

Propriedades mecânicas de compósitos de fibras naturais e gesso

O gesso é um material amplamente utilizado na construção civil devido ao seu excelente desempenho, facilidade de aplicação e resistência ao fogo. No entanto, apesar de todas as vantagens, o gesso possui algumas desvantagens devido à sua fragilidade e baixa resistência mecânica. Nos últimos anos, diversas pesquisas foram realizadas a fim de corrigir as deficiências que esse material apresenta por meio da adição de fibras naturais, fibras sintéticas e partículas minerais na matriz de gesso. Nesse âmbito, as fibras naturais merecem destaque, pois apresentam baixo custo, são abundantes, renováveis e permitem a reutilização de resíduos gerados em diferentes setores da produção. Dessa forma, o presente estudo realizou uma revisão sistemática dos artigos publicados nos últimos cinco anos, pela editora Elsevier, sobre compósitos de fibras naturais e gesso. Nesse contexto, esta pesquisa restringiu a análise dos efeitos provocados, pela adição de fibras ao gesso, às propriedades mecânicas avaliadas nos artigos selecionados. As fibras mencionadas neste estudo foram as de sisal, cânhamo, erva marinha Possidonia oceânica, lignina, palha de linho, lã de ovelha e coco. Constatou-se na presente revisão que, em geral, a adição de fibras naturais ao gesso resultou em melhora nas propriedades mecânicas dos compósitos analisados na literatura. Desse modo, a utilização de fibras naturais como materiais de reforço na matriz de gesso mostra-se favorável economicamente, devido ao baixo custo e a abundância desses materiais, mas também se apresenta sustentável devido tanto ao reaproveitamento desses resíduos, quanto a serem provenientes de fontes renováveis, beneficiando, assim, a sociedade e o meio ambiente.

Palavras-chave: Compósitos de gesso; Fibras naturais; Propriedades mecânicas.

Mechanical properties of natural fiber composites and gypsum

Gypsum is a material widely used in civil construction due to its excellent performance, ease of application and fire resistance. However, despite all the advantages, plaster has some disadvantages due to its fragility and low mechanical strength. In recent years, several researches have been carried out in order to correct the deficiencies that this material presents through the addition of natural fibers, synthetic fibers and mineral particles in the gypsum matrix. In this context, natural fibers are noteworthy, as they are low cost, abundant, renewable and allow the reuse of waste generated in different sectors of production. Thus, the present study carried out a systematic review of articles published in the last five years, by the editor Elsevier, on natural fiber composites and gypsum. In this context, this research restricted the analysis of the effects caused by the addition of fibers to plaster, to the mechanical properties evaluated in the selected articles. The fibers mentioned in this study were sisal, hemp, seagrass Possidonia oceanica, lignin, flax shive, sheep wool and coir. So, it was found in the present review that, in general, the addition of natural fiber to gypsum increased the mechanical properties of the composites studied in the literature. Also, the use of natural fibers as reinforcement materials in the gypsum matrix is economically favorable, due to the low cost and abundance of these materials, and sustainable due as much to the reuse of these residues, and to its renewable sources, thus benefiting society and the environment.

Keywords: Gypsum composites; Natural fibers; Mechanical properties.

Topic: **Cerâmicos e Compósitos**

Received: **14/06/2021**

Approved: **16/07/2021**

Reviewed anonymously in the process of blind peer.

Maria Clara Cavalcante Pinto Evangelista 
Universidade Federal do Vale do São Francisco, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/6751018800847380>
<http://orcid.org/0000-0001-8924-8720>
claracavalcante1074@gmail.com

Jenifer Tejada Cardoso 
Universidade Federal do Vale do São Francisco, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/2559687464374080>
<http://orcid.org/0000-0002-6662-0144>
jenifer.tejada@discente.univasf.edu.br

Rafaella Cristina da Silva Ferreira 
Universidade Federal do Vale do São Francisco, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/7070224488886248>
<http://orcid.org/0000-0002-2815-7208>
raffaella.ferreira@discente.univasf.edu.br

Thales Ferreira de Souza 
Universidade Federal do Vale do São Francisco, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/8350035618767210>
<http://orcid.org/0000-0003-0924-9956>
thales.souza@discente.univasf.edu.br



DOI: 10.6008/CBPC2318-3055.2021.002.0013

Referencing this:

EVANGELISTA, M. C. C. P.; CARDOSO, J. T.; FERREIRA, R. C. S.; SOUZA, T. F.. Propriedades mecânicas de compósitos de fibras naturais e gesso. *Engineering Sciences*, v.9, n.2, p.146-162, 2021. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2318-3055.2021.002.0013>

INTRODUÇÃO

O gesso é um material amplamente utilizado por apresentar propriedades vantajosas, tais como: baixo custo, bom isolamento térmico e acústico e resistência ao fogo (MARTIAS et al., 2014, citado por IUCOLANO, 2019). Contudo, esse material também apresenta fragilidade e baixa resistência mecânica, fatores que podem restringir o uso do gesso (ARIKAN et al., 2002, citado por IUCOLANO et al., 2019).

As fibras naturais são materiais de origem animal, mineral ou vegetal (HABIBI et al., 2008), constituídas basicamente por cinco componentes: celulose, hemicelulose, pectina, lignina e extrativos (ALBINANTE et al., 2013). Elas são constituídas de células alongadas entrelaçadas e o entrelaçamento delas é, em parte, responsável por algumas propriedades e características: densidade, tensão, módulo de elasticidade e alongamento na ruptura (MARINELLI et al., 2008).

Pesquisas sobre obtenção de compósitos de gesso e fibras naturais estão surgindo devido às características gerais dessas fibras como alta relação resistência-peso, baixo custo, e também a possibilidade de reciclá-las (RIDHA et al., 2021). Contudo, no âmbito de desvantagens relativas ao seu uso como reforço em materiais de construção, apresenta-se como principal malefício a fraca interação entre matriz e fibra. Porém, diversos tipos de tratamentos, químicos e biológicos, são testados para melhorar a rugosidade da superfície da fibra a fim de potencializar o uso desses materiais (IUCOLANO et al., 2018).

Diversas pesquisas estudam os efeitos nas propriedades mecânicas após a adição de fibras naturais para a conformação de compósitos de gesso. Algumas dessas fibras são: de sisal, cânhamo, erva marinha *Possidonia oceanica*, madeira de pinho, lignina, palhas de linho, coco e lã de ovelha.

As fibras de sisal apresentam alta resistência à tração, baixo peso, resistência à corrosão, baixo custo, menos riscos à saúde e são obtidas a partir de recursos renováveis (CHEN et al., 2011; HO et al., 2012, citados por RIDHA et al., 2021). Elas são retiradas das folhas da planta *Agave Sisalana*, originária da América Central. Suas propriedades mecânicas dependem da idade da planta, tipo de processamento para retirada das fibras e sua microestrutura.

Em relação às fibras de cânhamo, elas foram estudadas como substitutos das fibras de vidro em placas de gesso, por apresentarem uma série de vantagens em relação a esse material: menor custo, sua adição não altera o processo de reciclagem das placas de gesso, e sua moagem nesse procedimento não gera um pó residual prejudicial à saúde, diferentemente do que ocorre com as fibras de vidro (IUCOLANO et al., 2019). Ademais, o cânhamo (*Cannabis Sativa L.*) apresenta fácil cultivo em regiões do mundo todo, capacidade de extrair metais pesados do solo, alto potencial de armazenamento de carbono e baixa eutrofização (PRADE, 2011; LINGER, 2002; SAIN, 2003; ZAMPORI, 2013, citados por IUCOLANO et al., 2019).

Dentre as fibras de origem vegetal, as ervas marinhas *Posidonia oceanica*, são plantas com flores aquáticas, endêmicas do Mar Mediterrâneo, que nas costas marinhas são um problema de longa data, pois sua decomposição é fonte de odores desagradáveis e aparência pouco atraente, principalmente do ponto de vista turístico (KUGO et al., 2021). As fibras de *Posidonia Oceanica* foram estudadas na última década como uma resposta à demanda por novos recursos ambientais e materiais sustentáveis viáveis. Elas possuem propriedades físicas e mecânicas interessantes que as tornam propícias para uso em várias

aplicações (KHIARI et al., 2017 citado por KUGO et al., 2021)

Ainda em relação às fibras de origem vegetal, as fibras de madeira têm sido utilizadas como substitutos de reforços sintéticos ou como material de enchimento. Enquanto as fibras sintéticas são fabricadas usando um processo de refino de alto custo, as partículas de madeira são processadas reduzindo grandes peças em outras menores (KUGO et al., 2021). A adição de serragem e/ou fibras de madeira na pasta de gesso provoca alterações nas propriedades do material, como diminuição da densidade e melhorias nas propriedades higrotérmicas do compósito, mas também redução da resistência à flexão e compressão (CONDE et al., 2016; RAMEZANIA et al., 2012). Contudo, foi observado em alguns casos que, a adição de pequenas quantidades de fibras de madeira à matriz de gesso gerou melhorias no desempenho mecânico do material (LIÑAN et al., 2017, citado por KUGO et al., 2021).

No tocante à lignina, ela é um material classificado como biomassa e, dentre as várias opções dessa categoria que podem ser incorporadas em materiais de construção, ela merece atenção especial. Tal constatação é referente à lignina ser um dos polímeros orgânicos naturais mais abundantes do planeta, superado apenas pela celulose. Além disso, ela é a responsável pela aderência na estrutura da madeira, exercendo ação enrijecedora e volumétrica (IUCOLANO et al., 2018).

Vários estudos se concentraram no uso de fibras longas de linho como reforço em compósitos de origem biológica, mas poucos se interessaram pela valorização das palhas de linho, que compreendem o núcleo lenhoso gerado como subproduto no processo de raspagem do linho (ESSID et al., 2021). Esse coproduto vegetal é amplamente disponível no noroeste da França e apresenta estrutura porosa e boa resistência mecânica (ESSID et al., 2021).

Dentre as fibras naturais, a lã de ovelha é uma das mais antigas fibras têxteis utilizadas pela humanidade (ERDOGAN et al., 2020). Nos últimos anos, diferentes tentativas de utilização de fibras de lã de baixa qualidade e resíduos de lã foram estudados devido à grande disponibilidade deste recurso e ao seu baixo custo. Além disso, essas fibras são conhecidas por suas propriedades de isolamento, alta resistência à chama e capacidade de reter o calor (GUNA et al., 2021).

Uma das fibras naturais que chamam a atenção de pesquisadores e indústrias é a fibra de coco por sua disponibilidade e boa resistência, baixa absorção de água e durabilidade (HAMOUDA, 2021). Segundo Guna et al. (2021), o alto teor de lignina (até 30%) presente neste material resulta em uma resistência aprimorada das fibras, as quais, além disso, apresentam alto alongamento e são conhecidas por ter baixo custo.

Diante disso, foram pesquisados diversos trabalhos científicos com o objetivo de levantar e analisar os dados mais recentes, dos últimos cinco anos, sobre o uso de fibras na produção de compósitos gesso-fibras naturais e sua relação com as propriedades mecânicas do aglomerante. Essa busca por um material natural gira em torno da necessidade de se obter produtos sustentáveis, em decorrência da necessidade da preservação ambiental (BOQUERA et al., 2021).

Tendo em vista a referenciação supracitada, há diversas fibras naturais com potencial de uso como reforços de matrizes frágeis. Portanto, este artigo revisa a adição de fibras naturais ao gesso e a sua

influência nas propriedades mecânicas dos compósitos. Os resultados dessa revisão devem nortear pesquisas futuras sobre o tema.

METODOLOGIA

O presente artigo é uma revisão sistemática da literatura, tendo em vista que foi utilizada uma metodologia sistematizada para identificar os trabalhos que seriam incluídos no estudo. O subtipo de revisão é quantitativa descritiva, pois foi realizado um resumo textual das informações relevantes apresentadas nas pesquisas (GUANILO et al., 2011).

Tal metodologia foi desenvolvida para a apresentação dos estudos nos últimos 5 anos sobre uso de fibras naturais na constituição de compósitos com gesso para melhoramento de propriedades mecânicas. A coleta de dados envolveu a busca por artigos científicos de pesquisa publicados e disponíveis na base de dados Science Direct nos anos 2017 a 2021. A busca nessa base foi feita utilizando como critério semântico as palavras-chave "fibra natural", "gesso", "compósito" e "propriedades mecânicas" combinadas e traduzidas para o inglês, por retornar uma quantidade de resultados significativamente maior nessa língua. Outro filtro utilizado em conjunto com os anteriores foi a seleção das áreas de conhecimento, sendo escolhidas Engenharia e Ciências dos Materiais.

É importante salientar que 453 artigos retornados pela busca supracitada não se enquadraram completamente no objeto de estudo do presente trabalho, uma vez que estudavam compósitos constituídos por um terceiro material, como por exemplo o cimento. Contudo, optou-se por não excluir da busca os nomes dessas substâncias, a fim de que não fossem ocultados trabalhos relevantes para o estudo. Essa hipótese surgiu da observação da existência de pesquisas que estudavam as duas composições de materiais - apenas com gesso e fibras naturais, mas também com estas duas substâncias e uma terceira.

Desse modo, após a primeira etapa de seleção, os 469 títulos e resumos dos artigos encontrados no banco de dados foram lidos. Desses, remanesceram 16 trabalhos selecionados para completa leitura, pois apresentaram análises de compósitos de gesso e fibras naturais relativas aos seus desempenhos mecânicos, sendo estes objetos de estudo da presente revisão.

Depois dessa leitura, foi feito o levantamento estatístico para realização da síntese dos estudos que de fato foram utilizados na produção do artigo, realizando a confecção de gráficos utilizando o *software* Originpro. Finalmente, houve a redação do artigo citando os pontos mais relevantes de cada pesquisa e realizando análises críticas sobre os estudos.

DISCUSSÃO TEÓRICA

Utilizando a metodologia apresentada anteriormente, foram retornados 469 artigos na busca do banco de dados. Após leitura de todos os títulos e resumos, foram encontrados 16 artigos que estudavam o uso de fibras naturais em elementos com gesso e sua influência nas propriedades mecânicas. Os demais artigos não se enquadravam no objeto de estudo, pois a maioria se referia ao uso de compósitos com presença de cimento. Ademais, dos 16 artigos, 7 foram excluídos da revisão por estudarem os seguintes

fatores: análise da influência do tratamento químico nas fibras, utilização das fibras como tecido para reforço no gesso, avaliação mecânica do compósito variando a temperatura em vez da composição fibra natural-gesso.

Desse modo, 9 artigos foram utilizados para realizar a presente revisão sistemática, sendo 6 deles publicados no ano de 2021, como é possível ver na Figura 1a. Destes, 3 estudos foram publicados na Itália (Figura 1b). As fibras estudadas nos artigos foram: palha de Linho, lã de ovelha, erva marinha *Possidonia Oceanica*, de coco, de madeira de Pinho, Sisal, Cânhamo e Lignina. Em relação às propriedades mecânicas, no geral, os artigos estudaram as resistências à flexão, à compressão, ao impacto e dureza.

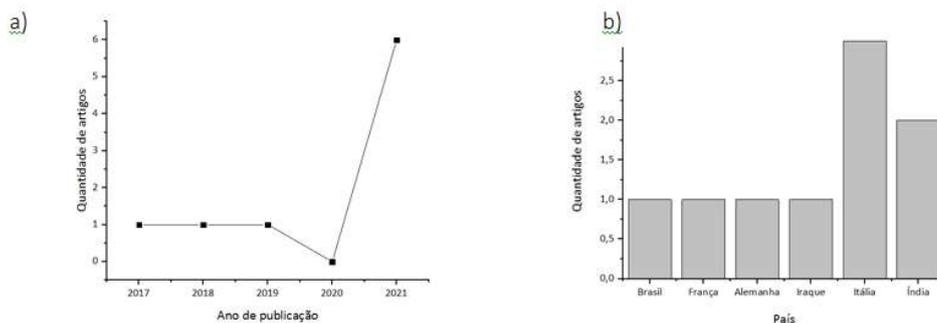


Figura 1: Gráficos da quantidade de artigos utilizados na revisão por ano de publicação (a) e quantidade de artigos por locais de publicação (b).

Em relação às pesquisas e seus achados, o estudo realizado com compósito de gesso de fundição e fibra de sisal (obtida comercialmente) analisou o desempenho do material quanto à resistência à compressão, variando o percentual de fibra em massa de gesso em 1% e 2%, diferenciando também seus comprimentos em 10mm e 30mm. As fibras ensaiadas na pesquisa apresentaram resistência à tração da ordem de 391 e 385 MPa, para comprimentos de 10 e 30mm, respectivamente, ademais, a relação a/g utilizada foi 0,5 (RIDHA et al., 2021).

O estudo revelou aumento na resistência à compressão para todos os materiais ensaiados com adição das fibras, em relação ao material de referência (constituído apenas com gesso), sendo a inserção de 1% de fibras com comprimento de 30mm a composição que apresentou maior aumento na propriedade, sendo este no valor de 21,6%. Os autores atribuíram os resultados de duas formas: o aumento na resistência relativo ao maior comprimento deve-se à maior superfície de contato fibra-matriz de gesso, promovendo maior aderência entre os materiais. Já a observação feita em relação à concentração de fibras serem melhor quando menor, foi atribuída à possibilidade do material apresentar maior porosidade, pois as fibras se tornam obstáculos no entrelaçamento dos cristais de gesso entre si e entre as fibras (RIDHA et al., 2021).

Outra pesquisa fez análise do desempenho mecânico à flexão de peças de gesso com adição de fibras de sisal, mas utilizando uma forma de produção diferente da usual (moldagem de corpos de prova por produção de pasta): manufatura aditiva por jato de aglutinante, popularmente conhecida como impressão 3D (COELHO et al., 2019).

De forma resumida, neste modo de produção (mostrado na Figura 2) o pó que constituirá a peça é

espalhado na plataforma por um rolo espalhador; aglutinado por um material aglutinante despejado pelo cabeçote, o qual realizará movimentos em direções pré-determinadas pelo projeto digital da peça, desenhando a camada, depois o pistão desce uma altura equivalente à espessura da próxima camada para que o processo se repita. Por fim, o pó que não foi aglutinado é retirado com o auxílio de um aspirador e a peça passa por um processo de pós-tratamento (COELHO, 2018).

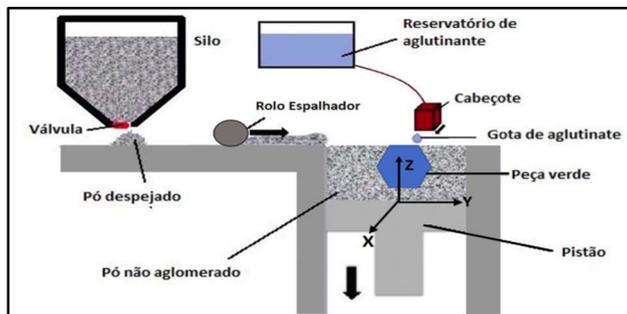


Figura 2: Esquema do processo de manufatura aditiva por jato aglutinante. **Fonte:** Coelho (2018).

Os blocos formados pelo processo supracitado tiveram em sua composição fibras de sisal de comprimentos variando entre 1mm e 2mm, mas também houve a confecção de amostras de referência (sem fibras). A proporção volumétrica entre gesso e fibras foi fixada em 1,5%. Metade das peças foram submetidas ao pós-tratamento que consistiu na infiltração de uma resina adesiva de etil-2-cianoacrilato por gotejamento sobre as superfícies dos corpos de prova. É importante salientar que, na confecção das amostras, também se variou a direção de fabricação dos corpos prismáticos em vertical e horizontal (COELHO et al., 2019).

Relativamente às propriedades mecânicas, foi feito ensaio de resistência à flexão das peças, apresentando os seguintes resultados: as peças sem pós-tratamento com a presença de fibras apresentaram a menor resistência à flexão, enquanto as peças com pós tratamento e fibras resultaram no maior valor de resistência. Os autores atribuíram esses resultados à adição das fibras e da direção vertical de impressão, pois ambos os fatores aumentam a possibilidade da peça, permitindo infiltração de maior quantidade de resina, tornando a peça mais rígida (COELHO et al., 2019).

Ademais, outro resultado importante fornecido pelo estudo foi a baixa presença de sulfato de cálcio diidratado (cerca de 11%), o que demonstra pouca hidratação do gesso, influenciando consideravelmente os resultados. Atribuiu-se ao ocorrido a falta de tempo para realizar a reação de hidratação após a adição do aglutinante (material de base aquosa), antes que a peça fosse levada para pós-tratamento de secagem (COELHO et al., 2019). Tal resultado torna a avaliação dos efeitos na resistência à flexão da presença da fibra de sisal prejudicada, pois não houve a adequada hidratação do gesso. É possível que o aglutinante, por não ser composto completamente por água, e a quantidade deste aplicado em cada camada tenham influenciado na hidratação do sulfato de cálcio hemiidratado.

Em relação ao uso de fibras de cânhamo, um estudo comparou o desempenho entre placas de gesso reforçadas com fibras de vidro e com fibras de cânhamo, em relação à resistência à flexão. Para tal, foram utilizadas fibras de cânhamo que passaram por tratamento biológico, cortadas no tamanho de 10mm

(mesmo comprimento das fibras de vidro). Além disso, os pesquisadores variaram o percentual de fibras por massa de gesso em 1% e 2% (Tabela 1) e a relação água/gesso utilizada foi de 0,7 (IUCOLANO et al., 2019).

Tabela 1: Composição das amostras.

Tipo de amostra	Relação Água/Gesso	Fibra de cânhamo (%)	Fibra de vidro (%)
TQ	0,7	–	–
H1	0,7	1	–
H2	0,7	2	–
G1	0,7	–	1
G2	0,7	–	2

Fonte: Adaptado de Iucolano et al. (2019).

Desse modo, foram obtidos os seguintes resultados: a resistência à flexão não teve mudança significativa na adição de 1% de fibra de cânhamo, em relação ao valor da amostra de referência TQ, como é possível observar na Figura 3, amostra H1. Contudo, a adição de 2% gera um aumento significativo na resistência à flexão, com as amostras compostas por fibras de cânhamo (H2) apresentando desempenho superior às fibras de vidro (G2), exibindo máximo de 4,0MPa (IUCOLANO et al., 2019).

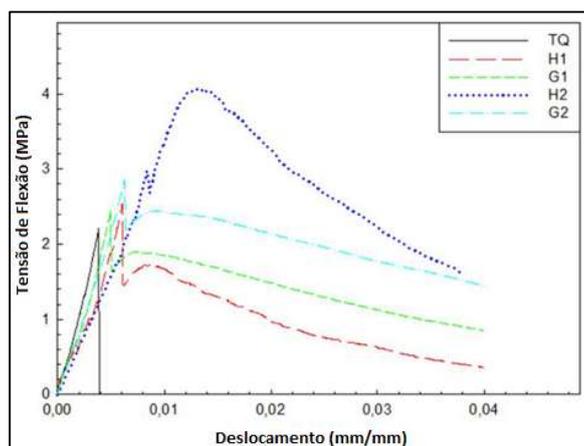


Figura 3: Curvas tensão de flexão x deformação. **Fonte:** Iucolano et al. (2019).

Os autores atribuíram esse desempenho à formação de pontes pela presença das fibras nas fissuras, capazes de reduzir o comportamento dúctil do material. Comparativamente entre o vidro e o cânhamo, a explicação foi que, em uma análise morfológica, o segundo apresenta uma superfície de adesão com o gesso muito mais homogênea do que o primeiro, como é possível ver na Figura 4.

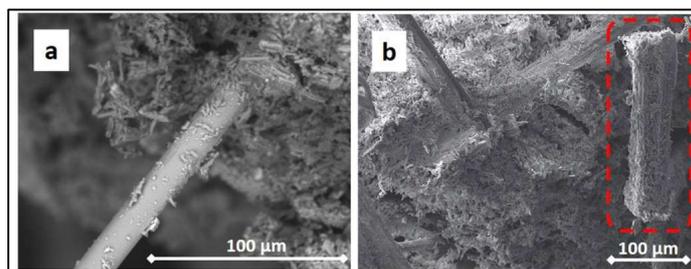


Figura 4: Imagens de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) dos compósitos gesso - fibra de vidro (a) e gesso - fibra de cânhamo (b). **Fonte:** Iucolano et al. (2019).

Um outro estudo comparativo entre fibras foi o realizado por Kugo et al. (2021), onde se comparou o desempenho das principais propriedades mecânicas de compósitos de gesso com fibras de ervas marinhas *Posidonia oceanica* e fibras de madeira de pinho (*Pinus sylvestris*). As fibras POF (*Posidonia oceanica* Fiber), que em sua forma natural são encontradas em formato de bolas, foram submetidas a um processo para desfazer a união das fibras sem encurtamento, enquanto as fibras de madeira, *wooden fibers* (WF), foram processadas em um moinho de martelo (KUGO et al., 2021).

No estudo, foram realizadas 9 misturas de compósitos gesso e fibra, sendo 4 misturas de gesso com WF, 4 misturas de gesso com POF e 1 um compósito de gesso com WF e POF. Segundo Kugo et al. (2021) a relação água/gesso mudou conforme a quantidade de fibras adicionadas, pois na medida em que as fibras absorvem mais água, a trabalhabilidade do compósito é afetada (Tabela 2).

Tabela 2: Composição dos compósitos.

Tipo de compósito	Quantidade de WF (% em massa)	Quantidade de POF (% em massa)	Relação Água/Gesso
REF-C	-	-	0,6
WF1-C	1	-	0,62
WF2-C	2	-	0,64
WF4-C	4	-	0,7
WF6-C	6	-	0,8
POF1-C	-	1	0,62
POF2-C	-	2	0,64
POF3-C	-	4	0,7
POF4-C	-	6	0,8
POF-WF-C	1	1	0,64

Fonte: Kugo et al. (2021).

As composições foram submetidas a ensaios de resistência à flexão e compressão, resistência ao impacto e ao ensaio de dureza de Brinell. Segundo Kugo et al. (2021), os compósitos com fibra de madeira com o teor de fibra até 2% foram os que apresentaram os melhores resultados mecânicos, resultando em até 28% de aumento na resistência à compressão e flexão. Também foi observado que o aumento na concentração das fibras, tanto as de madeira quanto as de *Posidonia oceanica*, se mostrou inversamente proporcional à capacidade de carga dos compósitos – como pode ser observado na Figura 5 -, ocorrendo redução nas resistências à flexão e compressão e na dureza. Em contrapartida, a resistência ao impacto dos compósitos com as duas fibras foi superior ao gesso de referência (REF-C), sendo os compósitos de POF os que apresentaram melhor desempenho na resistência ao impacto. Segundo Kugo et al. (2021), tal comportamento é devido à energia pós-fissura, necessária para quebrar completamente os corpos de prova.

Para Kugo et al. (2021) o fator que influenciou a resistência mecânica foi a quantidade de fibras e não o seu comprimento, uma vez que quantidade de fibras maiores, produziu perda no desempenho mecânico. O estudo concluiu que os compósitos de gesso com fibras de pinho (WF) com teor até 2% podem ser utilizados em situações em que as aplicações solicitem melhor desempenho à flexão e que os compósitos com POF (Fibras de *Posidonia oceanica*) não apresentaram ser a melhor solução, embora, ainda possam ser utilizados como enchimento ou reforço, devido ao baixo custo.

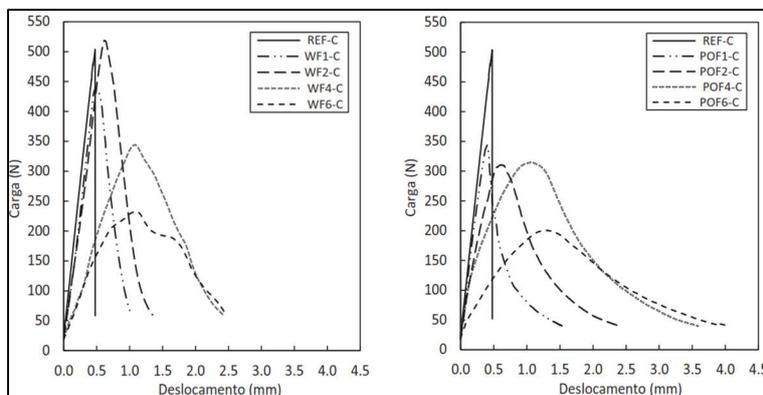


Figura 5: Carga aplicada versus deslocamento para compósitos de gesso - fibra de *Posidonia oceanica* (POF-C) e para compósitos de gesso - fibra de madeira (WF-C). **Fonte:** Kugo et al. (2021).

Uma outra pesquisa também fez uso da fibra de cânhamo. Porém, a sua aplicação foi em três tipologias diferentes: fibra crua (RF), fibra tratada quimicamente (CTF) e fibra tratada biologicamente (BTF) (Figura 6). As fibras de cânhamo foram cortadas no comprimento de 10mm e adicionadas ao gesso na proporção de 1% em massa em relação ao aglomerante, relação água/gesso de 0,7. Em seguida, foram confeccionados corpos de prova em duas dimensões diferentes (160mm × 40mm × 20mm e 100mm × 100mm × 20mm), sendo três corpos de prova para cada tipologia e dimensão mais as amostras de referência (Ref), sem adição de fibras (IUCOLANO et al., 2018).



Figura 6: Fibras cruas (RF), tratadas quimicamente (CTF) e fibras tratadas biologicamente (BTF). **Fonte:** Iucolano et al. (2018).

Após os ensaios mecânicos, foram obtidos os seguintes resultados: a resistência à flexão, conforme esperado, na amostra de referência teve o desempenho inferior quando comparada às amostras que contém fibras (Figura 7). Além disso, quando comparadas às amostras que possuem adição, é possível verificar o melhor desempenho daquelas que receberam tratamento (CTF e BTF) em detrimento da fibra crua (RF) (IUCOLANO et al., 2018).

Os resultados obtidos pelos autores após os ensaios mecânicos acima mencionados podem ser justificados considerando que os tratamentos (químicos e biológicos) modificam a superfície das fibras de cânhamo e melhoram a sua adesão com a matriz de gesso. Em particular, pode-se observar que, a amostra de RF atinge um valor máximo de carga de cerca de 2,3 MPa, seguido por uma queda acentuada para cerca de 0,7MPa, que se mantém estável até o final do teste. Pelo contrário, tanto CTF quanto BTF (Figura 7), uma vez atingido seu valor máximo de carga, sofrem uma menor queda de carga, que é seguida por um segundo ligeiro aumento e uma diminuição lenta e regular da carga (IUCOLANO et al., 2018). Já em relação

ao ensaio de resistência ao impacto é possível observar na imagem abaixo os resultados tanto para a amostra de referência como para as que contêm fibras (Figura 8).

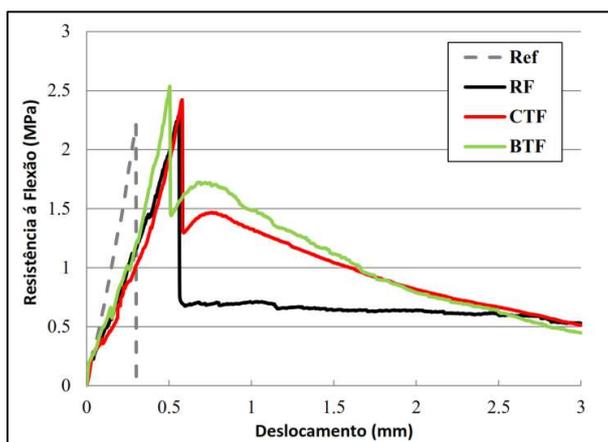


Figura 7: Comportamento das amostras submetidas à flexão: Referência (Ref) e com fibras. Fonte: lucolano et al. (2018).

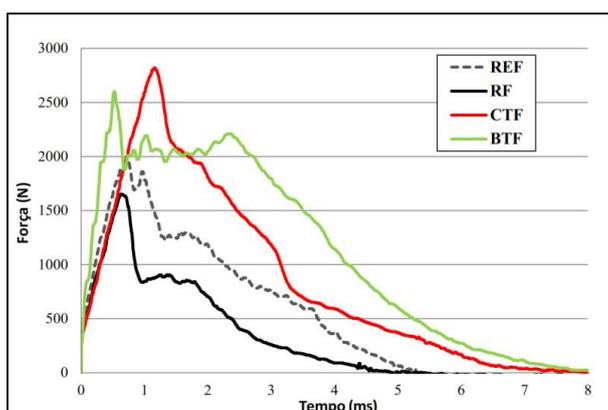


Figura 8: Resultados experimentais de impacto para $E_i = 30$ J. Fonte: lucolano et al. (2018).

É possível observar os resultados apresentados na Figura 8 resumidos na Tabela 3 abaixo - na qual E_a e $E_{a,REF}$ são as energias absorvidas pelas amostras com fibras e pelas amostras de referência, respectivamente.

Tabela 3: Energias absorvidas pela amostra de referência e pelas amostras com fibras (Energia de impacto $E_i = 30$ J).

Amostra	E_a	$E_a/E_{a,REF}$
Ref	15,7	1
RF	9,92	0,63
CTF	21,49	1,37
BTF	22,86	1,46

Fonte: Adaptada de lucolano et al. (2018).

Observa-se que o melhor desempenho é obtido pelas fibras que receberam tratamento, porque em relação aos compósitos com fibra crua, há uma diminuição de 37% da resistência ao impacto do gesso. Diferentemente, quando as fibras são quimicamente ou biologicamente tratadas, as energias absorvidas pelos compósitos aumentaram 1,37 e 1,46, respectivamente. Em particular, a curva BTF tem uma forma diferente em comparação com os outros compósitos, e parece absorver energia por mais tempo. Esse comportamento pode ser atribuído ao fato de o tratamento biológico ser menos agressivo e mais seletivo

que o químico. Portanto, as fibras exibem uma textura mais uniforme e homogênea e retêm melhor suas propriedades mecânicas (GURUNATHAN, 2015).

Diante dos resultados discutidos podemos inferir que o uso da fibra de cânhamo, quando submetido ao tratamento biológico, contribuiu de forma mais satisfatória para o melhoramento das propriedades mecânicas do gesso quando comparadas a outras condições da mesma fibra ou com a sua ausência.

A influência da fibra de lignina (L) adicionada ao gesso também foi estudada, com o objetivo de melhorar o desempenho mecânico do aglomerante. Esta lignina foi obtida de um biorresíduo coletado no lago Trasimeno – Itália. A dosagem foi feita nas proporções de: 0%, 30%, 50%, 70% e 100% de lignina em relação a massa de gesso. Sobre as amostras de gesso foram selecionados dois materiais diferentes em relação a pureza, a primeira classificada como gesso Scagliola (G), com pureza de 50% e a segunda gesso Iberyola-E35 (I) com pureza de 90%, ambos obtidos comercialmente. A relação água/pó variou de 0,8 a 1,14. É importante ressaltar que as amostras com 100% de gesso ou lignina foram usadas como referências (BOQUERA et al., 2021).

As amostras foram moldadas com o seguinte formato: 40mm x 40mm x 160mm, ao todo foram produzidas nove amostras com os diferentes teores já apresentados (BOQUERA et al., 2021). O ensaio mecânico aconteceu da seguinte forma: primeiro os blocos foram quebrados na região central durante o ensaio à flexão, em seguida, cada uma das metades foram utilizadas para medir a resistência à compressão. Os resultados são apresentados na Figura 9.

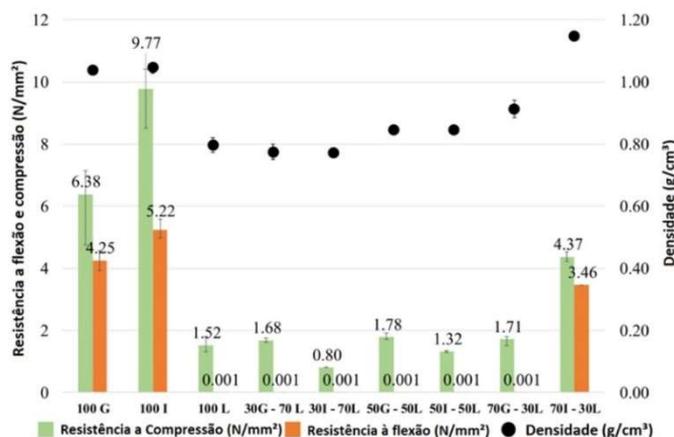


Figura 9: Densidade, resistência à flexão e compressão obtidas para diferentes composições de gesso-lignina. **Fonte:** Boquera et al. 2021.

Após análise dos dados foi possível observar duas situações: primeiro, considerando as amostras compostas por 100% gesso, percebe-se que o seu desempenho mecânico é melhor do que as que contêm lignina. Porém, ao comparar o desempenho mecânico entre os compósitos gesso/lignina, o que apresentou resultados mecânicos mais satisfatórios foi a mistura 70% gesso Iberyola - E35 (I) e 30% lignina (L). Isso sob a ótica da Norma EN13279-2, utilizada pelos pesquisadores como referência, segundo a qual o gesso de construção deve ter valores superiores a $1\text{N}\cdot\text{mm}^{-2}$ para flexão e $2\text{N}\cdot\text{mm}^{-2}$ para resistência à compressão. Por isso, entre todos os materiais compostos com lignina, apenas a mistura “70I-30L” atinge o desempenho

adequado para sua aplicação como material de construção. Ademais, todos os resultados mecânicos estão diretamente relacionados com a densidade do material, onde maior teor de lignina resulta em materiais compósitos mais leves (BOQUERA et al., 2021).

Podemos observar que se a variável considerada for apenas o desempenho mecânico não seria justificável o uso do compósito gesso/lignina como material de construção. No entanto, os autores consideraram outras variáveis, como desempenho térmico e acústico, e sob essa ótica global o produto que obteve o melhor desempenho foi o compósito 70I-30L.

Dubois et al. (2018) desenvolveram um estudo sobre a fabricação de um compósito leve com performances isolantes incluindo eco materiais. Assim, ele analisou 18 tipos de misturas que incluíam os seguintes materiais em proporções diferentes: gesso paris, cimento natural, palhas de linho, finos de pedreira e agente espumante. O eco material selecionado para a pesquisa foi a palha de linho, a qual foi utilizada em seu estado bruto, sem quaisquer tratamentos prévios para inserção no compósito produzido.

As palhas de linho possuíam tamanhos variáveis inferiores a 40mm (Figura 10) e densidade aparente de cerca de 105 kg/m^3 . Em geral, sabe-se que a palha tem alta porosidade e que isto induz a uma grande e rápida absorção de água, o que, no caso do estudo, pode ser verificado (Figura 10) com uma absorção de água de 130% (relação em massa água/palha seca) trinta segundos após a imersão (DUBOIS et al., 2018).

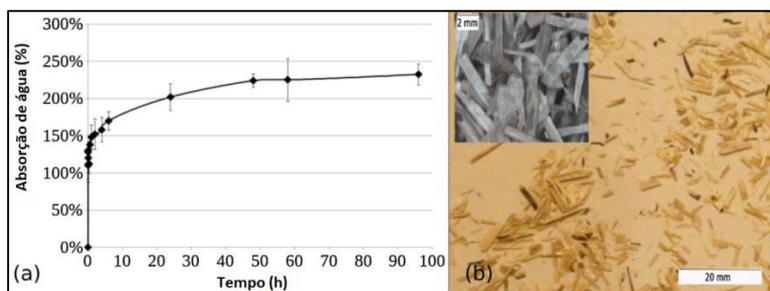


Figura 10: Palhas de linho: (a) coeficiente de absorção de água no decorrer do tempo (b) foto incluindo visão ao microscópio. **Fonte:** Adaptado de Dubois et al. (2018).

Com relação às misturas estudadas, apenas a designada G0 se enquadra nesta revisão. A mistura G0 apresenta proporção água/gesso de 0,8 e razão gesso/palha de linho igual a 10.

O desempenho mecânico foi medido através do ensaio de compressão em corpos de prova cilíndricos, com diâmetro de 110mm e altura de 220mm. Os testes foram feitos após quatro tempos de cura (logo após o início do endurecimento, e para 3, 14 e 28 dias). Duas amostras cilíndricas foram preparadas para os três primeiros períodos de cura e três cilindros para 28 dias.

A Figura 11 mostra as resistências à compressão de todas as misturas estudadas, exceto de três misturas, as quais o ensaio não foi realizado porque as amostras estavam muito fracas e quebraram na desmoldagem.

Conforme é possível observar na Figura 11, a mistura G0 é a que apresentou a maior resistência à compressão, aproximadamente 5 MPa. O artigo não traz a referência do gesso puro para fins de comparação com os resultados obtidos. No entanto, sabe-se que, de acordo com a literatura, a resistência à compressão do gesso endurecido varia entre 5 e 15 MPa, nesse caso, G0 está dentro dos limites

esperados.

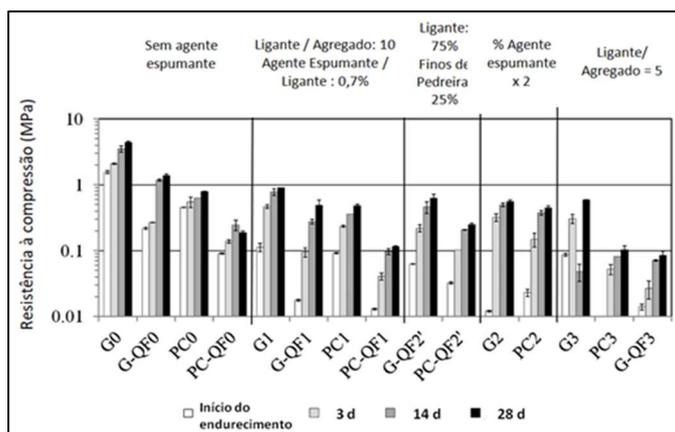


Figura 11: Resistências à compressão de acordo com quatro períodos de cura. **Fonte:** Adaptado de Dubois et al. (2018).

Nesse contexto, Dubois et al. (2018) constataram que as resistências das misturas são baixas. Além disso, a comparação entre os vários períodos de cura mostrou que as resistências à compressão aumentam com o tempo. Ademais, segundo os autores, o gesso foi o ligante que apresentou os melhores desempenhos mecânicos.

Outra pesquisa desenvolvida por Babu et al. (2021), procuraram estudar as propriedades mecânicas e termofísicas de compósitos de gesso reforçados com fibra de cânhamo. Segundo os autores, o gesso foi usado como matriz e as fibras de cânhamo como material de reforço. Estas fibras foram obtidas de fontes locais e utilizadas em sua forma bruta. Os compósitos foram fabricados pela mistura de gesso e água com diferentes frações de volume de fibra de cânhamo (0, 3, 6, 9, 12 e 15%) e com comprimentos de fibra diferentes (5, 10, 15 e 20mm) (BABU et al., 2021).

Os compósitos foram produzidos com proporção água/gesso de 0,6 e moldados em amostras retangulares de dimensões 160 x 40 x 40mm. Os ensaios mecânicos foram realizados após 28 dias de cura do gesso. Para cada tipo de compósito, três amostras idênticas foram testadas e o valor médio foi relatado como a resistência à flexão/compressão do mesmo. A Figura 12 fornece os resultados obtidos por Babu et al. (2021), para as resistências à flexão e compressão, respectivamente, dos compósitos produzidos.

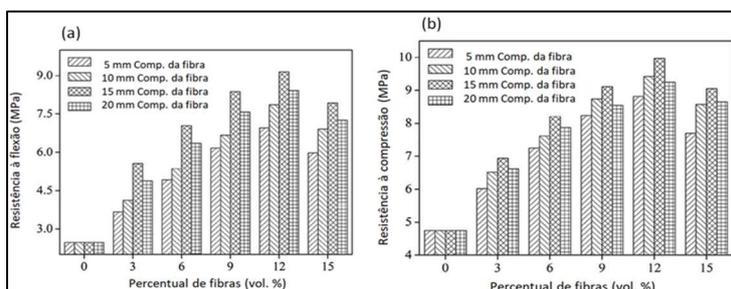


Figura 12: Propriedades mecânicas: (a) efeito do percentual de fibra na resistência à flexão dos compósitos (b) efeito do percentual de fibra na resistência à compressão dos compósitos. **Fonte:** Adaptado de Babu et al. (2021).

É notório que a adição de fibras no compósito aumentou as resistências à flexão e compressão em comparação às amostras sem fibras. Babu et al. (2021) indicaram um aumento de até 268% na resistência à flexão e de até 109,8% na resistência à compressão, em comparação ao gesso puro. Esses resultados

pertencem às amostras que continham 12vol% de fibras e comprimento de fibra igual a 15mm, para ambos os ensaios de resistência. Na pesquisa desenvolvida por Guna et al. (2021), estudou-se a viabilidade do uso de lã residual e fibras de coco como reforço de placas à base de gesso em várias proporções de mistura.

As fibras de lã de ovelha foram obtidas de fontes locais após serem descartadas como resíduo após a tosquia das ovelhas. O diâmetro médio e o comprimento das fibras de lã pertencem ao intervalo de 10,5 até 18,2 μ m e 6 até 81mm, respectivamente (GUNA et al., 2021). Além disso, a densidade da fibra varia entre 1300 e 1320kg/m³ e a absorção de umidade entre 8 e 13% (GUNA et al., 2021).

As fibras de coco foram adquiridas em campos agrícolas locais, próximos ao campus onde se realizou o estudo. O diâmetro e o comprimento médio das fibras de coco pertencem ao intervalo de 0,1 até 0,406mm e 50 até 110mm, respectivamente (GUNA et al., 2021). Já a densidade da fibra varia entre 1200 e 127kg/m³ e a absorção de umidade entre 7 e 10% (GUNA et al., 2021).

A lã de ovelha e as fibras de coco foram lavadas minuciosamente com água morna para remover quaisquer partículas de sujeira/lama e posteriormente secas a 105°C por 5h. As fibras secas foram então cortadas em um tamanho de aproximadamente 5 mm por moagem em um moinho Willey e armazenadas para uso posterior. Para desenvolver os compósitos, as fibras de lã e coco foram usadas como reforço em seu estado natural sem qualquer tratamento químico.

Os compósitos foram produzidos na proporção água/gesso de 0,67 e moldados em amostras retangulares de dimensões 160 × 40 × 20mm. Para cada tipo de compósito, um mínimo de 5 amostras idênticas foram testadas e o valor médio foi relatado como a resistência à flexão do mesmo. As composições das amostras preparadas no estudo estão listadas na Tabela 4. Em relação às propriedades mecânicas, Guna et al. (2021) avaliaram a resistência à flexão e determinaram o módulo de Young das amostras analisadas, conforme pode se observar na Figura 13.

Tabela 4: Referência e composição detalhada das amostras.

Amostra	Gesso (g)	Água (g)	Razão água/gesso	Fibra de coco (g)	Fibra de lã de ovelha (g)
Referência	1000	670	0,67	–	–
Gesso/Fibra de coco	90/10	900	0,67	100	–
	80/20	800	0,67	200	–
	70/30	700	0,67	300	–
	60/40	600	0,67	400	–
Gesso/Lã de ovelha	90/10	900	0,67	–	100
	80/20	800	0,67	–	200
	70/30	700	0,67	–	300
	60/40	600	0,67	–	400

Fonte: Adaptado de Guna et al. (2021).

Conforme se observa na Figura 13, a resistência à flexão e o módulo de Young atingem seu máximo valor para uma proporção de 30% de fibras, tanto para o coco quanto para a lã, evidenciando a melhora das propriedades mecânicas das amostras em comparação à referência. Com a adição de 30% de fibra de lã de ovelha, a resistência das placas de gesso pode ser aumentada em 125% e o módulo de Young em 8% em

comparação com o gesso puro (GUNA et al., 2021).

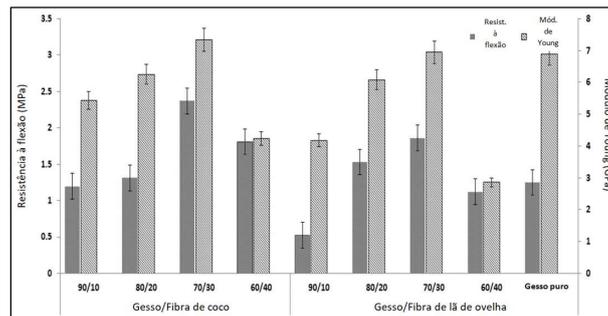


Figura 13: Influência do teor de fibra na resistência à flexão e módulo de Young dos compósitos para diferentes proporções de gesso e fibra de coco ou gesso e lã de ovelha. **Fonte:** Adaptado de Guna et al. (2021).

CONCLUSÕES

A partir dos resultados apresentados é possível observar que: O uso de fibras de sisal pode aumentar a resistência à compressão em relação ao gesso puro; A impressão 3D de compósitos gesso-fibra de sisal pode ser mais bem estudada, avaliando a influência do aglutinante na hidratação do gesso; Compósitos com fibra de cânhamo apresentam maior resistência à flexão do que as amostras de referência em baixas concentrações, mas apresentam desempenho ainda melhor em proporções maiores (12% em volume de gesso); As fibras de lignina não apresentaram aumento da resistência à compressão; A adição de palha de linho, nas condições apresentadas, não resultou em aumento significativo de resistência à compressão; As fibras de lã de ovelha e de coco apresentaram resultados satisfatórios no aumento da resistência à flexão em relação às amostras de gesso puro; os compósitos de gesso com fibras de ervas de *Possidonia oceanica*, em qualquer proporção, apresentaram perdas no desempenho mecânico quando comparados ao gesso não reforçado; As fibras de madeira, adicionadas ao gesso puro, apresentaram melhora no desempenho à flexão do compósito, porém, apenas para teores de fibras até 2%.

Não foi possível comparar o desempenho entre as fibras devido aos diferentes parâmetros de utilização das mesmas na matriz de gesso. Esses parâmetros foram: relação água/gesso, tratamento utilizado nas fibras, tamanho de corpo de prova eram fatores variáveis entre os estudos. Desse modo, sugere-se para trabalhos futuros realizar comparativos entre fibras naturais, controlando as diversas variáveis que podem interferir nos resultados.

REFERÊNCIAS

- ALBINANTE, R. S.; PACHECO, E. B. A. V.; VISCONTE, L. L. Y.. Revisão dos tratamentos químicos da fibra natural para mistura com poliolefinas. *Revista Química Nova*, v.36, n.1, p.114-122, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-40422013000100021>
- AL-RIDHA, A. S. D.; ABBOOD, A. A.; HUSSEIN, F. M.; DHEYAB, L. S.; ABDULLAH, L. N.; ALI, H. Z.; MOHIALDEEN, M. S.; ABDULHUSSEIN, A. A.. Effect of Chopped Sisal Fiber (Csf) on Enhancing the Compressive Strength of Local Plaster of Paris (Lpop). *Revista Materials Today*, v.45, n.7, 2021. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.05.063>
- ARIKAN, M.; SOBOLEV, K.. The optimization of a Gypsum-

based Composite Material. *Revista Cement and Concrete Research*, v.32, n.11, p.1725-1738, 2002. DOI: [http://doi.org/10.1016/S0008-8846\(02\)00858-X](http://doi.org/10.1016/S0008-8846(02)00858-X)

BABU, K. S.; RATNAM, C.. Mechanical and thermophysical behavior of hemp fiber reinforced gypsum composites. *Revista: Materials Today*, v.44, p.2245-2249, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.12.363>

BOQUERA, L.; OLÁCIA, E.; FABIANI, C.; PISELLO, A.; D'ALESSANDRO, A.; UBERTINI, F.; CABEZA, L.. Thermo-acoustic and mechanical characterization of novel bio-based plasters: the valorisation of lignin as by-product from biomass extraction for green building applications.

Construction and Building Materials, v.278, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.122373>

COELHO, A. W. F.. **Manufatura Aditiva por Jato de Aglutinante (Impressão 3d)**: fabricação e avaliação de compósitos de gesso com fibras de sisal. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.

COELHO, A. W. F.; THIRÉ, R. M. S. M.; ARAUJO, A. C.. Manufacturing of Gypsum sisal Fiber Composites Using Binder Jetting. **Revista Additive Manufacturing**, v.29, 2019. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.addma.2019.100789>

CHEN, D.; LI, J.; REN J.. Influence of Fiber Surface-Treatment on Interfacial Property of Poly (l-lactic acid)/ramie Fabric Biocomposites under UV-irradiation Hydrothermal Aging, **Revista Materials Chemistry Physics**, v.126, n.3, p.524-531, 2011. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2011.01.035>

GUANILO, M. C. T. U.; TAKAHASHI, R. F.; BERTOLOZZI, M. R.. Revisão Sistemática: noções gerais, **Revista da Escola de Enfermagem USP**, São Paulo, v.45, n.5, p.1260-1266, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0080-62342011000500033>

DUBOIS, V.; LEBLANC, A.; CARPENTIER, O.; ALHAIK, G.; WIRQUIN, E.. Performances of flax shive-based lightweight composites with rapid hardening. **Revista Construction and Building Materials**, v.165, p.17-27, 2018. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.12.239>

ERDOGAN, U. H.; SEKI, Y.; SELLI, F.. Handbook of natural fibres. In: Woodhead Publishing Series in Textiles. **Wood fibres**, v.1, p.257-278, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818398-4.00011-6>

ESSID, S.; HEGDE, V. J.; MAHIEU, A.; BIZET, L.; LEBLANC, N.; SAOUAB, A.. Comparison of the properties of flax shives based particleboards prepared using binders of bio-based lignin and partially bio-based epoxy resin. **Revista International Journal of Adhesion and Adhesives**, v.109, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2021.102915>

GUNA, V.; YADAV, C.; MAITHRI, B. R.; ILANGOVAN, M.; TOUCHALEAUME, F.; SAULNIER, B.; REDDY, N.. Wool and coir fiber reinforced gypsum ceiling tiles with enhanced stability and acoustic and thermal resistance. **Revista Building Engineering**, v.41, p.102433, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.102433>

GURUNATHAN, T.; MOHANTY, S.; SANJAY, K.. A review of the recent developments in biocomposites based on natural fibres and their application perspectives. **Composites Part A: applied science and manufacturing**, v.77, p.1-25, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2015.06.007>

HABIBI, Y.; ZAWAWY, W. K.; IBRAHIM, M. M.; DUSFRESNE, A.. Processing and characterization of reinforced polyethylene composites made with lignocellulosic fibers from Egyptian agro-industrial residues. **Composites Science and Technology**, v.68, p.1877-1888, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2008.01.008>

HAMOUDA, T.. Biopolymers and Biocomposites from Agro-Waste for Packaging Applications. In: Woodhead Publishing Series in Textiles. **Sustainable packaging from coir fibers**, v.1, p.113-126, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819953-4.00006-9>

HO, M. P.; WANG, H.; LEE, J. H.; HO, C. H.; TAU, K. T.; LENG, J.; HUI, D.. Critical Factors on Manufacturing Processes of Natural Fibre Composites. **Revista Composites Part B: Engineering**, v.43, n.8, 2012, p.3549-3562. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.compositesb.2011.10.001>

IUCOLANO, F.; BOCCARUSSO, L.; LANGELLA, A.. Hemp as Eco-friendly Substitute of Glass Fibres for Gypsum Reinforcement: impact and flexural behaviour. **Revista Composites Part B: Engineering**, v.175, n.15, 2019. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.compositesb.2019.107073>

IUCOLANO, F.; LIGUORI, B.; APREA, P.; CAPUTO, D.. Evaluation of bio-degummed hemp fibers as reinforcement in gypsum plaster. **Revista Composites Part B: Engineering**, v.138, p.149-156, 2018. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.compositesb.2017.11.037>

KHIARI, R.; BELGACEM, M. N.. Potential for using multiscale Posidonia oceanica waste: current status and prospects in material science. **Woodhead Publishing**, p.447-471, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100959-8.00021-4>

KUQO, A.; MAI, C.. Mechanical properties of lightweight gypsum composites comprised of seagrass Posidonia oceanica and pine (Pinus sylvestris) wood fibers, **Revista Construction and Building Materials**, v.282, 2021. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.122714>

LINGER, P.; MU, J.. Industrial hemp (Cannabis sativa L.) growing on heavy metal contaminated soil: fibre quality and phytoremediation potential. **Revista Industrial Crops and Products**, v.16, n.1, p.33-42, 2002. DOI: [http://doi.org/10.1016/S0926-6690\(02\)00005-5](http://doi.org/10.1016/S0926-6690(02)00005-5)

MARINELLI, A. L.; MONTEIRO, M. R.; AMBRÓSIO, J. D.. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v.18, p.92, 2008.

MARTIAS, C.; JOLIFF, Y.; FAVOTTO, C.. Effects of The Addition of Glass Fibers, Mica and Vermiculite on The Mechanical Properties of a Gypsum-based Composite at Room Temperature and During a Fire Test. **Revista Composites Part B: Engineering**, v.62, p.37-53, 2014. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.compositesb.2014.02.019>

CONDE, M. J. M.; IÑÁN, C. R.; ROJAS, M. A. P.. Physical and mechanical properties of wood-gypsum composites from demolition material in rehabilitation works. **Revista Construction and Building Materials**, v.114, p.6-14, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.03.137>

PRADE, T.; SVENSSON, S.; ANDERSSON, A.. Biomass And Energy Yield of Industrial Hemp Grown for Biogas and Solid Fuel. **Revista Biomass and Bioenergy**, v.35, n.7, p.3040-3049, 2011. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.biombioe.2011.04.006>

LIÑÁN, C. R.; CONDE, M. J. M.; HITA, P. R.; GALVEZ, F. P.; MANUAL, A. P. R.. The Influence of Natural and Synthetic Fibre Reinforcement on Wood-Gypsum Composites. **Revista The Open Construction and Building Technology**, v.11, p.350-362. DOI: <http://doi.org/10.2174/1874836801711010350>

SAIN, M. M.; PERVAIZ, M.. Carbon Storage Potential in Natural Fiber Composites. **Revista Resources, Conservation and Recycling**, v.39, n.4, p.325-349, 2003. DOI:

[http://doi.org/10.1016/S0921-3449\(02\)00173-8](http://doi.org/10.1016/S0921-3449(02)00173-8)

ZAMPORI, L.; DOTELLI, G.; VERNELLI, V.. Life cycle assessment of hemp cultivation and use of hemp-based

thermal insulator materials in buildings. **Revista Environmental Sciences Technology**, v.47, n.13, p.7413-7420, 2013. DOI: <http://doi.org/10.1021/es401326a>

A CBPC – Companhia Brasileira de Produção Científica (CNPJ: 11.221.422/0001-03) detém os direitos materiais desta publicação. Os direitos referem-se à publicação do trabalho em qualquer parte do mundo, incluindo os direitos às renovações, expansões e disseminações da contribuição, bem como outros direitos subsidiários. Todos os trabalhos publicados eletronicamente poderão posteriormente ser publicados em coletâneas impressas sob coordenação da **Sustenere Publishing**, da Companhia Brasileira de Produção Científica e seus parceiros autorizados. Os (as) autores (as) preservam os direitos autorais, mas não têm permissão para a publicação da contribuição em outro meio, impresso ou digital, em português ou em tradução.