

Os dados obtidos de condutividade térmica foram estatisticamente diferentes entre os tratamentos analisados. A Tabela 5 mostra uma diminuição da condutividade térmica com o aumento da quantidade de fibras vegetais inseridas, ou seja, no tratamento T3, o compósito produzido tem um maior isolamento térmico em relação aos demais tratamentos. A diminuição da condutividade térmica pode ser justificada devido à natureza porosa das fibras lignocelulósicas, sendo ocupado por ar [14]. SAIR *et al.*, [14] estudou um composto ecológico a base de gesso reforçado com fibra de cortiça como isolante térmico e obteve comportamento similar ao encontrado no presente estudo, diminuindo sua condutividade térmica com o aumento da quantidade de fibras.

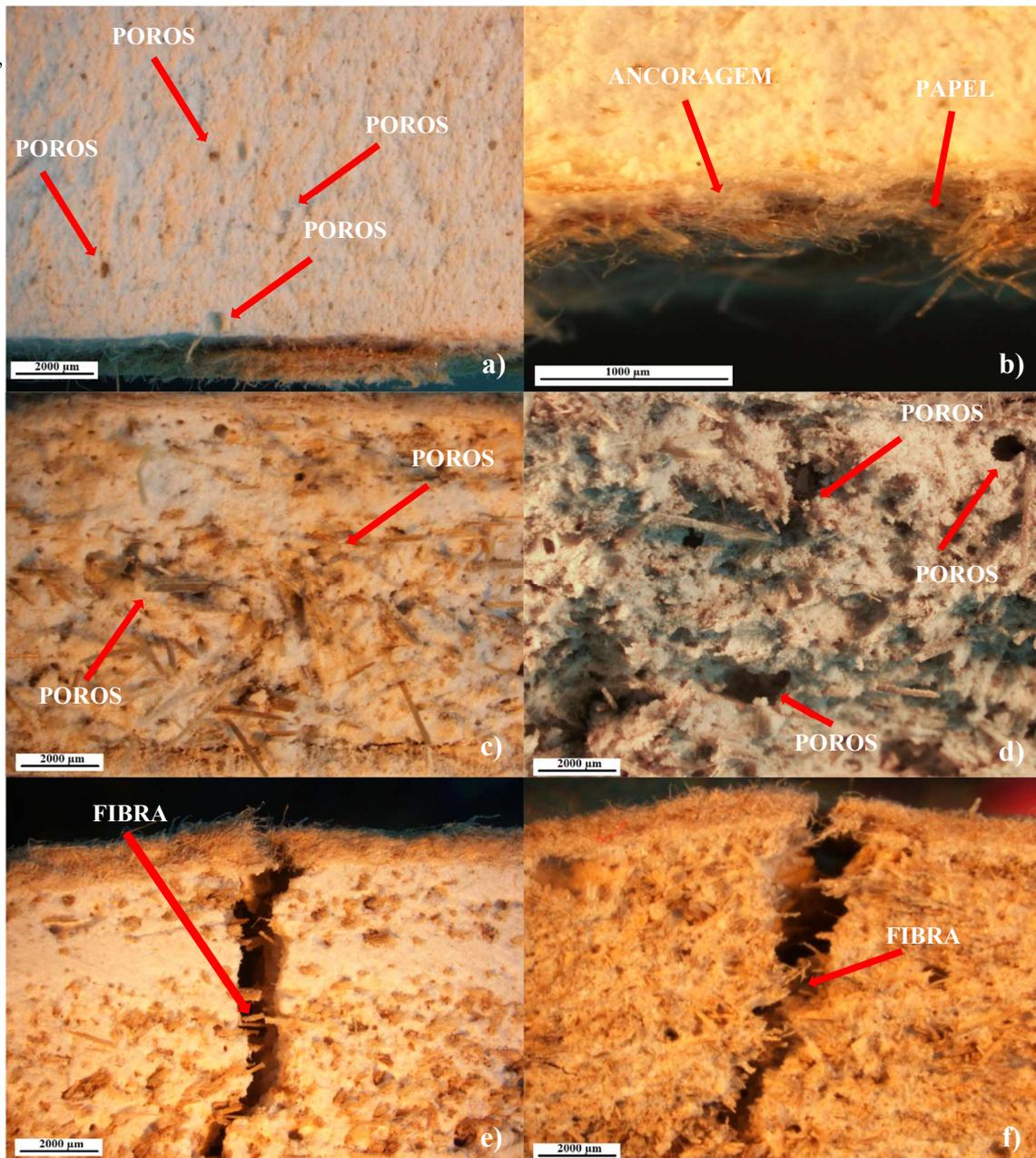
A intensidade sonora recebida (dB) de todos os tratamentos, em diferentes frequências emitidas, pode ser observada na Figura 5.



**Figura 5:** Relação entre a frequência e a intensidade sonora recebida das chapas de gesso acartonado reforçados com fibras de bambu.

Nos resultados obtidos do ensaio acústico pode-se observar a diferença entre a câmara sem divisória e com cada tratamento de gesso acartonado, onde a presença das chapas reduz a passagem de som entre as câmaras. De acordo com a norma DIN 4109 [45] o índice de redução sonora aparente para paredes divisórias entre unidades distintas e entre salas de unidades distintas deve ser inferior a 53 dB. Todos os tratamentos estudados atendem as exigências normativas a partir da frequência de 1000 Hz. Na frequência de 8000 Hz foi aonde obteve o menor valor do índice de redução sonora aparente, que foi no tratamento T1. Os tratamentos que tem adição de fibras de bambu obtiveram melhores valores nas altas frequências (maior que 1000 Hz).

Na Figura 6 estão as imagens realizadas no microscópio estereoscópio.

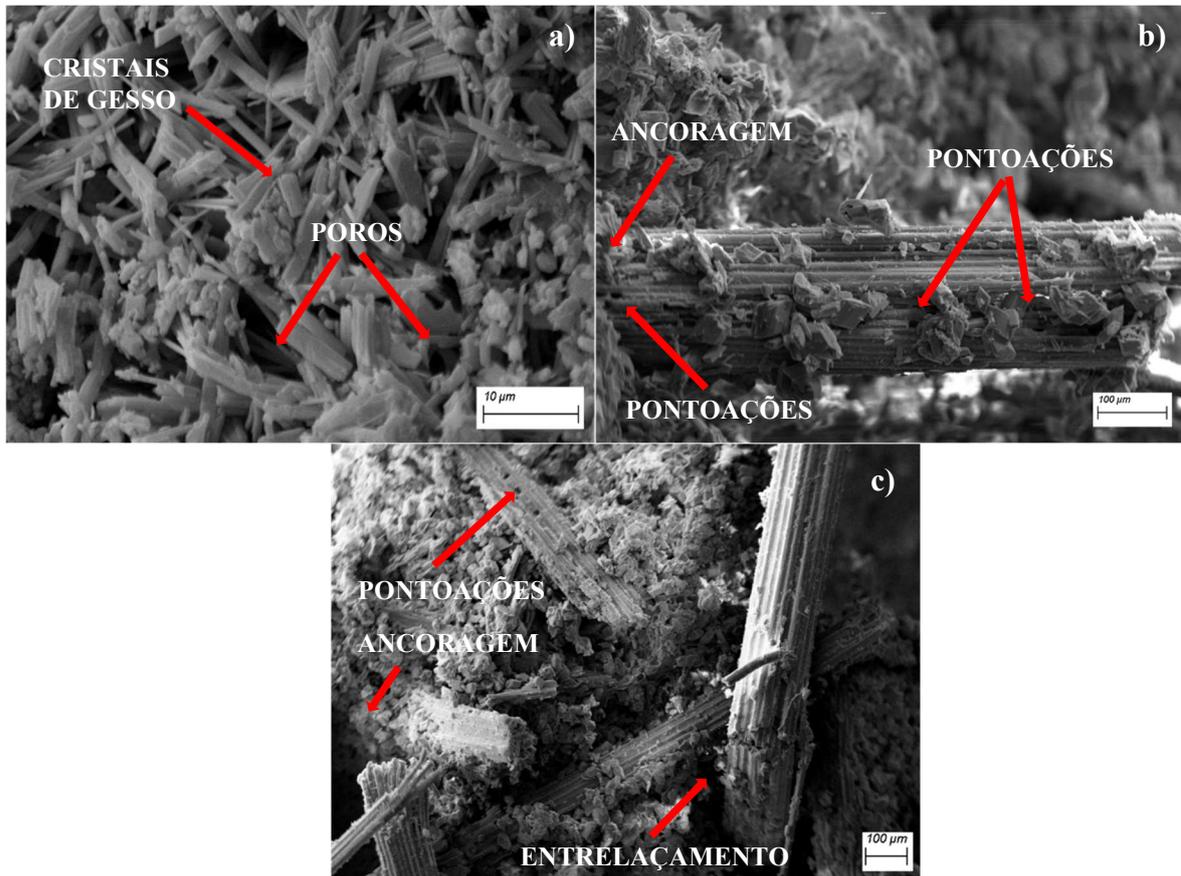


**Figura 6:** Imagens realizadas no estereoscópio nos compostos do a) tratamento T1, b) interface entre o papel e o tratamento T1, c) tratamento T2, d) tratamento T3, e) tratamento T2 rompido e f) tratamento T3 rompido.

Na Figura 6a pode-se observar a presença de poros no tratamento T1 ocasionado pela elevada relação água gesso. A Figura 6b mostra a interface entre o tratamento T1 com o papel do tipo cartão, aonde pode ser visualizado que o ancoramento entre os dois materiais foi realizado pela penetração do gesso dissolvido em água no papel, que posteriormente teve seus cristais de gesso formando a união entre os elementos. As Figuras 6c e 6d estão os tratamentos T2 e T3 respectivamente, onde pode ser verificado uma quantidade maior de poros

no tratamento T3 relacionado ao entrelaçamento das fibras que estão presentes em grandes quantidades e consequentemente gera uma diminuição da densidade, além de proporcionar um maior isolamento térmico. Já nas Figuras 6e e 6f que também são os tratamentos T2 e T3 respectivamente, pode-se observar a ruptura do corpo de prova após o ensaio de flexão estática. No tratamento T3 (Figura 6f) apresenta pouca massa gesso em relação ao tratamento T2, o que justifica a diminuição da resistência à flexão estática. Porém, apesar da menor resistência a flexão estática, o mesmo ao ser rompido permanece com suas partes unidas devido a presença das fibras, trabalhando assim como reforço.

Na Figura 7 estão as imagens realizadas no microscópio eletrônico de varredura.



**Figura 7:** Imagens realizadas no microscópio eletrônico de varredura (MEV): a) cristais de gesso, b) pontoa-ções das fibras e adesão fibra-cristais de gesso e c) pontoações das fibras e entrelaçamento de fibras.

Na Figura 7a estão os cristais de gesso formado na matriz de gesso pura (tratamento T1). Nas Figuras 7b e 7c pode-se observar as pontoações presentes na fibra de bambu, aonde gera uma maior absorção de água que seria destinada a hidratação do gesso em pó. Além disso, nas Figuras 7b e 7c, também pode ser visualizado a ancoragem das fibras na matriz de gesso e a aderência entre fibra e gesso. O emaranhamento entre as fibras está na Figura 7c, que gera um aumento na resistência ao arrancamento do parafuso, visto que as fibras entrelaçam ao redor das ranhuras do parafuso dificultando sua retirada.

#### 4. CONCLUSÕES

Podem ser apresentadas as seguintes conclusões com base com base nos resultados obtidos:

As propriedades químicas e físicas das fibras da *Bambusa tuldooides* estão conforme aos valores presentes na literatura.

As densidades dos painéis de gesso acartonado aumentaram até o tratamento T2 em relação ao tratamento T1, e posteriormente ocorreu uma diminuição até o tratamento T3. Todos os tratamentos estão em conformidade com as exigências da norma NBR 14715 [3].

O maior valor de módulo de ruptura encontrado foi no tratamento T2, e todos os tratamentos estão em conformidade com as exigências da norma NBR 14715 [3]. O módulo de elasticidade obteve comportamento semelhante ao do módulo de ruptura. A resistência ao arrancamento de parafuso aumentou com o incremento

de fibras de *Bambusa tuldoides*, sendo o maior valor o do tratamento T3 que é justificado pelo entrelaçamento das fibras.

A condutividade térmica diminuiu com a adição de fibras, mostrando que o tratamento T3 é o que tem maior isolamento térmico. Para o isolamento acústico, o índice de redução sonora aparente foi condizente com a norma DIN4109 [43] para todos os tratamentos a partir da frequência de 1000Hz.

A adição de fibras da *Bambusa tuldoides* em chapas de gesso acartonado se mostrou viável, porém mais estudos são pertinentes para uma melhor caracterização, com destaque para estudos referentes a absorção de água pela fibra.

## 5. AGRADECIMENTOS

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

## 6. BIBLIOGRAFIA

- [1] TAE, S., SHIN, S., KIM, H., *et al.*, “Life cycle environmental loads and economic efficiencies of apartment buildings built with plaster board drywall”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 15, n. 8, pp. 4145-4155, Out. 2011.
- [2] MATSUMOTO, T., UCHIDA, M., SUGAYA, H., *et al.*, “Development of multiple drywall with high sound insulation performance”, *Applied Acoustics*, v. 67, n. 6, pp. 595-608, Jun. 2006.
- [3] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14715: Chapas de gesso acartonado – Requisitos, Rio de Janeiro, 2001.
- [4] DEAR, R. J. de, AKIMOTO, T., ARENS, E. A., *et al.*, “Progress in thermal comfort research over the last twenty years”, *Indoor Air*, v. 23, n. 6, pp. 442-461, 2013.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] GRANJA, C. V. A., CAVALCANTE, E. P. CAFÉ FILHO, H. P., *et al.*, “Degradação Ambiental: Exploração de Gipsita no Polo Gessoso do Araripe”, *Multidisciplinary and Psychology Journal*, v. 11, n. 36, Jul. 2017.
- [8] 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.
- [9] KOLBASOV, A., SINHA-RAY, S., YARIN, A. L., “Theoretical and experimental study of punched laminate composites protected by outer paper layer”, *Journal of the Mechanics and Physics of Solids*, v. 128, pp. 117-136, Jul. 2019.
- [10] 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.
- [11] 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”, *Matéria*, v. 24, n. 3, Set. 2019.
- [12] RIZZO, M. V., ZENI, M., NUNES, M. F. de O., *et al.*, “Reação ao fogo, isolamento térmico e desempenho acústico de aglomerados de poliuretano rígido com adição de fibras naturais”, *Scientia cum Industria*, v. 3, n. 1, pp. 17-22, 2015.
- [13] LOUZI, V. C. de A., GUIDONI, A. P., CUSINI, J. B., *et al.*, “Caracterização física de biocompósitos poliméricos reforçados com fibra de coco”, *Enciclopédia Biosfera*, v. 6, pp. 2500-2510, Set. 2013.
- [14] SAIR, S., MANDILI, B., TAQI, M., *et al.*, “Development of a new eco-friendly composite material based on gypsum reinforced with a mixture of cork fibre and cardboard waste for building thermal insulation”, *Composites Communications*, Ago. 2019.
- [15] HIZIROGLU, S., JARUSOMBUTI, S., FUEANGVIVAT, V., *et al.*, “Properties of bamboo-rice straw-eucalyptus composite panels”, *Forest Products Journal*, v. 55, pp. 221-225, 2005.
- [16] CHAWANA, P., BARBU, M. C., “Bambu: Potential material for biocomposites”, *Lignocellulosic Fibre and Biomass-Based Composite Materials*, pp. 259-289, 2017.

- [17] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14660: Madeira – Amostragem e preparação para análise, São Paulo, 2004.
- [18] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 11941: Determinação da densidade básica em madeira, Rio de Janeiro, 2003.
- [19] 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, 2003b.
- [20] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14853: Madeira – determinação do material solúvel em etanol-tolueno e em diclorometano e em acetona, Rio de Janeiro, 2010b.
- [21] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7989: Pasta celulósica e madeira – determinação de lignina insolúvel em ácido, Rio de Janeiro, 2010a.
- [22] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15066: Madeira e pasta celulósica – Determinação das dimensões e fibras – Método de microscopia óptica, Rio de Janeiro, 2004.
- [23] 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.
- [24] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14717: Chapas de gesso acartonado – Determinação das características físicas, Rio de Janeiro, 2001.
- [25] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14810-3: Chapas de madeira aglomerada – Métodos de ensaio, Rio de Janeiro, 2006c.
- [26] TOUTONGE, J. A., “Projeto e construção de câmaras reverberantes em escala reduzida para o estudo das características de perda de transmissão de divisórias confeccionadas a partir de materiais regionais”, Tese de M. Sc., Universidade Federal do Pará, Belém, PA, 2006.
- [27] SILVA, A. da R. “Estudo térmico e de materiais na construção de casas populares com blocos confeccionados a partir de um composto a base de cimento, gesso, eps e raspa de pneu”, Tese de M. Sc., Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN, 2010.
- [28] EUGÊNIO, T. M. C., “Propriedades físicas, mecânicas e térmicas de argamassa de revestimento com adição de resíduo de pneu”, Tese de M. Sc., Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2016.
- [29] SANTOS, D. R. de S., SETTE JUNIOR, C. R., SILVA, M. F. da, *et al.*, “Potencial de espécies de Bambu como fonte energética”, *Scientia Forestalis*, v. 44, n. 111, pp. 751-758, Set. 2016.
- [30] MORAIS, W. W. C., HASELEIN, C. R., SUSIN, F., *et al.*, “Propriedades físico-mecânicas de painéis aglomerados com *Bambusa tuldoides* e *Pinus taeda*”, *Ciência Florestal*, v. 25, n. 4, pp. 1015-1026, Dez. 2015.
- [31] MOTA, I. de O. da, PEREIRA, M. de 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.
- [32] RUSCH, F. R., CEOLIN, G. B., HILLING, E., “Morphology, density and dimensions of bamboo fibers: a bibliographical compilation”, *Special Supplement: Bamboo*, v. 49, 2019
- [33] 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.
- [34] 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.
- [35] 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, 1971
- [36] MARINHO, N. P., NISGOSKI, S., MUÑIZ, G. I. B. de, “Avaliação das dimensões das fibras de colmos de bambu, *Dendrocalamos giganteus* (Wall) Munro, em diferentes idades”, *Ciência Florestal*, v. 24, n. 1, pp. 251-256, 2014.
- [37] VALE, A. T. do, MOREIRA, A. C. de O., MARTINS, I. S., “Avaliação do potencial energético de *Bambusa vulgaris* em função da idade”, *Floresta e Ambiente*, v. 24, 2017.

- [38] 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.
- [39] 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.
- [40] MELO, R. R., STANGERLIN, D. M., SOUSA, A. P. de, *et al.*, “Propriedades físico-mecânicas de painéis aglomerados de madeira-bambu”, *Ciência Rural*, v. 45, n. 1, pp. 35-42, Jan. 2015.
- [41] 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, 2014.
- [42] 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, Março 2017.
- [43] HESSEL, R., FRESCHI, A. A., ROSADO, E. C., *et al.*, “Determinação do módulo de Young em sólidos a partir da medida da velocidade do som pelo método do tempo de voo”, *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 38, n. 2, Fev. 2016.
- [44] HASELEIN, C. R., CALEGARI, L., ALBERTI, L. R., *et al.*, “Fabricação de chapas de partículas aglomeradas usando gesso como material cimentante”, *Ciência Florestal*, v. 12, n. 1, pp. 81-88, 2002.
- [45] DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG – DIN. DIN 4109: Schallschutz im Hochbau. Germany, 1989.