



DANIELLA DUTRA CARNEIRO
MIRELLY ARRUDA FERNANDES

POTENCIAL DE APLICAÇÃO DA BAINHA FIBROSA DE
***Livistona chinensis* COMO REFORÇO EM COMPÓSITOS DE**
MATRIZ DE GESSO

DANIELLA DUTRA CARNEIRO
MIRELLY ARRUDA FERNANDES

**POTENCIAL DE APLICAÇÃO DA BAINHA FIBROSA DE *Livistona chinensis* COMO
REFORÇO EM COMPÓSITOS DE MATRIZ DE GESSO**

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

Prof.: Dr. José Benedito Guimarães Júnior
Orientador

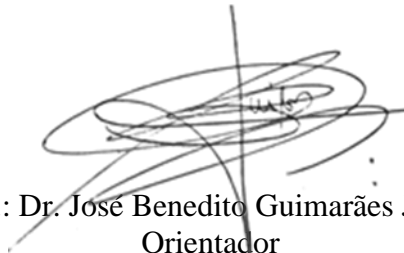
LAVRAS – MG
2022

DANIELLA DUTRA CARNEIRO
MIRELLY ARRUDA FERNANDES

**POTENCIAL DE APLICAÇÃO DA BAINHA FIBROSA DE *Livistona chinensis* COMO
REFORÇO EM COMPÓSITOS DE MATRIZ DE GESSO**

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

APROVADO em 02 de maio de 2022.
Prof.: Dr. José Benedito Guimarães Júnior, UFLA
Me. Luciana Silva Villela, UFLA
Me. Diogo Antônio Corrêa Gomes



Prof.: Dr. José Benedito Guimarães Júnior
Orientador

AGRADECIMENTOS

Agradecemos primeiramente a Deus, por estar conosco em todos os momentos, por nos dar força, sempre iluminar nossos caminhos e nos auxiliar em todas as decisões.

À Nossa Senhora Aparecida, por sempre nos acolher debaixo do seu manto sagrado de amor, intercedendo sempre ao seu Filho em todos os momentos de desespero.

Aos nossos pais, Márcia e Marco; Maria José e Lucas; Petrina e Elmo; e nossas irmãs Rafaella e Millena, por serem nossos alicerces em todos os momentos, ter-nos levantado todas as vezes que estivemos abaladas e por ter sempre confiado que somos capazes de realizar nossos sonhos.

Às nossas amigas, Nicolle e Tainara, pela amizade, companheirismo e por sempre nos ouvir e apoiar durante a graduação.

Ao professor José Benedito Guimarães Júnior, por todos os ensinamentos, conselhos, paciência e orientação em todas as etapas deste trabalho.

Ao técnico Lorrán Arantes, por todo auxílio durante o desenvolvimento dos ensaios dessa pesquisa.

À Unidade Experimental de Painéis de Madeira (UEPAM) e ao laboratório de Estruturas do DEG da UFLA, por todo desenvolvimento do trabalho.

A todos os professores do Departamento de Engenharia da UFLA que fizeram parte da nossa graduação, por todo incentivo e pela dedicação para tornar o curso de Engenharia Civil o melhor possível.

RESUMO GERAL

Desde os primórdios, para sobreviver e suprir suas necessidades, o homem vem explorando e utilizando materiais encontrados na natureza. O setor da construção civil demanda a produção de grandes quantidades de materiais que causam fortes impactos ambientais desde sua extração até a geração de resíduos em cada etapa do processo de produção. Sendo assim, é pensando nesse cenário que o uso de materiais lignocelulósicos virou alternativa para diversas aplicações e designs de produtos inovadores, com o objetivo de reduzir materiais, de fontes primárias, que não contribuem para o desenvolvimento ecologicamente correto. Dessa forma, os materiais compósitos a base de gesso são possíveis soluções para diversos setores de construção civil, fazendo substituições parciais da matriz de gesso por materiais lignocelulósicos, afim de possibilitar o uso adequado desses resíduos e contribuir para um desenvolvimento sustentável. Entre a grande biodiversidade existente de espécies vegetais no Brasil, vale destacar as palmeiras, consideradas uma das espécies de plantas mais antigas do planeta. A palmeira *Livistona chinensis*, possui uma bainha fibrosa junto à base dos pecíolos que quando envelhecida pode ser colhida. Nesse trabalho, o objetivo geral foi avaliar o potencial de utilização de fibras da bainha fibrosa da palmeira como reforço em compósitos de matriz de gesso, avaliando suas propriedades físicas e mecânicas. As proporções utilizadas para a incorporação dos reforços foram de 0%, 2,5%, 5,0%, 7,5% e 10% em substituição ao gesso. Primeiro, foi realizada análise da composição química do resíduo da bainha fibrosa da palmeira para determinação dos teores de extrativos totais, cinzas, lignina e holocelulose, e logo depois, a moldagem dos corpos de prova e avaliação das propriedades físicas e mecânicas. Concluiu-se que os diferentes reforços adicionados levaram a um aumento em umidade e absorção de água, no entanto, o ensaio de densidade aparente não apresentou diferença estatística significativa entre os tratamentos. Além disso, houve um aumento das resistências à compressão e à flexão, e ambos atenderam as normatizações referentes a cada uma dessas propriedades. Portanto, esse trabalho fomenta a ideia de que os resíduos lignocelulósicos são alternativas promissoras para a criação de materiais com melhores desempenhos na construção civil, podendo estes serem utilizados para reduzir os materiais convencionais existentes no mercado sem afetar seu desempenho ambiental, qualidade e nível de satisfação.

Palavras-chave: Bainha fibrosa da palmeira. Propriedades físicas e mecânicas. Resíduo lignocelulósico. Materiais compósitos.

ABSTRACT

Since the beginning of time, in order to survive and meet their needs, man has been exploring and using materials found in nature. The construction sector demands the production of large quantities of materials that cause strong environmental impacts from their extraction to the generation of waste at each stage of the production process. Thus, it is thinking about this scenario that the use of lignocellulosic materials has become an alternative for several applications and innovative product designs, aiming to reduce materials from primary sources that do not contribute to the environmentally friendly development. Thus, gypsum-based composite materials are possible solutions for various sectors of civil construction, making partial substitutions of the gypsum matrix by lignocellulosic materials, in order to enable the proper use of this waste and contribute to sustainable development. Among the great existing biodiversity of plant species in Brazil, it is worth highlighting the palm trees, considered one of the oldest plant species on the planet. The palm, *Livistona chinensis*, has a fibrous sheath at the base of the petioles that when aged can be harvested. In this work, the general objective was to evaluate the potential of using fibers from the palm fibrous sheath as reinforcement in gypsum matrix composites, evaluating its physical and mechanical properties. The proportions used for the incorporation of the reinforcements were 0%, 2.5%, 5.0%, 7.5% and 10% in replacement of gypsum. First, an analysis of the chemical composition of the fibrous palm sheath waste was performed to determine the contents of total extractives, ash, lignin and holocellulose, and soon after, the molding of the specimens and evaluation of physical and mechanical properties. It was concluded that the different added reinforcements led to an increase in moisture and water absorption, however, the bulk density test showed no statistically significant difference between the treatments. In addition, there was an increase in compressive and flexural strengths, and both met the standards for each of these properties. Therefore, this work promotes the idea that lignocellulosic waste is a promising alternative for the creation of materials with better performance in civil construction, which can be used to reduce the conventional materials on the market without affecting their environmental performance, quality, and level of satisfaction.

Keywords: Fibrous sheath of the palm tree. Physical and mechanical properties. Lignocellulosic residue. Composite materials.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Blocos de gesso.....	13
Figura 2: Chapa de gesso drywall.	14
Figura 3: Placas de gesso acartonados.	14
Figura 4: Representações esquemáticas das várias características geométricas e espaciais das partículas da fase dispersa que podem influenciar as propriedades dos compósitos: (a) concentração, (b) tamanho, (c) forma, (d) distribuição e (e) orientação.	18
Figura 5: Representações esquemáticas de compósitos reforçados com fibras (a) contínuas e alinhadas, (b) descontínuas e alinhadas e (c) descontínuas e orientadas aleatoriamente.	19
Figura 6: (a) Palmeira <i>Livistona chinensis</i> (b) Detalhe das folhas da palmeira <i>Livistona chinensis</i>	29
Figura 7: (a) Bainha fibrosa da palmeira <i>Livistona chinensis</i> , indicada pela seta vermelha (b) Detalhe da bainha fibrosa da palmeira <i>Livistona chinensis</i> depois de colhida.	29
Figura 8: Peneiras sobrepostas utilizadas no processo de peneiramento (40 e 60 mesh).	30
Figura 9: Resultados da densidade aparente dos compósitos.	35
Figura 10: Resultados da umidade dos compósitos, onde (*) - significativo ao nível de 5% de significância.	36
Figura 11: Resultados da absorção de água dos compósitos, onde (*) - significativo ao nível de 5% de significância.	37
Figura 12: Resultados da flexão dos compósitos, onde (*) - significativo ao nível de 5% de significância.	38
Figura 13: Resultados da compressão dos compósitos, onde (*) - significativo ao nível de 5% de significância.	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Requisitos químicos, físicos e mecânicos do gesso para construção civil.....	16
Tabela 2: Diferentes composições dos compósitos produzidos.....	31
Tabela 3: Composição química do resíduo da bainha.....	33

SUMÁRIO

PRIMEIRA PARTE INTRODUÇÃO GERAL.....	10
1 INTRODUÇÃO	10
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	11
2.1 Gesso.....	11
2.1.1 Aplicações na construção civil.....	12
2.1.2 Propriedades e benefícios do gesso para a construção civil	14
2.2 Fibras vegetais	16
2.3 Compósitos.....	17
2.3.1 Compósitos reforçados com fibras.....	19
2.3.2 Compósitos a base de gesso	20
3 CONSIDERAÇÕES FINAIS	21
REFERÊNCIAS	22
SEGUNDA PARTE.....	24
1 INTRODUÇÃO	26
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	28
2.1 Caracterização do material de reforço.....	28
2.1 Produção e avaliação das propriedades dos ensaios dos compósitos.....	30
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
3.1 Análise física e química do resíduo	32
3.2 Análise das propriedades físicas e mecânicas dos compósitos	34
4 CONCLUSÃO	39
REFERÊNCIAS	41

PRIMEIRA PARTE INTRODUÇÃO GERAL

1 INTRODUÇÃO

O crescente aumento da população mundial está inteiramente ligado pelo desenvolvimento de novos materiais. Para a produção de materiais, é necessário a extração de matérias primas, as quais, em quase toda sua totalidade, são adquiridas através de recursos naturais e artificiais. Além disso, a preocupação com os impactos ambientais tem levado à procura pela criação de produtos mais sustentáveis, baseado no desenvolvimento de modelos que enfrentam e proponham soluções aos principais problemas ambientais da sociedade e que não impliquem em rejeitos de produtos danosos para o ambiente, sem renunciar também ao desempenho e a qualidade dos produtos convencionais e já existentes no mercado (VILA-CHÃ, 2012). Os impactos ambientais são somados ao longo da cadeia produtiva da construção civil, durante o transporte, armazenamento, construção até o final de sua vida útil, provocando danos irreversíveis. Assim, é fundamental o estudo de novas fontes renováveis de materiais para a construção civil (ISAIA, 2017).

Dessa forma, os materiais compósitos a base de gesso são possíveis soluções para o setor de construção, fazendo substituições parciais da matriz de gesso por materiais lignocelulósicos, afim de possibilitar o uso adequado desses resíduos e contribuir para um desenvolvimento sustentável à indústria da construção civil. Essas partículas lignocelulósicas se destacam por apresentarem um baixo custo, uma baixa densidade, baixa abrasividade aos equipamentos de processo, além de serem renováveis, biodegradáveis e não poluentes (SOYKEABKAEW et al., 2009; VILELLA, 2017). Outra das inúmeras vantagens de se utilizar materiais lignocelulósicos é devido à grande área florestal do Brasil e a grande biodiversidade terrestre mundial entre espécies vegetais. Entre essa grande biodiversidade existente de espécies vegetais vale destacar as palmeiras, consideradas uma das plantas mais antigas do planeta, estando a maior diversidade delas concentradas na Amazônia. Sendo assim, é nesse cenário de busca por materiais naturais e renováveis que as fibras provenientes das bainhas das palmeiras tornam-se uma alternativa para a geração de novos produtos economicamente e ecologicamente mais sustentáveis. De maneira geral, as fibras vem sendo cada vez mais utilizadas, no contexto das edificações, apresentando resultados interessantes como o aumento da leveza do material e melhoria de propriedades do próprio gesso como a resistência mecânica, absorção de água, condutividade térmica e isolamento acústico (MORALES-CONDE; RODRÍGUEZ-LIÑÁN; PEDREÑO-ROJAS, 2016).

Portanto, o objetivo geral desse Trabalho de Conclusão de Curso foi avaliar o potencial de utilização de fibras da bainha fibrosa da palmeira como reforço em compósitos de matriz de gesso, ao analisar as propriedades físicas e mecânicas desses compósitos, sendo elas: umidade na base seca, densidade aparente, absorção de água, resistências em flexão e compressão.

O presente trabalho será exposto como artigo, sendo dividido em duas partes. A primeira parte, denominada de Introdução Geral, é composta por:

- i. Uma introdução que determina o assunto e os objetivos a serem estudados e descreve a organização e apresentação do trabalho.
- ii. Um Referencial Teórico com as informações teóricas necessárias para o devido entendimento do trabalho.
- iii. Considerações finais com a perspectiva das discentes em relação a contribuição do trabalho para seu conhecimento acadêmico e da análise dos resultados obtidos na pesquisa.

A segunda parte é composta por um artigo escrito de acordo com a norma de publicação periódica científica, e expõe de maneira detalhada o desenvolvimento, produção e caracterização dos compósitos de matriz de gesso com reforço de resíduos da bainha fibrosa de *Livistona chinensis*.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Gesso

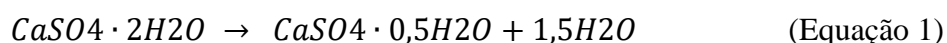
O gesso está entre os materiais de construção mais antigos que se tem conhecimento. De acordo com Pinto et al. (2016), o consumo desse material tem apresentado crescimento principalmente devido à facilidade e a rapidez de instalação das chapas, facilidade de moldagem e excelente acabamento e decoração.

Segundo Bauer (2019), trata-se de um ligante tradicional de fácil processo produtivo, que requer um moderado consumo de energia em sua produção e matéria-prima (Gipsita) encontrada em diversos países. Já para John e Cincotto (2017), o uso do gesso no Brasil não pode ser considerado uma tradição, pois é o ligante menos utilizado quando comparado com o cimento Portland e a cal, apesar de apresentar características e propriedades que favorecem seu emprego, como o rápido e progressivo enrijecimento, que permite uma confecção sem tratamentos térmicos ou aditivos para acelerar o endurecimento.

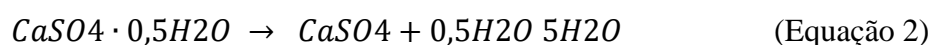
O gesso de construção é obtido pela calcinação da gipsita natural em temperatura da

ordem de 140°C, empregando-se fornos, caldeiras ou estufas. Trata-se do processo de desidratação parcial da gipsita, que perde uma e meia molécula de água, transformando-se em um hemidrato, produto conhecido como gesso e denominado bassanita quanto à classificação mineralógica. A homogeneidade na calcinação é um fator determinante na uniformidade das propriedades do gesso (BAUER, 2019).

De acordo com Bauer (2019), a reação química de formação do gesso ocorre em duas etapas e são reações de decomposição endotérmicas, ou seja, absorvem o calor. Na primeira etapa, há a formação do sulfato de cálcio hidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$), conhecido como gesso de construção ou hemidrato, ou ainda gesso rápido ou gesso Paris.



Na segunda etapa, ocorre a liberação da meia molécula de água remanescente dando origem ao sulfato de cálcio anidro (CaSO_4), também conhecida por anidrita solúvel, um produto higroscópico e que absorve fácil a umidade do ar, regenerando o hemidrato.



Existem algumas variedades de hemidrato que se diferenciam pelas condições de calcinação, natureza ou tipo de gipsita natural, sendo que, em alguns casos específicos, são empregados aditivos químicos que modificam as propriedades. O gesso beta, obtido por calcinação em via seca, é utilizado pelas indústrias da construção civil, cerâmica e de modelagem, já o gesso alfa é obtido com a calcinação por via úmida (sob elevada pressão de vapor de água) e é aplicado em bandagens de alta resistência, matriz para indústria cerâmica, de modelagem, ortopedia e odontologia, devida a sua homogeneidade e melhor desempenho mecânico e menor consistência.

2.1.1 Aplicações na construção civil

Atualmente, o uso do gesso na construção civil brasileira vem crescendo continuamente e com maior intensidade desde meados dos anos 1990, quando o sistema drywall passou a ser utilizado nas vedações internas (paredes, forros e revestimentos) de todos os tipos de edificações. A essa utilização nova somam-se os usos tradicionais do gesso como material de revestimento, aplicado diretamente em paredes e forros, e como material de fundição, em placas

de forro, sancas, molduras e outras peças de acabamento ou decoração (SILVA, 2013).

Uma das principais utilizações do gesso é na produção de placas de gesso cartonado. As placas de gesso cartonado são produzidas industrialmente e são compostas por placas de gesso à base de água e contendo aditivos, prensadas entre duas folhas de cartão. As vantagens da utilização deste material são a rapidez na preparação e instalação, acabamento final perfeito, possibilidade de execução de paredes de espessuras muito finas e reparação rápida de paredes danificadas. Como desvantagens, pode referir-se ao fato de não ser tão resistente como o tijolo tradicional, é necessário maior cuidado na fixação de objetos e também pode não apresentar um bom comportamento como isolante térmico e acústico.

Além disso, A utilização de blocos de gesso, é cada vez mais frequente, pois permite uma rápida construção das paredes divisórias permitindo uma redução dos custos, mantendo uma boa aparência visual. As vantagens da utilização destes blocos são o facto de não ser necessário secagem, proporcionando às várias especialidades a execução dos trabalhos em simultâneo (VILA-CHÃ, 2012).

Figura 1: Blocos de gesso.



Fonte: Villela (2017).

Figura 2: Chapa de gesso drywall.

Fonte: Artesana¹.

Figura 3: Placas de gesso acartonados.



Fonte: Vila-Chã (2012).

2.1.2 Propriedades e benefícios do gesso para a construção civil

O desempenho satisfatório do gesso como ligante na fabricação de pré-moldados ou aplicação como revestimento está relacionado à elevada plasticidade da pasta, pega e endurecimento rápidos, elevada finura (equivalente ao cimento), pequeno poder de retração na secagem, e estabilidade volumétrica. Além disso, a capacidade de absorver e liberar umidade ao ambiente confere aos revestimentos em gesso elevada capacidade de equilíbrio higroscópico e funcionam como inibidores iniciais de propagação de chamas, ao liberarem moléculas de água quando em contato com o fogo. Por outro lado, a solubilidade considerável dos produtos em gesso, cerca de 1,8 g/litro, favorece a redução da resistência mecânica dos revestimentos em gesso em função do grau de umidade absorvida do meio ambiente e da lixiviação dos constituintes resultante da percolação progressiva de água (BAUER, 2019).

¹ Disponível em: <<https://www.artesana.com.br/produto/chapa-de-gesso-drywall-standard-1200-x-1800-x-12-5-mm-67132>> . Acessado em: 20 set. 2020.

O gesso também apresenta ótimo isolamento acústico e térmico. Para Coutinho (2018), o gesso tem um alto índice de poros, o que faz com que a passagem do ar entre eles gere atrito e dissipe a energia do som, acarretando na melhora do isolamento acústico. Com relação ao isolamento térmico, o autor diz que é a principal característica do gesso no estado endurecido, apresentando a condutibilidade térmica muito baixa, 1/3 do valor referente ao tijolo.

De acordo com a Marioteca Sustentável (2013), o gesso possui leveza, facilidade de manuseio para execução de detalhes, rapidez de aplicação, recebe bem todos os tipos de pintura e acabamento, sua manutenção é simples, não é inflamável, é inodoro, dentre outros.

O gesso de construção civil para ser comercializado no país deve atender a alguns requisitos específicos químicos, físicos e mecânicos estabelecidos na ABNT NBR 13207, além dos métodos de ensaios para a verificação desses requisitos:

- a) NBR 12130 – Gesso para construção: determinação da água livre de cristalização e teores de óxido de cálcio e anidrido sulfúrico;
- b) NBR 12.129 – Gesso para construção: determinação das propriedades mecânicas;
- c) NBR 12.128 – Gesso para construção: determinação das propriedades físicas de pasta;
- d) NBR 12.127 – Gesso para construção: determinação das propriedades físicas do pó.

Outras normas que são menos abrangentes e mais focadas no que diz respeito à aplicação deste material na construção civil também são regidas pela NBR e abrangem aos atributos físicos das peças feitas para placas e instruções sobre a maneira de aplicabilidade, sendo elas:

- a) NBR 14.717 – Chapas de gesso acartonado: determinação das características físicas;
- b) NBR 14.716 – Chapas de gesso acartonado: verificação das características geométricas;
- c) NBR 14.715 – Chapas de gesso acartonado: requisito;
- d) NBR 13.867 – Revestimento interno de paredes e tetos com pasta de gesso, materiais, preparo, aplicação e acabamento;
- e) NBR 12.775 – Placas lisas de gesso para forros: determinação das dimensões e propriedades físicas.

Tabela 1: Requisitos químicos, físicos e mecânicos do gesso para construção civil

Requisitos	Parâmetros determinados	Limites especificados pela NBR 13207:2017		
Químicos	Água livre	Máximo 1,3%		
	Água de cristalização	4,2 a 6,2%		
	Óxido de cálcio (CaO)	Mínimo 38,0%		
	Anidrido sulfúrico (SO ₃)	Mínimo 53,0%		
Físicos e mecânicos	Massa unitária	$\geq 600,0 \text{ g/cm}^3$		
	Dureza	$\geq 20,0 \text{ N/MM}^2$		
	Aderência	$\geq 0,2 \text{ Mpa}$		
Físicos	Gesso para fundição	Tempo de pega	Início	$\leq 10 \text{ min}$
			Fim	$\geq 20 \text{ min}$
		Granulometria mínima		$\geq 90\%$ passante (peneira aberta 0,29 mm)
	Gesso para revestimento (sem aditivo)	Tempo de pega	Início	$\geq 10 \text{ min}$
			Fim	≥ 35
		Granulometria mínima		$\geq 90\%$ passante (peneira aberta 0,21 mm)
	Gesso para revestimento (com aditivo)	Tempo de pega	Início	$\geq 4 \text{ min}$
			Fim	≥ 50
		Granulometria mínima		$\geq 90\%$ passante (peneira aberta 0,2 mm)

Fonte: Bauer (2019).

2.2 Fibras vegetais

Muito bem arquitetada e em perfeita harmonia com todos os seus constituintes, a fibra é um somatório de estruturas bem específicas que possuem elevada resistência à tração, ótima interação entre os constituintes, proteção contra ataques externos além de geometrias específicas que maximizam as propriedades do vegetal. Esse somatório arquitetônico possui como função básica conferir ao vegetal, sobretudo, proteção física e química, além de permitir o crescimento e desenvolvimento da planta (FORNARI JUNIOR, 2017).

Ainda conforme Fornari Junior (2017), para atender simultaneamente tração, flexão e alongamento, a fibra vegetal, na sua essência, apresenta três microestruturas peculiares. Uma composição principal, rígida e linear, um anexo secundário, semirrígido e interligante e uma substância fixa e moldável. As cadeias de maior peso molecular denominadas de celulose irão participar da parte física mais rígida, o grupo de polímeros de peso molecular intermediário,

isto é, inferior à da celulose, é denominado de hemicelulose, que servirão estrategicamente para manter conectadas as cadeias celulósicas, formando prolongamentos laterais da celulose, constituindo uma ponte e um único conjunto arquitetônico, e, por fim, o terceiro elemento do sistema é também uma cadeia polimérica. Apesar de possuir o menor peso molecular dos três principais elementos, a lignina possui uma estrutura interligada entre si, unindo-se mutuamente, formando uma grande rede molecular. Isso permite que os espaços vazios deixados pela celulose e hemicelulose sejam preenchidos, selando assim toda a formação estrutural, soldando e empacotando um único conjunto fibroso.

As fibras e/ou as partículas vegetais são materiais sustentáveis que, quando adicionadas em componentes construtivos, favorecem a leveza do material, permitem baixo custo de produção, além de poderem melhorar as propriedades térmicas, acústicas e mecânicas destes componentes (MAGALHÃES, 2009 apud VILLELA, 2017).

A viabilidade da produção de compósitos com fibras e/ou partículas naturais vem sendo pesquisada há décadas, com longa história de aceitação e aplicação na construção civil (LIMA; IWAKIRI, 2011). Sua utilização como reforço tem sido impulsionada tanto pelas suas vantagens, como pela necessidade de usar matérias-primas de fontes renováveis.

A maior vantagem da utilização das fibras de reforço em matrizes frágeis, como pasta de gesso, cimento, argamassas e concretos, é o comportamento do compósito depois da fratura ter sido iniciada. A ductilidade pós-fratura que as fibras conferem ao material é o fator que destaca o comportamento deste material compósito em relação aos outros (AGOPYAN, 1989 apud VILLELA, 2017). No entanto, suas principais limitações citadas são alta absorção de umidade (redução de propriedades mecânicas), interação insatisfatória com resinas de caráter hidrofóbico, sazonalidade, temperatura de degradação inferior à temperatura de processamento do compósito, e a tendência a formar aglomerados na alimentação do processamento (FAHIM; ELHAGG, 2012; SANADI, 2004 apud VILLELA, 2017).

2.3 Compósitos

Segundo Callister Jr e Rethwisch (2012), as combinações e as faixas das propriedades dos materiais foram, e ainda estão sendo, ampliadas pelo desenvolvimento de materiais compósitos. De maneira geral, um compósito pode ser considerado como qualquer material multifásico que exhibe uma proporção significativa das propriedades de ambas as fases constituintes, tal que é obtida melhor combinação de propriedades. De acordo com esse princípio de ação combinada, melhores combinações de propriedades são criadas por uma

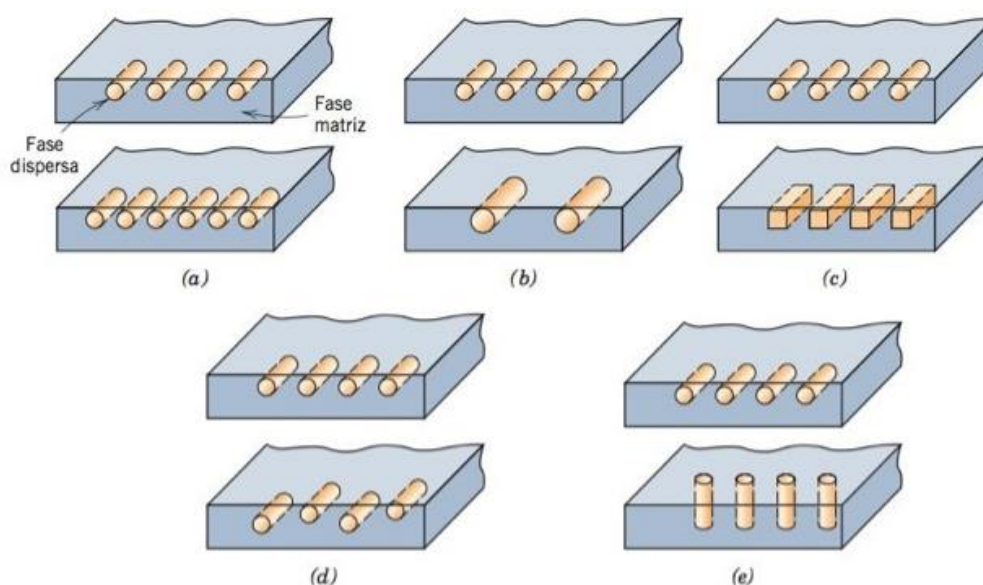
combinação judiciosa de dois ou mais materiais distintos. Um equilíbrio entre propriedades também é feito para muitos materiais compósitos.

Inúmeros compósitos também ocorrem na natureza. Por exemplo, a madeira consiste em fibras de celulose resistentes e flexíveis, que estão envolvidas e são mantidas unidas por um material mais rígido, chamado lignina. Assim, um compósito, no presente contexto, é um material multifásico feito artificialmente, em contraste com um material que ocorre ou que se forma naturalmente. Além disso, as fases constituintes devem ser quimicamente diferentes e estar separadas por uma interface distinta (CALLISTER JR; RETHWISCH, 2012).

No projeto de materiais compósitos, os cientistas e engenheiros combinam de modo engenhoso vários metais, cerâmicas e polímeros para produzir uma nova geração de materiais extraordinários. A maioria dos compósitos foi criada para melhorar combinações de características mecânicas, tais como rigidez, tenacidade e resistências às condições do ambiente e de temperaturas elevadas (CALLISTER JR; RETHWISCH, 2012).

Os autores citados acima compreendem que muitos materiais compósitos são constituídos por apenas duas fases; uma é denominada matriz, a qual é contínua e envolve a outra fase, chamada com frequência de fase dispersa. As propriedades dos compósitos são função das propriedades das fases constituintes, das suas quantidades relativas e da geometria da fase dispersa. Nesse contexto, subentende-se por geometria da fase dispersa a forma, o tamanho, a distribuição e a orientação das partículas.

Figura 4: Representações esquemáticas das várias características geométricas e espaciais das partículas da fase dispersa que podem influenciar as propriedades dos compósitos: (a) concentração, (b) tamanho, (c) forma, (d) distribuição e (e) orientação.



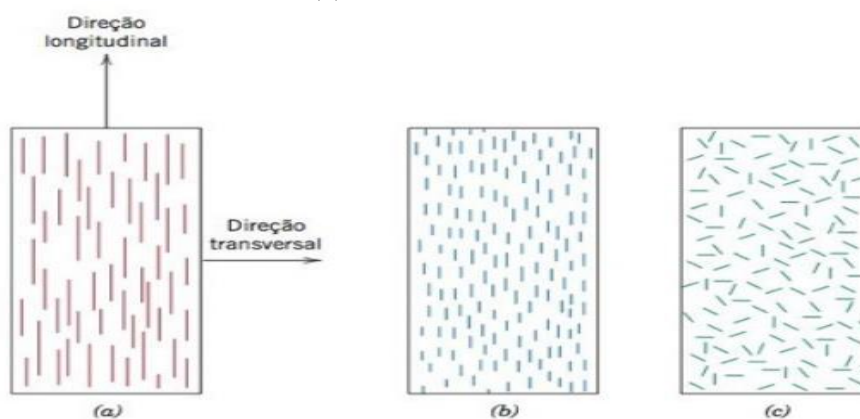
Fonte: Callister Jr; Rethwisch (2012).

2.3.1 Compósitos reforçados com fibras

Tecnologicamente, os compósitos mais importantes são aqueles em que a fase dispersa está na forma de uma fibra. Os objetivos de projeto dos compósitos reforçados com fibras incluem, com frequência, alta resistência e/ou rigidez em relação ao peso. Essas características são expressas em termos dos parâmetros resistência específica e módulo específico, que correspondem, respectivamente, às razões entre o limite de resistência à tração e o peso específico e entre o módulo de elasticidade e o peso específico. Compósitos reforçados com fibras com resistências e módulos específicos excepcionalmente elevados têm sido produzidos empregando materiais de baixo peso específico tanto para a fibra quanto para a matriz (CALLISTER JR; RETHWISCH, 2012).

Conforme os autores citados acima, os compósitos reforçados com fibras são subclassificados de acordo com o comprimento das fibras. Além disso, o comportamento desses compósitos também é influenciado pela orientação e pela concentração das fibras. Em relação a orientação, as fibras podem ser contínuas e alinhadas, descontínuas e alinhadas, e descontínuas e orientadas aleatoriamente ou parcialmente orientadas. As melhores propriedades gerais dos compósitos são obtidas quando a distribuição das fibras é uniforme.

Figura 5: Representações esquemáticas de compósitos reforçados com fibras (a) contínuas e alinhadas, (b) descontínuas e alinhadas e (c) descontínuas e orientadas aleatoriamente.



Fonte: Callister Jr; Rethwisch (2012).

Ademais, a adesão fibra/matriz é uma das mais importantes ocorrências nos compósitos, pois age diretamente sobre as propriedades mecânicas e químicas do novo material. Neste caso, a alta resistência à tração que as fibras apresentam pode ser também transmitida à matriz, uma vez que se alcance uma boa interação entre os dois materiais constituintes (FORNARI JUNIOR, 2017).

2.3.2 Compósitos a base de gesso

O gesso é um dos materiais mais aplicados na construção, sendo cada vez mais alvo de estudo e investigação, no entanto, o seu conhecimento técnico é relativamente reduzido. As propriedades térmicas e acústicas, bem como a sua resistência ao fogo são as suas principais características, embora apresente deficiências a nível das resistências mecânicas. Os principais objetivos dos estudos do gesso são minimizar as suas deficiências através da incorporação de outros materiais, tornando-o um material de excelência (VILA-CHÃ, 2012).

Compósitos a base de gesso com resíduos de madeira de demolição foram estudados por Morales-Conde, Rodríguez-Liñán e Pedreño-Rojas (2016). Nesse trabalho os resultados mostraram que o aumento da quantidade de resíduos de madeira diminuiu a densidade, conferindo leveza ao material, diminuiu a condutividade térmica, reduziu a dureza shore e, apesar de reduzir as propriedades mecânicas, elas atenderam à norma EN 13279-1.

Em seu estudo, Villela et al. (2020) desenvolveram compósitos à base de gesso reforçados com embalagens multicamadas trituradas com o objetivo de produzir novos materiais com melhores propriedades. Esses materiais se mostraram uma alternativa viável para a reutilização desses resíduos, visto que os reforços adicionados levaram a um decréscimo na massa específica aparente, na condutividade térmica, nas resistências à flexão e à compressão, e rigidez na compressão, resultando em um material final mais leve e de melhor comportamento térmico. Entretanto, houve um aumento na absorção de água e umidade.

Vasconcelos et al. (2013) ao combinarem cortiça, fibras têxteis, provenientes da reciclagem de pneus, e gesso FGD (dessulfurização de gases de combustão), mostraram a viabilidade da obtenção de um bom material compósito para utilizações no âmbito da indústria da construção, desde que seja como material constituinte de um produto com funções não estruturais. Araújo, Oliveira, Silva, Barbosa e Gava (2016) descobriram que, ao incorporar fibras de celulose em painéis de gesso, o desempenho acústico dos painéis aumenta e o compósito apresenta grande potencial de uso na construção civil.

Silva et al. (2014) estudaram a incorporação de fibras têxteis, acrílicas, de vidro, de basalto, de banana e de sisal em composições diferentes à base de gesso, concluindo que a introdução dos diferentes tipos de fibras revelou ser mais vantajosa, comparativamente a um compósito padrão, sem incorporação de fibras.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente pesquisa corrobora que a utilização da bainha fibrosa da palmeira *Livistona chinensis* apresenta características satisfatórias para aplicação em novos produtos para indústria da construção civil, uma vez que essa bainha mostrou possuir baixa densidade, conferindo ao produto final leveza, diminuindo os esforços nas vigas, pilares e fundações, alto teor de lignina, responsável pela rigidez e maior resistência à compressão, e baixo teor de holocelulose, que pode ter atribuído ao compósito uma absorção de água menor comparada às encontradas na literatura. Sobre o compósito, suas propriedades se mostraram dentro das normas, e exequível na utilização desse material como revestimento, painéis acartonados, placas de forro, blocos de gesso, entre outros, devido ao aumento das propriedades mecânicas que tornam o material mais dúctil, ou seja, o material não vai se romper facilmente, e mais elástico, podendo suportar forças aplicadas a ele superiores ao normal. Além disso, também é um material de fácil obtenção no Brasil e com baixo valor agregado por se tratar de um resíduo lignocelulósico e de uma matéria prima renovável.

Este trabalho possibilitou o desenvolvimento pleno das discentes em sua formação acadêmica, tornando possível a aplicação e entendimento de conteúdos estudados em disciplinas cursadas, além de fornecer contato com experiências práticas e conceitos que não foram vistos na graduação.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, S. K. de C. et al. Desempenho acústico de painéis de gesso incorporados com fibras de celulose. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, Santa Maria, v. 20, n. 1, p. 450-455, jan. 2016.

BAUER, L. A. F. **Materiais de Construção**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2019. 1 v.

CALLISTER JR, W. D.; RETHWISCH, D. G. **Ciência e engenharia de materiais uma introdução**. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

COUTINHO, L. F. A utilização do gesso na construção civil: vantagens e desvantagens do revestimento de argamassa de gesso comparado a argamassa cimentícia convencional. **Revista Científica Semana Acadêmica**, Fortaleza, ano MMXVIII, Nº. 000138, nov. 2018.

FORNARI JUNIOR, C. C. M. **Fibras vegetais para compósitos poliméricos**. Ilhéus: Editus - Editora da Uesc, 2017.

ISAIA, G. C. Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais. In: JOHN, V.M. **Materiais de Construção e o Meio Ambiente**. 3. ed. São Paulo, IBRACON, p. 114-154, 2017. Disponível em: <<http://ppgec.poli.usp.br/wpcontent/uploads/sites/277/2017/05/VMJOHN-Materiais-e-o-meio-ambiente-2017-09-30-1.pdf>>. Acesso em: 28 out. 2021.

JOHN, V. M.; CINCOTTO, M. A. Gesso de Construção Civil. In: ISAIA, G. C. (Ed.). **Materiais de Construção Civil e princípios de ciência e engenharia de materiais**. 3. ed. São Paulo: IBRACON, v. 1, cap. 23, p. 728-760, 2017.

LIMA, A. J. M.; IWAKIRI, S. Produtos alternativos na produção de blocos para alvenaria estrutural. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 18, n. 3, p. 310-323, 2011.

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**, Guildford, v. 114, p. 6-14, 2016.

PINTO, N.A. et al. Avaliação de matriz de gesso com incorporação de borracha de pneus para utilização na construção civil, **Revista Tecnológica**, v. 25, n. 1, p. 103-117, 2016.

SILVA, L. M. C. C.; CAMÕES, A.; VASCONCELOS, G. **Material compósito à base de gesso reforçado com fibras**: caracterização mecânica, Universidade do Minho, Portugal, n. 49, p. 5-14, mai. 2014.

SILVA, Z. **Geoprocessamento e análise ambiental**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2013.

SOYKEABKAEW, N. et al. All-cellulose nanocomposites by surface selective dissolution of bacterial cellulose. **Cellulose**, Bucharest, v. 16, n. 3, p. 435-444, 2009.

SUSTENTÁVEL, Marioteca. **Avaliação do Ciclo de Vida Gesso**, Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2013. Disponível em: <<https://materioteca.paginas.ufsc.br/gesso/>>. Acesso em: 14 fev. 2022.

VASCONCELOS, G. et al. Mechanical behavior of gypsum and cork based composite material. **Materials Science Forum**, Zurich, v. 730/732, p. 361-366, nov. 2013.

VILA-CHÃ, Nuno Miguel Boaventura. **Estudo de um Material Compósito à Base de Gesso e Cortiça**. 2012. 73 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade do Minho, Braga, 2012.

VILLELA, L.S. et al. Desempenho físico-mecânico de compósitos à base de gesso reforçados com embalagens multicamadas trituradas. **Revista Matéria**, Rio de Janeiro, v. 25, n. 3, jan. 2020.

VILLELA, L. S. **Compósitos à base de gesso reforçado com partículas de resíduos lignocelulósicos e embalagens cartonadas**. 2017. 88 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia de Biomateriais, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2017.

SEGUNDA PARTE**POTENCIAL DE APLICAÇÃO DA BAINHA FIBROSA DE *Livistona chinensis*
COMO REFORÇO EM COMPÓSITOS DE MATRIZ DE GESSO**

Daniella Dutra Carneiro; Mirelly Arruda Fernandes; José Benedito Guimarães Júnior; Luciana Silva Villela; Diogo Antônio Corrêa Gomes

RESUMO

Este trabalho foi realizado com o objetivo de desenvolver e caracterizar compósitos à base de gesso fino para fundição reforçado com partículas da bainha fibrosa da palmeira *Livistona chinensis*, como forma de agregar valor a esse resíduo lignocelulósico e criar um material inovador. As proporções utilizadas para a incorporação dos reforços foram de 0%, 2,5%, 5,0%, 7,5% e 10% em substituição ao gesso. Para os ensaios realizados foram confeccionados seis corpos de prova para cada tipo de tratamento, tendo as amostras moldadas em fôrmas de MDF, com dimensões de 40 x 40 x 160 mm para os ensaios de flexão e 40×40×40 mm para os ensaios físicos e de compressão. Foi realizada análise da composição química do resíduo da bainha fibrosa da palmeira para determinação dos teores de extrativos totais, cinzas, lignina e holocelulose. Os compósitos foram avaliados nos ensaios físicos e mecânicos. Os resultados dos ensaios físicos concluíram que os diferentes reforços adicionados levaram a um aumento em umidade e absorção de água, no entanto o ensaio de densidade aparente não apresentou diferença estatística significativa entre os tratamentos. No que se refere às propriedades mecânicas, os reforços levaram ao aumento das resistências à compressão e à flexão, ambos atendendo as normatizações referentes a cada uma dessas propriedades. O compósito que apresentou melhor desempenho mecânico foi o que levou a incorporação de 7,5 % de aglomerados de fibras. Portanto, esse trabalho fomenta a ideia de que os resíduos lignocelulósicos são alternativas promissoras para a criação de materiais de alto valor agregado, pois o compósito apresentou viabilidade na construção civil, podendo ser utilizado em revestimento, painéis acartonados, placas de forro, blocos de gesso, entre outros.

Palavras-chave: Bainha fibrosa da palmeira. Propriedades físicas e mecânicas. Resíduo lignocelulósico. Materiais compósitos.

POTENTIAL FOR APPLICATION OF THE FIBROUS SHEATH OF *Livistona chinensis* AS REINFORCEMENT IN PLASTER MATRIX COMPOSITES

Daniella Dutra Carneiro; Mirelly Arruda Fernandes; José Benedito Guimarães Júnior; Luciana Silva Villela; Diogo Antônio Corrêa Gomes

ABSTRACT

This work was carried out with the objective of developing and characterizing composites based on fine gypsum for casting reinforced with particles of the fibrous sheath of the *Livistona chinensis* palm, as a way to add value to this lignocellulosic waste and create an innovative material. The proportions used for the incorporation of the reinforcements were 0%, 2.5%, 5.0%, 7.5% and 10% in replacement of gypsum. For the tests performed, six specimens were made for each type of treatment, with the samples molded in MDF molds, with dimensions of 40 x 40 x 160 mm for the bending tests and 40×40×40 mm for the physical and compression tests. The chemical composition of the fibrous palm sheath waste was analyzed to determine the contents of total extractives, ash, lignin and holocellulose. The composites were evaluated in physical and mechanical tests. The results of the physical tests concluded that the different reinforcements added led to an increase in moisture and water absorption, however the bulk density test showed no statistically significant difference between the treatments. Regarding the mechanical properties, the reinforcements led to increased compressive and flexural strengths, both meeting the standards for each of these properties. The composite that presented the best mechanical performance was the one that had the incorporation of 7.5% of fiber agglomerates. Therefore, this work promotes the idea that lignocellulosic wastes are promising alternatives for the creation of high value-added materials, because the composite showed feasibility in civil construction, and can be used in lining, panels, lining boards, plaster blocks, among others.

Keywords: Fibrous sheath of the palm tree. Physical and mechanical properties. Lignocellulosic residue. Composite materials.

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento da humanidade sempre foi acompanhado pelo desenvolvimento de novos materiais. Desde os primórdios, para sobreviver e suprir suas necessidades, o homem vem explorando e utilizando materiais encontrados na natureza. Essa procura e o desenvolvimento de novos produtos são responsáveis por ditar os rumos da evolução da humanidade (JORNADA, J. A. H, 2021). Atualmente, existem inúmeras possibilidades e combinações para a obtenção de diferentes propriedades e desempenhos na criação desses novos materiais. Além disso, a preocupação com os impactos ambientais tem levado à procura pela criação de produtos mais funcionais, baseado no desenvolvimento de modelos que enfrentam e proponham soluções aos principais problemas ambientais da sociedade e que não impliquem em rejeitos de produtos danosos para o ambiente, sem renunciar também ao desempenho e a qualidade dos produtos convencionais e já existentes no mercado (VILA-CHÃ, 2012).

Por consequência das pressões da sociedade para um uso mais racional dos recursos naturais, a indústria da construção civil, bem como demais setores da economia se esforça para intensificar o uso de materiais lignocelulósicos como alternativa para diversas aplicações e designs de produtos inovadores, com o objetivo de substituir materiais que não contribuem para o desenvolvimento sustentável. Essas partículas lignocelulósicas se destacam por apresentarem um baixo custo, uma baixa densidade, baixa abrasividade aos equipamentos de processo, além de serem renováveis, biodegradáveis e não poluentes (SOYKEABKAEW et al., 2009; VILELLA, 2017). Nesse contexto, destacam-se os materiais compósitos produzidos com fibras vegetais, pois, além de proporcionarem melhoria das propriedades do produto final, proporcionam menos impactos ambientais e contribuem para a preservação do meio ambiente (MARINHO et al., 2013). Nessa temática, o compósito é uma alternativa tanto para criação de novos materiais quanto para o aproveitamento de resíduos já que se trata da mistura de dois ou mais constituintes para produção de um único produto. (CALLISTER JR; RETHWISCH, 2016). Nos últimos anos, muitas cidades são vistas como símbolo de crise ambiental, isso vem repercutindo como um ponto negativo no conforto e comodidade para o meio urbano. Soluções que levam em consideração a preocupação pelas gerações futuras e a manutenção/melhoria da salubridade e a integridade do meio ambiente em longo prazo é um tema que merece destaque e abordagem para novas pesquisas.

Outra das inúmeras vantagens de se utilizar materiais lignocelulósicos é devido a grande área florestal do Brasil e a grande biodiversidade terrestre mundial entre espécies vegetais. O

território brasileiro possui a segunda maior área de florestas do mundo. De acordo com dados obtidos pelo Serviço Florestal Brasileiro com base em pesquisas do IBGE em 2018, 97% dessa área é composta por florestas naturais. Entre essa grande biodiversidade existente de espécies vegetais, vale destacar as palmeiras, consideradas uma das plantas mais antigas do planeta, estando a maior diversidade delas concentradas na Amazônia. Grande parte dessas palmeiras possuem algum tipo de uso para os residentes da região, contudo nem todas são economicamente importantes para serem empregadas e utilizadas no mercado atual. (JOBIM, S. J. M., 2018). Sendo assim, é nesse cenário de busca por materiais naturais e renováveis para a confecção de novos produtos, além de apresentar um ótimo desempenho ambiental apresentam função, qualidade e nível de satisfação igual ou superior ao produto padrão, que as fibras provenientes das bainhas das palmeiras tornam-se uma alternativa de aplicação para a geração de novos produtos economicamente e ecologicamente mais sustentáveis, pois elas atendem as necessidades ambientais, principalmente pela sua capacidade de renovação, facilidade de obtenção e baixa densidade. Fibras vem sendo cada vez mais utilizadas, por apresentar aumento da leveza do material e melhoria de propriedades do próprio gesso como a resistência mecânica, absorção de água, condutividade térmica e isolamento acústico (MORALES-CONDE; RODRÍGUEZ-LIÑÁN; PEDREÑO-ROJAS, 2016).

Em relação a fisiologia da palmeira *livistona chinensis*, ela possui uma bainha fibrosa junto à base dos pecíolos que quando envelhecida pode ser colhida (JOBIM, S. J. M., 2018). Portanto, é necessária sua caracterização por meio de análises químicas, térmicas e físicas, com o objetivo de conhecer e analisar suas propriedades para verificar a possibilidade de seu uso como novo material em aplicações na construção civil em substituição dos materiais convencionais, como gesso, argamassa, cimento, concreto, massa corrida, etc.

Dentre os materiais convencionais utilizados na construção civil, o gesso é muito empregado em função do seu baixo custo e de algumas vantagens quanto as suas propriedades em comparação com outros materiais ligantes, como ausência de retração por secagem, ótimas propriedades térmicas e acústicas, resistência ao fogo, endurecimento rápido e excelente acabamento superficial. Além disso, o processo de fabricação do gesso exige um consumo de energia menor do que o comparado ao cimento Portland, constituindo nesse aspecto um ligante menos agressivo ao meio ambiente (CUNHA, 2012). No entanto, este material ainda apresenta uma série de limitações, como alta permeabilidade à água, natureza porosa, baixa resistência à compressão, baixa resistência à flexão e tração, sendo utilizado somente para ambientes internos (OLIVEIRA et al., 2020; SOPHIA et al., 2016). A pasta de gesso, por apresentar um pH neutro, permite que ele seja reforçado com fibras como as vegetais. Esse reforço por sua

vez melhora as propriedades mecânicas do gesso que é um material frágil e atua, portanto, no comportamento fibrogesso após o início da fratura. A ductilidade pós-fratura que as fibras conferem ao material é o fator que destaca o composto em relação ao material sem fibras (CUNHA, 2012; OLIVEIRA, 2009; VILLELA, 2017).

Alguns trabalhos desenvolvidos com matriz de gesso com reforço lignocelulósico já foram realizados com destaque para Morales-Conde, Rodríguez-Liñán e Pedreño-Rojas (2016) trabalhando com reforço de madeira de demolição como reforço em matriz de gesso; Araújo et al. (2016) usando fibras lignocelulósicas como reforço; Silva et al. (2014) estudando fibras têxteis, acrílica, de vidro, basalto, de banana e sisal; Villela (2017), trabalhando com partículas de resíduos lignocelulósicos e embalagens cartonadas; e Veloso et al. (2021) estudando partículas de resíduo da agroindústria do cacau.

Portanto, o objetivo geral desse trabalho foi avaliar o potencial de utilização de fibras da bainha fibrosa da palmeira como reforço em compósitos de matriz de gesso, fazendo uma análise através das propriedades físicas e mecânicas desses compósitos, sendo elas: umidade na base seca, densidade aparente, absorção de água, resistências em flexão e compressão.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Caracterização do material de reforço

O material de reforço utilizado foi a fibra da bainha fibrosa da Palmeira *Livistona chinensis* (FIGURA 6 e 7), coletadas no canteiro central da Universidade Federal de Lavras, no município de Lavras - MG, localizada à 21°13'51" de latitude sul e 44°59'41" de longitude oeste, situando-se a uma altitude média de 900 m.

Figura 6: (a) Palmeira *Livistona chinensis* (b) Detalhe das folhas da palmeira *Livistona chinensis*.



Fonte: Dos autores (2022).

Figura 7: (a) Bainha fibrosa da palmeira *Livistona chinensis*, indicada pela seta vermelha (b) Detalhe da bainha fibrosa da palmeira *Livistona chinensis* depois de colhida.



Fonte: Dos autores (2022).

Os aglomerados de fibras foram obtidos pelo processo de moagem no moinho de facas tipo Willey. Em seguida, foi feito o peneiramento pra promover a separação do material

granular não coeso em três frações de tamanhos distintos, através das peneiras sobrepostas da ASTM de 40 mesh (0,42 mm) e 60 mesh (0,25 mm) (FIFURA 8), tendo sido utilizadas somente as partículas que ficaram retidas na peneira de 60 mesh.

Figura 8: Peneiras sobrepostas utilizadas no processo de peneiramento (40 e 60 mesh).



Fonte: Dos autores (2022).

Considerando dimensões geométricas definidas, a densidade aparente foi determinada conforme a NBR 45 - Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2006.

Para análise química do material de reforço, as amostras foram armazenadas em frascos e levadas à sala de climatização até apresentarem massa constante, em condições de temperatura de 20 ± 2 °C e umidade relativa de $65 \pm 3\%$. A análise química realizada seguiu conforme as metodologias e as normas: Cinzas (NBR 13999 - Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2003b); Extrativos totais (NBR 14853 - Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2010b); Lignina insolúvel (NBR 7989 - Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2010a); Holocelulose (determinação por diferença).

2.1 Produção e avaliação das propriedades dos ensaios dos compósitos

Na produção dos compósitos foi utilizado gesso fino para fundição proveniente do Polo Gesseiro do Araripe, no estado de Pernambuco, obtido através de comércio local de Lavras-

MG, sem realização de pré-tratamento. Esse material segue a NBR 13207 e apresenta como características as informações adquiridas do fabricante: massa específica aparente de 781 kg/m³, tempo de início e fim de pega de 9 e 22 minutos, respectivamente e módulo de finura de 0,85. Foi utilizada uma relação água/gesso de 0,6; de acordo com a norma EN 13279-2 (2004), uma vez que mesmo com o acréscimo dos aglomerados de fibras é uma relação que apresenta boa trabalhabilidade, deixando a mistura homogênea. De maneira mais específica, a mistura não escorre nos moldes e não apresenta secagem rápida. O cálculo da densidade aparente do gesso seguiu conforme a NBR 12127 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1991) e NBR 13207 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1994).

Foram produzidos compósitos com variação da porcentagem de aglomerados de fibras totalizando cinco diferentes composições (TABELA 2).

Tabela 2: Diferentes composições dos compósitos produzidos.

Tratamento	Gesso (%)	Aglomerados de Fibras (%)
1	100,0	0,0
2	97,5	2,5
3	95,0	5,0
4	92,5	7,5
5	90,0	10,0

Fonte: Dos autores (2022).

Para os ensaios realizados foram confeccionados seis corpos de prova para cada tipo de tratamento, com o objetivo de se obter melhor precisão na amostragem. Essas amostras foram moldadas com dimensões de 40 x 40 x 160 mm, utilizando fôrmas de MDF, fabricada, de forma a garantir tais dimensões, conforme especificações da EN 13279-2 (European Standards, 2006). De forma específica, para os ensaios mecânicos de flexão foram utilizados os seis corpos de prova fabricados inicialmente. Com o ensaio de flexão, os corpos de prova foram rompidos ao meio e cada um deles foi cortado e moldado para que obtivesse duas amostras intactas de dimensões 40×40×40 mm, totalizando 12 amostras, que foram separadas e utilizadas seis para o ensaio de compressão e seis para os ensaios físicos.

Após a confecção dos corpos de prova, eles ficaram armazenados por um período de 24 horas, para a secagem total e solidificação do material, e, em seguida, foram retirados dos moldes e armazenados em um local ventilado e livre da ação de intempéries. Foram realizados os ensaios físicos e mecânicos conforme as metodologias e as normas: Umidade na base seca (NBR 7190 - Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1997); Densidade aparente (NBR 45

- Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2006); Ensaio de absorção de água (NBR 14715-2 - Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2016); Resistência em flexão (EN 13279-2 - European Standards, 2006); Resistência em compressão (EN 13279-2 - European Standards, 2006).

O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado (DIC), sendo realizadas três repetições (amostras) para a umidade na base seca, três para a densidade aparente, três para o ensaio de absorção de água, seis para o ensaio de flexão e seis para o de compressão. Para avaliar as variações dos resultados das propriedades físicas e mecânicas dos compósitos, estes foram submetidos à análise de variância e regressão, a 5% de significância.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Análise física e química do resíduo

A média dos valores encontrados da massa unitária do gesso foi de 1584,88 kg/m³, portanto, essa média atende as especificações da norma NBR 13207 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1994) que exige massa unitária acima de 700 Kg/m³.

A densidade aparente média, com seu respectivo desvio padrão, dos aglomerados de fibras da bainha foi de 0,069±0,003 g/cm³. Este valor é considerado baixo e é característico em resíduos lignocelulósicos, assim como as densidades do bagaço de cana de açúcar (0,104 g/cm³) encontrada por Protásio et al. (2013), da vagem de soja (0,203 g/cm³) estudada por Lisboa et al. (2018), do resíduo de cacau (0,215 g/cm³) encontrados por Veloso et al. (2021), e das fibras de madeira de eucalipto (0,226 g/cm³) estudadas por Oliveira et al. (2020). As partículas lignocelulósicas, quando agregadas nos compósitos, são responsáveis por conferir leveza ao material (MAGALHÃES; ALMEIDA, 2010; VILLELA, 2017) e isto na maioria das vezes acontece devido ao fato de apresentarem valores de densidade básica menores do que a matriz, como apresentadas nesse estudo, pois a densidade básica média dos aglomerados das fibras da bainha foi de 0,0686 g/cm³ e o gesso, segundo a NBR 13207 (ABNT, 1994), apresenta densidade básica igual a 0,8 g/cm³. Com relação ao volume, quanto menor a densidade, maior será o volume de partículas dentro do compósito para a mesma massa, o que pode interferir na sua qualidade físico-mecânica (IWAKIRI, 2005; VILLELA, 2017).

Os resultados das análises químicas das fibras da bainha fibrosa da palmeira estão apresentados abaixo (TABELA 3).

Tabela 3: Composição química do resíduo da bainha.

Componentes	Teores (%)
Extrativos totais	5,27 ± 0,31
Lignina	52,93 ± 4,64
Umidade	7,02 ± 0,21
Cinzas	2,42 ± 0,19
Holocelulose	38,96 ± 6,37

Fonte: Dos autores (2022).

Em relação às propriedades químicas do resíduo apresentados na tabela 3, foi analisado que o teor de extrativos totais foi inferior quando em comparação com outros resíduos lignocelulósicos como: resíduo da colheita do milho (17,50%) e do processamento de café (8,60%) estudados por Protásio et al. (2012), resíduo de cacau (34,82%) estudado por Veloso et al. (2021), eucalipto (6,67%) estudado por Oliveira et al. (2020), e bagaço de cana de açúcar (17%) analisado por Protásio et al. (2013). Segundo Oliveira et al. (2020), um alto teor de extrativos nos materiais lignocelulósicos pode gerar dificuldades de ligação da matriz com o reforço, pois esses compostos químicos atuam bloqueando os espaços vazios do material lignocelulósico que impede o contato entre os dois. Não é esperado que isso ocorra na aplicação da bainha fibrosa da palmeira na matriz de gesso, visto que o teor de extrativos nesse material lignocelulósico é baixo.

O teor de lignina foi superior a outros resíduos como casca de arroz (20,15%) e tronco de palma (19,15%) estudados por Selamat et al. (2019), das partículas de madeira de *Eucalyptus grandis* (28,02%), estudadas por Mesquita Júnior et al. (2018), resíduo de cacau (35,15%) estudado por Veloso et al. (2021), e fibras da madeira de eucalipto (20,52%) por Oliveira et al. (2020). De acordo com Shiroma et al. (2016) e Weber et al. (2017), os altos conteúdos desses constituintes nos compósitos podem retardar o seu endurecimento devido ao abrandamento da cinética de hidratação do gesso e gerar uma incompatibilidade entre matriz e reforço, influenciando as propriedades mecânicas. No entanto, segundo Bhatia et al. (2012), a lignina confere impermeabilidade, rigidez e resistência a ataques microbiológicos e mecânicos aos tecidos vegetais, portanto, espera-se que os materiais com alto teor de lignina apresentem maior rigidez, maior resistência à compressão e menor absorção de água.

O teor de cinzas da bainha fibrosa da palmeira foi maior quando comparado ao teor de cinzas do bagaço de cana de açúcar (1,0%) estudado por Protásio et al. (2013) e das partículas de madeira de *Eucalyptus grandis* (0,18%) analisadas por Mesquita Júnior et al. (2018), mas menor quando se comparado ao resíduo de cacau (3,70%) estudado por Veloso et al. (2021), e aos resíduos de café (4,92%), colheita de milho (6,83%) e casca de arroz (16,78%), analisados

por Protásio et al. (2012). Segundo Vilella (2017) elevados teores de cinzas podem ser prejudiciais uma vez que podem acabar promovendo um desgaste nos equipamentos cortantes, sendo esse um fator limitante para o uso de materiais lignocelulósicos como matérias-primas. Além disso, um alto teor de cinzas nos compósitos pode retardar o endurecimento desses materiais devido ao abrandamento da cinética de hidratação do gesso, o que acaba por gerar uma incompatibilidade entre a matriz e o reforço, diminuindo as resistências mecânicas (SHIROMA et al., 2016; WEBER et al., 2017). Segundo Selamat et al. (2019), as cinzas também auxiliam no retardamento da chama em compósitos de gesso, sendo inerte às outras propriedades.

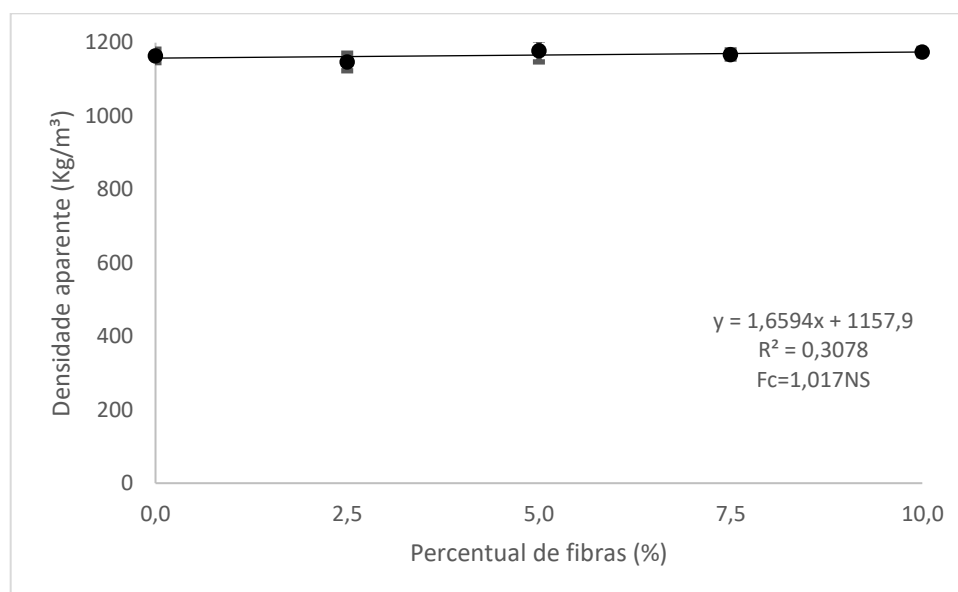
O teor de holocelulose da bainha fibrosa da palmeira foi muito menor quando se comparado aos teores de holocelulose das fibras de eucalipto (69,59%), estudadas por Oliveira et al. (2020) e das partículas de madeira de *Eucalyptus grandis* (65,68%) estudadas por Mesquita Júnior et al. (2018), e maior quando se comparado ao resíduo de cacau (28,33%) estudado por Veloso et al. (2021). A holocelulose é um constituinte higroscópico, portanto, baixos teores é interessante para evitar uma alta absorção de umidade nos compósitos (GUIMARÃES JÚNIOR et al., 2017).

Há uma correlação inversa entre a lignina, a holocelulose e a densidade, pois quanto maior o teor de lignina, menor é o teor de holocelulose e, conseqüentemente, menor será a densidade do material (VELOSO et al., 2021). Essa relação foi claramente verificada neste estudo, pelo baixo teor de holocelulose e densidade encontrados na bainha fibrosa da palmeira.

3.2 Análise das propriedades físicas e mecânicas dos compósitos

Na figura 9, apresentada abaixo, observa-se a relação entre os tratamentos estudados e a densidade aparente dos compósitos. Nota-se que o ajuste de regressão não foi significativo ($F_c=1,017$), sendo a densidade aparente média para todos os compósitos de 1166kg/m^3 . Este valor está próximo aos observados por Mesquita Junior et al. (2018), ao estudar compósitos de gesso reforçados com madeira de eucalipto, observando valor médio de 1110kg/m^3 ; e por Gomes, Miranda e Marcelino (2020), ao avaliarem um compósito de matriz de gesso reforçado com capim, obtendo um valor médio de 1250kg/m^3 .

Figura 9: Resultados da densidade aparente dos compósitos.

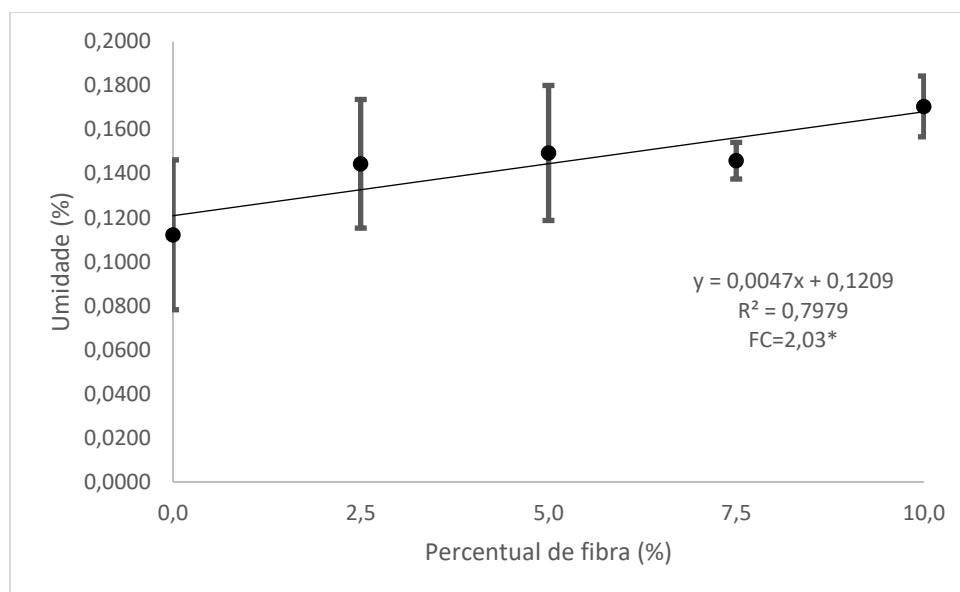


Fonte: Dos autores (2022).

Para a umidade na base seca (FIGURA 10), os resultados desse estudo mostraram que o aumento da porcentagem de reforços ocasionou um aumento na umidade do compósito. O acréscimo de 1% de aglomerados de fibras de palmeira no compósito eleva a umidade na base na ordem de 0,0047%. Esse fenômeno pode ser explicado de acordo com Guimarães Junior et al. (2013) e Veloso et al. (2021), pois os materiais lignocelulósicos apresentam grupos hidroxílicos livres, principalmente na região amorfa do conjunto holocelulósico, deixando essas regiões altamente propensas a adsorverem moléculas de água em sua estrutura.

Esse mesmo comportamento foi observado por Villela et al. (2020), sobre compósitos de gesso reforçados com embalagens multicamadas trituradas. À medida que a porcentagem de reforços aumentava, a umidade aumentava, variando de 0,34 a 0,86%. Assim como o estudo de Oliveira et al. (2020) mostrou que o aumento das fibras de madeira de eucalipto na matriz de gesso fez a umidade variar de 0,23 a 1,06%; e o de Chinta et al. (2013) apresentou um aumento gradativo da umidade à medida que aumentava a porcentagem das fibras vegetais de coco, juta, lã, algodão e banana. Os autores encontraram valores de umidade entre 0,48% a 1,46%. Esses valores foram maiores que as umidades identificadas nos compósitos de gesso com os aglomerados de fibras da bainha da palmeira.

Figura 10: Resultados da umidade dos compósitos, onde (*) - significativo ao nível de 5% de significância.



Fonte: Dos autores (2022).

Em relação a absorção de água (FIGURA 11), os resultados desse estudo mostraram que o aumento da porcentagem de reforços ocasionou um aumento da absorção de água nos compósitos, variando de 26,43% a 32,12%. O acréscimo de 1% de aglomerados de fibras de palmeira no compósito eleva a absorção de água na ordem de 0,6532%. De acordo com os resultados encontrados na literatura, como nos estudos de Ribeiro et al. (2014) e Chinta et al. (2013), assim como para a umidade, observa-se uma tendência do aumento da absorção de água nos compósitos quando se aumenta a porcentagem dos materiais lignocelulósicos, isso é explicado devido suas características hidrofílicas.

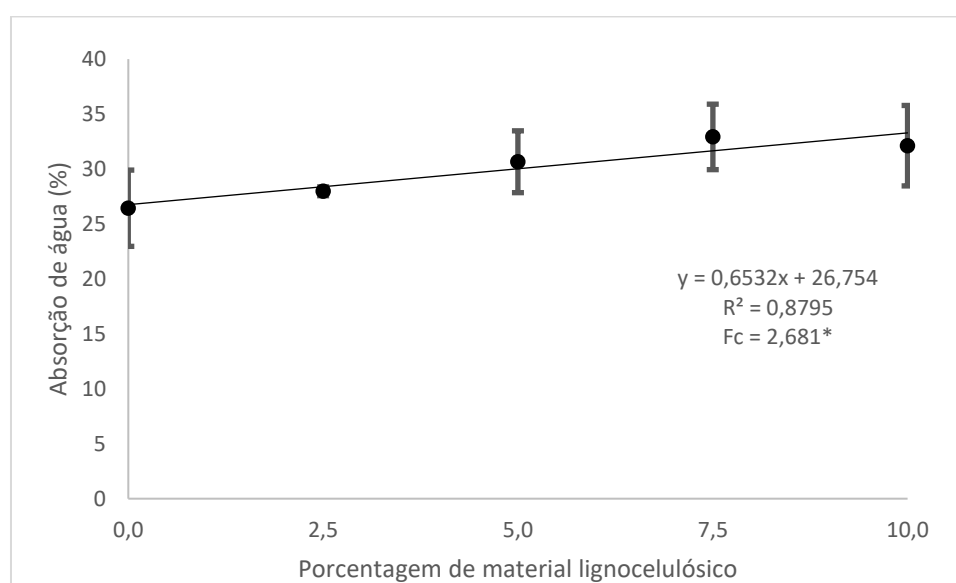
Outro fator a se observar é que, em comparação com outros estudos, como por exemplo o trabalho de Oliveira et al. (2020), sobre compósitos com matriz de gesso reforçada com fibras de madeira de eucalipto, a absorção de água encontrada para os compósitos com incorporações de reforços foi 26,14%, sendo este valor próximo do encontrado neste estudo para os compósitos sem incorporações de reforços (26,43%).

Com relação ao trabalho com chapas aglomeradas de Haselein et al. (2002), utilizando gesso como material cimentante, papel reciclável dissociado (jornal e offset) e partículas de madeira de pinus como reforços, ao avaliarem a absorção de água, encontraram um valor médio de 28,73%, próximo ao encontrado neste estudo para os compósitos com incorporação de reforços com 2,5% de aglomerado de fibras (27,97%).

Já em comparação ao estudo de Gomes, Miranda e Marcelino (2020), a absorção de água encontrada neste estudo é menor ao valor de 36% encontrado no compósito de gesso reforçado

com capim, estudado pelos autores acima. Assim como é menor em relação à absorção encontrada por Gencel et al. (2016) em seu projeto de caracterização de um compósito com matriz de gesso, diatomita e polipropileno, no qual o menor valor encontrado para essa propriedade foi de 39,2% para um corpo de prova composto por 100% de gesso. De acordo com Gomes, Miranda e Marcelino (2020), isso indica que os compósitos mensurados nesta pesquisa, em comparação aos estudos dos compósitos de gesso com capim e dos compósitos a base de gesso com diatomita e polipropileno, diminuíram a higroscopia, ou a capacidade de absorver água do gesso, característica que é desejada.

Figura 11: Resultados da absorção de água dos compósitos, onde (*) - significativo ao nível de 5% de significância.



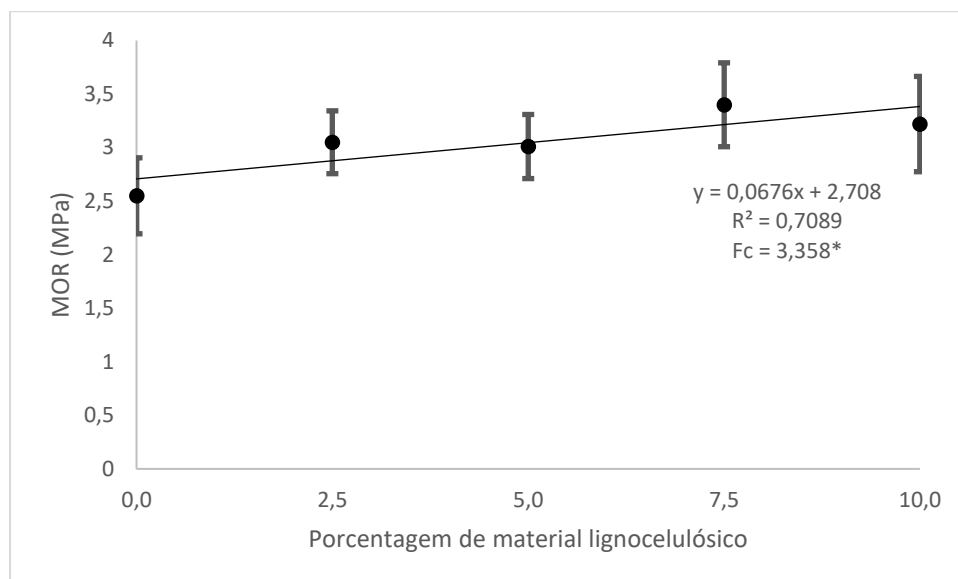
Fonte: Dos autores (2022).

No ensaio de resistência à flexão (FIGURA 12), observou-se que a adição do resíduo à matriz de gesso ocasionou em uma variação significativa do módulo de ruptura, de 2,55 a 3,22 MPa, sendo que a inserção de 7,5% de fibra ocasionou um aumento de 33,33% na resistência, comparado ao corpo de prova feito de 100% de gesso. Silva et al. (2014) acrescentaram à matriz de gesso 1% de fibras naturais (banana, basalto e sisa) e fibras sintéticas (têxtil, acrílica e de vidro), obtendo valores entre 2,4 a 5,1 MPa para resistência à flexão média, semelhantes ao encontrados nesse estudo. Os autores concluíram que as misturas com fibras de vidro (5,1 MPa) e com fibras de basalto (4,2 MPa) apresentaram os melhores resultados de resistência à flexão, e mesmo as fibras dotadas de características mecânicas inferiores conferiram ao compósito um comportamento mais dúctil quando comparados com a mistura sem fibras. Ao observar a média dos valores dos compósitos de referência (sem adição de reforços), foi analisado que o resultado

encontrado por Silva et al. (2014) (3,1 MPa) também foi parecido para essa condição.

Todas as porcentagens de incorporação de aglomerados de fibras da bainha da palmeira *Livistona chinensis*, produziram compósitos que cumpriram a norma EN 13279-2 (European Standards, 2006), que define 1,0 MPa como o requisito mínimo para resistência à flexão.

Figura 12: Resultados da flexão dos compósitos, onde (*) - significativo ao nível de 5% de significância.



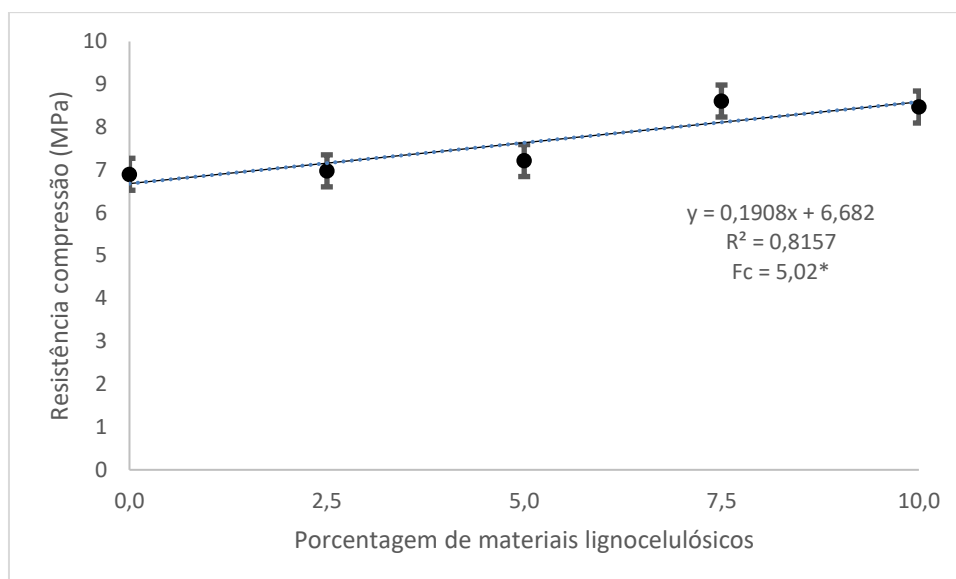
Fonte: Dos autores (2022).

Com relação à resistência mecânica à compressão (FIGURA 13), constatou-se que à medida que os aglomerados de fibras foram incorporados, a resistência aumentava, apresentando valores que variam de 6,9 a 8,47 MPa, sendo que a inserção de 7,5% de fibra ocasionou um aumento de 24,78% na resistência à compressão comparado ao corpo de prova feito de 100% de gesso.

Analisando os dados atingidos pelos compósitos de partículas de madeira *Eucalyptus grandis* estudados de Mesquita Júnior et al. (2018), à resistência à compressão apresentou um valor médio de 5,44 MPa, enquanto a resistência dos compósitos com os aglomerados de fibras da bainha apresentou um valor médio de 7,64 MPa. Já o estudo das fibras da madeira de eucalipto de Oliveira et al. (2020), à medida que a quantidade de fibras foi aumentando, à resistência à compressão também foi aumentando, variando de 7,83 a 10,36 MPa, valores esses próximos aos encontrados nesse trabalho.

Além disso, todos os tratamentos com a incorporação dos aglomerados das fibras da bainha cumpriram com a norma EN 13279-1 (EN, 2006a), que define 2,0 MPa como requisito mínimo para a resistência à compressão.

Figura 13: Resultados da compressão dos compósitos, onde (*) - significativo ao nível de 5% de significância.



Fonte: Dos autores (2022).

4 CONCLUSÃO

A adição dos aglomerados de fibras da bainha fibrosa da palmeira ao compósito não apresentou diferença estatística significativa entre os tratamentos para o ensaio da densidade aparente, o que torna o material interessante à aplicação na construção civil já que resulta em um material leve pois poderá possibilitar a diminuição dos esforços nas vigas, pilares e fundações. Com relação à umidade e a absorção de água, as porcentagens aumentaram à medida que foram feitas as incorporações do reforço, entretanto os valores encontrados para essas propriedades foram menores aos encontrados em algumas literaturas. Isso pode ter ocorrido devido ao alto teor de lignina nas fibras, que tornam o material mais hidrofóbico, ou seja, não vão absorver nem reter muita água, e conferem mais impermeabilidade a ele, podendo ampliar a utilização do gesso como compósito, visto que o gesso puro possui um caráter hidrofílico e seu uso é restrito a ambientes secos.

No que se refere às propriedades mecânicas, os reforços levaram ao aumento das resistências à compressão e à flexão, mostrando-se adequadas e atendendo as normatizações referentes a cada uma dessas propriedades. O compósito que apresentou melhor desempenho mecânico foi o que levou a incorporação de 7,5 % de aglomerados de fibras.

Conclui-se, portanto, que a utilização da bainha fibrosa da palmeira como reforço em compósitos de matriz de gesso é viável na construção civil, uma vez que essa bainha mostrou possuir baixa densidade, conferindo ao produto final leveza, alto teor de lignina, responsável

pela rigidez e maior resistência à compressão, e baixo teor de holocelulose, que pode ter atribuído ao compósito uma absorção de água menor comparada às encontradas na literatura. Sobre o compósito, suas propriedades se mostraram dentro das normas, e exequível na utilização desse material como revestimento, painéis acartonados, placas de forro, blocos de gesso, entre outros, devido ao aumento das propriedades mecânicas que tornam o material mais dúctil, ou seja, o material não vai se romper facilmente, e mais elástico, podendo suportar forças aplicadas a ele superiores ao normal.

As fibras da bainha da palmeira apresentaram potencialidades na produção do compósito à base de gesso, no entanto, podem ser melhor ajustados os parâmetros da produção do compósito, viabilizando utilizar uma maior porcentagem do resíduo sem causar prejuízos nas propriedades do compósito. Portanto, como sugestão para novas pesquisas e estudos, os parâmetros da produção do compósito devem ser ajustados, afim de melhor explorar alguns elementos do processo. Além disso, outras análises de propriedades físicas, químicas e elementares do resíduo e do compósito são necessárias para melhor avaliarmos as potencialidades da interação da bainha fibrosa da palmeira com a matriz de gesso e assim garantir também a viabilização da utilização desse resíduo em novos trabalhos e/ou produção de outros materiais inovadores.

REFERÊNCIAS

- WEBER, A.M.; CECHIN, L.; TOKARSKI, R.B. Análise da influência do traço nas propriedades do compósito cimento-madeira. **Revista Principia**, v. 1, n. 36, pp. 50-59, 2017.
- ARAUJO, S. K. de C. et al. Desempenho acústico de painéis de gesso incorporados com fibras de celulose. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, Santa Maria, v. 20, n. 1, p. 450-455, jan. 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. (2016). Dossiê Técnico Drywall – Chapas de Gesso, Convênio Sebrae ABNT. **NBR 14715-2**: 2010: chapas de gesso para drywall: parte 2: métodos de ensaio. São Paulo.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 45**: Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12127**: gesso para construção: determinação das propriedades físicas do pó: método de ensaio. Rio de Janeiro, 1991.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13207**: gesso para construção civil: especificações. Rio de Janeiro, 1994.
- 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. 3 p.
- 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. 4 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7989**: pasta celulósica e madeira: determinação de lignina insolúvel em ácido. Rio de Janeiro, 2010a. 6 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190**: Projetos de estruturas de madeira. Rio de Janeiro, 1997.
- BAUER, L. A. F. **Materiais de Construção**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2019. 1 v.
- BHATIA, L.; JOHRI, S.; AHMAD, R. An economic and ecological perspective of ethanol production from renewable agro waste: a review. **AMB Express**, v. 2, n. 1, p. 65, 2012.
- BRAIEK, A. et al. Estimation of the thermophysical properties of date palm fibers/gypsum composite for use as insulating materials in building. **Energy and Buildings**, v. 140, pp. 268-279, 2017.
- BRASILEIRO-SFB, SERVIÇO FLORESTAL. Florestas do Brasil em resumo: dados de 2007

a 2012. Brasília: SFB, 2013.

CALLISTER JUNIOR, W. D.; RETHWISCH, D. G. **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução**. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

CALLISTER JUNIOR, W. D.; RETHWISCH, D. G. **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução**. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

CAPOBIANCO, J. P. R. **Biodiversidade na Amazônia brasileira: avaliação e ações prioritárias para a conservação, uso sustentável e repartição de benefícios**. Instituto Socioambiental, 2001.

CHINTA, S.K.; KATKAR, P.M.; JAFER, M.M. Natural fibres reinforced gypsum composites. **International Journal of Management Science and Engineering**, v. 4, n. 3, p. 318-325, 2013.

COUTINHO, L. F. A utilização do gesso na construção civil: vantagens e desvantagens do revestimento de argamassa de gesso comparado a argamassa cimentícia convencional, **Revista Científica Semana Acadêmica**, Fortaleza, ano MMXVIII, n. 000138, nov. 2018.

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. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) - Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2012. Disponível em: https://repositorio.ufrn.br/jspui/bitstream/123456789/12847/1/EstudoPotencialidadesComp%C3%B3sitos_Cunha_2012.pdf. Acesso em: 16 fev. 2022.

ES-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, n. 2016, pp. 6–14, 2016.

EUROPEAN STANDARDS.**EN 13279-1**: gypsum binders and gypsum plasters, part 1: definitions and requirements. Pilsen, 2006a.

EUROPEAN STANDARDS.**EN 13279-2**: gypsum binders and gypsum plasters, part 2: test methods. Pilsen, 2006b.

FERNANDES, J. C.; BELTRAME, L. F. **Revestimento de argamassa convencional e de gesso reciclado projetado: um estudo comparativo**. 2017. 75 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade do Sul de Santa Catarina, Santa Catarina, 2017.

FERREIRA, F. C. **Estudo de caracterização do gesso para revestimento produzido no polo gesseiro do Araripe**. 2017. 199 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2017.

FORNARI JUNIOR, C. C. M. **Fibras vegetais para compósitos poliméricos**. Ilhéus: Editus - Editora da Uesc, Santa Catarina, 2017.

GENCEL, O. et al. A novel lightweight gypsum composite with diatomite and polypropylene fibers. **Construction and Building Materials**, v. 113, p. 732-740, 2016.

GOMES, D. A. C., MIRANDA, E. H. N., MARCELINO, T. O. **Avaliação das propriedades físicas e mecânicas de compósito de matriz de gesso reforçado com capim**. I SEMINÁRIO ONLINE: TECNOLOGIA E INOVAÇÃO DE PRODUTOS FLORESTAIS, ed. 1, p. 1-5, Rio Branco, out. 2020. Disponível em: <https://doity.com.br/anais/i-seminario-online-tecnologias-e-inovaes-de-produtos-florestais/trabalho/161679>. Acesso em: 14 mar. 2022.

GUIMARÃES JUNIOR, J. B. et al. Efeito do teor de parafina nas propriedades físico-mecânicas de painéis aglomerados de Pinus oocarpa. **Ciência da Madeira**, 4(1), p. 72-82, 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.12953/2177-6830.v04n01a06>. Acesso em: 14 mar. 2022.

GUIMARÃES JÚNIOR, J.B. et al. Addition of sorghum culture waste in eucalyptus particleboards, **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 36, n. 88, p. 435, jan. 2017.

HASELEIN, C. R. et al. Fabricação de chapas de partículas aglomeradas usando gesso como material cimentante. **Ciência Florestal**, 12(1), p. 81-88, 2002. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/cienciaflorestal/article/view/1703>. Acesso em: 17 jan. 2022.

IWAKIRI, S. **Painéis de madeira reconstituída**. Curitiba: FUPEF, 247 p, 2005.

JOBIM, S. J. M. **Caracterização da bainha fibrosa da palmeira Livistona chinensis para aplicação no design de produto**. Dissertação de mestrado (Grau de Mestre em Design.) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018.

JOHN, V. M.; CINCOTTO, M. A. Gesso de Construção Civil. In: ISAIA, G. C. (Ed.). **Materiais de Construção Civil e princípios de ciência e engenharia de materiais**. 3. ed. São Paulo: IBRACON, v. 1, cap. 23, p. 728-760, 2017.

JORNADA, J. A. H. A importância dos novos materiais no desenvolvimento industrial, **Indicadores Econômicos FEE**. Disponível em: <https://revistas.planejamento.rs.gov.br/index.php/indicadores/article/view/405>. Acesso em: 17 ago. 2021.

KOBORI, N. et al. Efeito da temperatura e do regime de luz na germinação de sementes de Palmeira-leque-da-China (*Livistona chinensis* (Jack.) R. Br. ex. Mart.). **Ornamental Horticulture**, p. 29-36. v. 15, n. 1, 2009.

LIMA, A. J. M.; IWAKIRI, S. Produtos alternativos na produção de blocos para alvenaria estrutural. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 18, n. 3, p. 310-323, 2011.

LISBOA, F.J.N. et al. Lignocellulosic Materials for Production of Cement Composites: Valorization of the Alkali Treated Soybean Pod and Eucalyptus Wood Particles to Obtain Higher Value-Added Products. **Waste and Biomass Valorization**, v. 11, n. 5, p. 2235-2245, 2018.

LORENZI, H. et al. **Palmeiras no Brasil: nativas e exóticas**. São Paulo, BR: Edit. Plantarum, p. 303: il. 1996.

MAGALHÃES, A. C. T. V.; ALMEIDA, J. G. O uso da mucilagem de cacto em pastas de gesso: efeitos na absorção de água e na resistência à flexão estática. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 10, n. 1, p. 139-151, jan./mar. 2010.

MAGALHÃES, A. C. T. V. **Estudo de fibras vegetais, mucilagem de cacto e gesso em componentes construtivos**. 2009. 123 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade de Brasília, Brasília, 2009.

MARINHO, N. P. et al. **Caracterização física e térmica de compósito de poliuretano derivado de óleo de mamona associado com partículas de bambu**. *Polímeros*, 23(2), p. 201-205, 2013.

MESQUITA JÚNIOR, L. et al. Compósitos à base de cimento e gesso reforçados com partículas de madeira de *Eucalyptus grandis*. **Revista da Ciência da Madeira** (Brazilian Journal of Wood Science), Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2018, v. 9, n. 3, p. 191-198, out. 2018. Disponível em: <<https://periodicos.ufpel.edu.br/ojs2/index.php/cienciadamadeira/article/view/12185>>. Acesso em: 21 mar. 2022.

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**, Guildford, v. 114, p. 6-14, 2016.

OLIVEIRA, A. S. et al. Compósitos com matriz de gesso reforçada com fibras de madeira de eucalipto. **Scientia Forestalis**, 48(127), e3260, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.18671/scifor.v48n127.23>>. Acesso em: 21 mar. 2022.

OLIVEIRA, M. **Materiais compósitos à base de gesso contendo EVA (etileno acetato de vinila) e vermiculita: otimização e propriedades termodinâmicas**. 2009. 216 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Paraíba, João Pessoa, 2009.

PINTO, N.A. et al. Avaliação de matriz de gesso com incorporação de borracha de pneus para utilização na construção civil, **Revista Tecnológica**, Maringá, v. 25, n. 1, p. 103-117, 2016.

PROTÁSIO, T.P. et al. Correlações canônicas entre as características químicas e energéticas de resíduos lignocelulósicos, **Cerne**, Lavras, v. 18, n. 3, pp. 433-439, 2012.

PROTÁSIO, T. P. et al. Brazilian lignocellulosic wastes for bioenergy production: characterization and comparison with fossil fuels. **Bioresources**, Oxford, v. 8, n. 1, p. 1166-1185, 2013.

PROTÁSIO, T. P. et al. Técnicas multivariadas aplicadas a avaliação de resíduos lignocelulosicos para a produção de bioenergia. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 23, n. 4, p. 771-781, 2013.

RIBEIRO, J.S.; SERRA, J.C.V. Compósitos Obtidos de Resíduos de Papel, Reforçados com Pó de Serragem e de Gesso, **Engineering and Science**, v. 2, n. 1, p. 1-9, 2014.

SELAMAT, M.E. 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, p. 526-532, 2019.

SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO (SFB). **Sistema Nacional de Informações Florestais – SNIF**. Brasília, 2018. Disponível em: <<http://snif.florestal.gov.br/pt-br/>>. Acesso em: 15 jan. 2022.

SHIROMA, L.; CAMARINI, G.; BERALDO, A.L. Effect of wood particle treatment on the properties of gypsum plaster pastes and composites. **Revista Matéria**, Rio de Janeiro, v. 21, n. 4, p. 1032-1044, Oct. 2016.

SILVA, L.; CAMÕES, A.; VASCONCELOS, G. Material compósito à base de gesso reforçado com fibras: caracterização mecânica. **Azurém**: Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Minho, Braga, 2014.

SILVA, Z. **Geoprocessamento e análise ambiental**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2013.

SOPHIA, M.; SAKTHIESWARAN, N.; BABU G.O. Gypsum as a Construction Material- A Review of Recent Developments. **International Journal for Innovative Research in Science & Technology**, v. 2, n. 12, pp. 1-9, 2016.

SOYKEABKAEW, N. et al. All-cellulose nanocomposites by surface selective dissolution of bacterial cellulose. **Cellulose**, Bucharest, v. 16, n. 3, p. 435-444, 2009.

VASCONCELOS, G. et al. Mechanical behavior of gypsum and cork based composite material. **Materials Science Forum**, Zurich, v. 730/732, p. 361-366, nov. 2013.

VELOSO, M.C.R.A. et al. Produção e caracterização de compósitos à base de gesso reforçado com partículas de resíduo da agroindústria do cacau. **Revista Matéria**, Rio de Janeiro, v. 26, n. 1, 2021.

VILA-CHÃ, N. M. B. **Estudo de um Material Compósito à Base de Gesso e Cortiça**. 2012. 73 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade do Minho, Braga, 2012.

VILLELA, L.S. et al. Desempenho físico-mecânico de compósitos à base de gesso reforçados com embalagens multicamadas trituradas. **Revista Matéria**, Rio de Janeiro, v. 25, n. 3, jan. 2020.

VILLELA, L. S. **Compósitos à base de gesso reforçado com partículas de resíduos lignocelulósicos e embalagens cartonadas**. 2017. 88 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia de Biomateriais, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2017.

WEBER, A.M., CECHIN, L., TOKARSKI, R.B. Análise da influência do traço nas propriedades do compósito cimento-madeira. **Revista Principia**, Paraíba, v. 1, n. 36, p. 50-59,

2017.