

O USO DA FIBRA DE BAMBU EM COMPÓSITOS

Diegle Barbosa Rufato¹, Sergio Trajano Franco Moreiras²

¹Graduado no Curso de Engenharia Civil, Campus Umuarama/PR, Universidade Estadual de Maringá – UEM. ra67593@uem.br

²Orientador, Doutor, Departamento de Tecnologia, UEM. Professor da Universidade Estadual de Maringá (UEM). strajano@gmail.com

RESUMO

Com aumento da pressão exercida sobre as florestas tropicais, bem como sobre as áreas de reflorestamento, torna-se cada vez mais necessária a busca por materiais renováveis e por soluções alternativas capazes de atenuar em parte esse processo predatório. O bambu pode servir como substituto a madeira pois possui alta taxa de crescimento, prospera em uma ampla gama de climas, suas fibras são mais fortes em comparação com a madeira além de não precisar de fertilizantes e defensivos agrícolas nos quais poluem o meio ambiente. O estudo tem por finalidade o desenvolvimento de um composto de fibra de bambu moído passando na peneira #200 e acetato de polivinila (PVA). Para determinação do traço foram confeccionados corpos de prova com traços de bambu: cola e torques diversos e os melhores resultados foram obtidos com o traço 1: 2,5 com 4kf.m de torque. Confeccionou-se então 5 corpos de prova de compressão e 6 de tração na flexão. Os resultados obtidos demonstraram que uso do resíduo do bambu na confecção de tijolos para uso em alvenaria é uma alternativa promissora e sustentável e possuem boa resistência a compressão e tração.

PALAVRAS-CHAVE: Bambu; Sustentável; Resíduo.

1 INTRODUÇÃO

A madeira é um material resistente e relativamente leve, frequentemente utilizada para fins estruturais e de sustentação de construções. Muito presente em várias etapas das obras da construção civil, pode ser utilizada em formas, estruturas, esquadrias, pisos, forros, revestimentos, mobília e decoração. No entanto há uma forte pressão na extração desse recurso natural que não se encontra disponível em quantidade adequada para atender a demanda.

O bambu tem acompanhado o ser humano, fornecendo alimento, abrigo, ferramentas, utensílios e uma infinidade de outros itens. Considerado uma gramínea, suas raízes permitem que a mesma planta se regenere sem ser destruída, pois ele tem rápido crescimento o que o torna renovável. Por não precisar ser replantado, é um bom substituto para utilização de pinus e eucalipto entre outras árvores, reduzindo os impactos negativos causados por espécies exóticas e desflorestamentos.

Em relação às propriedades estruturais do bambu, Janssen (2000) comentou que se forem consideradas as relações resistência/massa específica e rigidez/massa específica, tais valores superam as madeiras e o concreto, podendo ser tais relações comparáveis, inclusive, ao aço.

Com o crescente desmatamento e o aumento da pressão exercida sobre as florestas tropicais, bem como sobre as áreas de reflorestamento, torna-se cada vez mais necessária a busca por materiais renováveis e por soluções alternativas capazes de atenuar em parte esse processo predatório.

Assim, se faz necessário buscar por materiais alternativos e processos produtivos sustentáveis de baixo custo de fácil aplicabilidade para atender os diversos setores construtivos.

De acordo com Izquierdo (2011) diversas experiências sobre o uso de matrizes à base de cimento reforçado com fibras naturais têm sido realizadas no Brasil para a produção de componentes construtivos, como telhas, painéis de vedação vertical, pias de cozinha entre outros. No mundo há buscas de materiais alternativos como os compósitos de bambu.

O bambu pode servir como substituto a madeira pois possui alta taxa de crescimento, prospera em uma ampla gama de climas, suas fibras são mais fortes em comparação com a madeira além de não precisar de fertilizantes e defensivos agrícolas nos quais poluem o meio ambiente.

Neste contexto, este trabalho utilizou-se da serragem decorrente da trituração do bambu, um material até a pouco sem uso, para a confecção de tijolos prensados. São apresentados resultados desses tijolos prensados bem como as suas propriedades mecânicas e físicas.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 MATERIAL

Neste trabalho foi utilizado o resíduo da espécie de bambu *Bambusa Tuldóides* apresentado na Figura 1, colhido na região rural de Umarama, noroeste do estado do Paraná. É uma espécie entouceirante de colmo reto e cor escura. Os colmos têm altura de aproximadamente 12m e diâmetro de 6cm. Esta espécie é muito utilizada em construções, cercas e tutoramento de culturas.



Figura 1: *Bambusa Tuldóides*
Fonte: Compêndio Online (2021)

O resíduo do material foi obtido da trituração do bambu e se assemelha a serragem. A sua granulometria é a passante na peneira Mesh #200.

2.2 PREPARO DOS CORPOS DE PROVA (CP'S)

2.2.1 Traço do bambu:cola

Realizou-se testes com 5 traços diferentes. Utilizou-se o resíduo passante na peneira Mesh #200 correspondente a 0,074 mm. O material foi misturado com a “cola branca” e levado a uma prensa com um torquímetro (figura 2). Foram confeccionados moldes para testagem do traço da cola (figura 3).



Figura 2: Prensa com torquímetro acoplado
Fonte: Autor (2021)



Figura 3: Moldes para testagem do traço
Fonte: Autor (2021)

A tabela 1 mostra as proporções dos materiais usados para fabricação dos primeiros corpos de prova.

Tabela 1: Teste De Traço Do Bambu (corpo de prova 2x2 cm de seção transversal)

Traço	Torque (kgf.m)	Torque (N.m)	Pó de bambu (g)	Cola (g)	Braço de alavanca (m)	Área corpo de prova (m ²)	Pressão (kN/m ²)	Nível de Agregação
1:1	3	29,4199	4,4	4,40	1	0,0004	73,550	ruim
1:1,5	3	29,4199	4,4	6,60	1	0,0004	73,550	ruim
1:1,5	4	39,2266	4,4	4,88	1	0,0004	98,067	ruim
1:2	4	39,2266	4,4	5,32	1	0,0004	98,067	bom
1:2,5	4	39,2266	4,4	5,12	1	0,0004	98,067	bom
1:3	4	39,2266	4,4	8,80	1	0,0004	98,067	bom

Fonte: Autor (2021)

Para escolha do traço adequado foi realizada uma primeira análise tátil visual que consistia em tatear os corpos de prova e verificar o nível de agregação. Dessa forma verificou-se que os corpos de prova com traço 1:2, 1:2,5 e 1:3 obtiveram melhores resultados.

A segunda análise tátil visual consistia em deixar por algum tempo o corpo de prova imerso em água e observar o nível de degradação de acordo com o tempo. A seguir esperar a secagem completa e tatear para perceber o nível de agregação.

Para este teste utilizou-se os corpos de prova com melhor nível de agregação cujo traços são: 1:2, 1:2,5 e 1:3. Ao fazer a imersão em água obteve-se os resultados expostos na tabela 2.

Tabela 2: Teste da imersão em água

traço	torque (kgf.m)	Tempo de imersão (min)	Nível de agregação
1:2	4	2,5	ruim
1:2,5	4	3,5	bom
1:3	4	3,5	ruim

Fonte: Autor (2021)

Adotou-se o traço 1:2,5 (bambu:cola) e torque de 4 kgf.m para a confecção dos corpos de prova de compressão e tração na flexão.

2.2.2 Confeção dos corpos de prova

Os corpos de prova foram confeccionados por meio de uma mistura da fração fibrosa com o polímero acetato de vinila, conhecida comercialmente como “cola branca”. Avaliou-se o tempo de cura do material, a interação polpa e cola, e serão realizados testes de compressão e flexão.

Para os ensaios de compressão foram confeccionados 5 corpos de prova de 4 x 4 x 3cm da espécie *Bambusa Tuldóides*. O bambu e a cola foram misturados em uma argamassadeira (figura 4) e depois moldados e prensados (figura 5 e 6).



Figura 4: Argamassadeira
Fonte: Autor (2021)



Figura 5: Corpo de prova de compressão
Fonte: Autor (2021)



Figura 6: Prensagem dos corpos de prova
Fonte: Autor (2021)

A quantidade de material utilizado para confecção dos corpos de prova de compressão e a pressão exercida são demonstrados na tabela 3.

Tabela 3: Dados dos corpos de prova de compressão (4x4 cm de seção transversal)

corpos de prova por forma	Traço	Torque (kgf.m)	Torque (N.m)	Pó de bambu (g)	Cola (g)	Braço de alavanca (m)	Área total (m ²)	Pressão (kN/m ²)
5	1:2,5	4	39,2266	123,25	308,125	1	0,008	4,903

Fonte: Autor (2021)

Para o ensaio de tração na flexão foram confeccionados 6 corpos de prova de 12 x 4 x 2,3 cm (comprimento x largura x espessura) da espécie *Bambusa Tuldoídes*, prensados com torque de 4kgf.m e traço de 1:2,5 de cola. O bambu e a cola no traço 1:2,5 foram misturados em uma argamassadeira (figura 4) e depois moldados e prensados com torque de 4kgf.m (figura 7 e 6).

A quantidade de material utilizado na confecção dos corpos de prova de flexão e a pressão exercida são demonstrados a tabela 4.

Tabela 4: Dados dos corpos de prova de flexão (12x4 cm de seção transversal)

corpos de prova por forma	Traço	Torque (kgf.m)	Torque (N.m)	Pó de bambu (g)	Cola (g)	Braço de alavanca (m)	Área total (m ²)	Pressão (kN/m ²)
3	1:2,5	4	39,2266	166,47	416,175	1	0,0144	2,724
3	1:2,5	4	39,2266	166,47	416,175	1	0,0144	2,724

Fonte: Autor (2021)



Figura 7: Corpo de prova de tração na flexão

Fonte: Autor (2021)

2.3 ENSAIO MECÂNICO DO CORPO DE PROVA

2.3.1 Compressão

Após a secagem por 20 dias os 5 corpos de prova de 4 x 4 x 3cm foram colocados na prensa do Laboratório de materiais da UEM e submetidos para o sentido normal da fibra a uma taxa de carregamento de 10 Mpa/min até a ruptura (NBR 7190).

O objetivo deste ensaio é a determinação da curva tensão x deformação. A partir dos resultados determina-se a tensão de ruptura, o módulo de elasticidade na compressão (E) sendo que este é determinado no trecho elástico. A tensão de compressão é determinada pela seguinte expressão (Equação 1):

$$\sigma_c = \frac{F}{A} \quad (1)$$

Onde σ_c é a resistência a compressão, em megapascals, F é a máxima força de compressão aplicada durante o ensaio, em newtons e A é a área inicial da seção transversal comprimida, em metros quadrados.

O módulo de elasticidade é determinado pela seguinte expressão (Equação 2):

$$E = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon} \quad (2)$$

Em que E é o módulo de elasticidade, $\Delta\sigma$ são as tensões de compressão e $\Delta\varepsilon$ são as deformações.

A deformação é determinada pela seguinte expressão (Equação 3):

$$\varepsilon = \frac{\delta}{h} \quad (3)$$

Onde ε é o módulo de elasticidade, δ é o encurtamento e h é a altura do corpo de prova.

2.3.2 Tração na flexão

Após a secagem por 20 dias, os 6 corpos de prova de 12 x 4 x 2,3 cm foram submetidos ao ensaio. O ensaio consiste em aplicar uma força no centro do corpo de prova apoiado nas extremidades por um rolete fixo e outro móvel.

Com o ensaio é possível traçar a curva de tensão x deformação, e com os resultados serão determinadas a tensão de ruptura e módulo de elasticidade. A tensão é determinada pela expressão a seguir (Equação 4):

$$\sigma_{tf} = \frac{3Fl}{2bh^2} \quad (4)$$

Onde σ_{tf} é tensão em pascals, F = força normal aplicada, em newton, l é o vão dos apoios, 0,072m, b = base do corpo de prova, em m e h é altura do corpo de prova, em m.

O módulo de elasticidade é determinado pela seguinte expressão (Equação 5):

$$E = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon} \quad (5)$$

Onde E é o módulo de elasticidade, $\Delta\sigma$ são as tensões de compressão e $\Delta\varepsilon$ são as deformações.

A deformação é dada pela seguinte expressão (Equação 6):

$$\varepsilon = \frac{12\delta_v h}{L^2} \quad (6)$$

Onde ε é a deformação, δ_v é o deslocamento vertical, h é a altura do corpo de prova.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 ENSAIO DE COMPRESSÃO NORMAL AS FIBRAS

Os 5 corpos de prova de 4 x 4 x 3 cm (figura 8 e 9) foram submetidos a ensaio mecânico de compressão na máquina de ensaio modelo Emic DL 30000 (Figura 10). O ensaio de compressão realizado foi no sentido normal as fibras que coincide com o mesmo sentido de prensagem do material na confecção dos corpos de prova.



Figura 8: Corpo de prova de compressão prontos para o ensaio
Fonte: Autor (2021)



Figura 9: Corpo de prova submetido a compressão
Fonte: Autor (2021)



Figura 10: Máquina de Ensaio Emic DL
Fonte: Autor (2021)

Os resultados do ensaio estão expostos nos Gráficos 1 e 2. O Gráfico 1 demonstra a relação força x deformação e o Gráfico 2 demonstra a relação tensão x deformação ambos até a ruptura do corpo de prova. As tensões de ruptura dos corpos de prova do 1 ao 5

obtidas são respectivamente: 4,52 MPa, 5,18 MPa, 5,92 MPa, 4,49 MPa e 4,52 MPa. A tensão de ruptura médio na compressão normal as fibras é de 4,93 MPa. Nota-se que o diagrama tensão x deformação é muito semelhante ao da madeira.

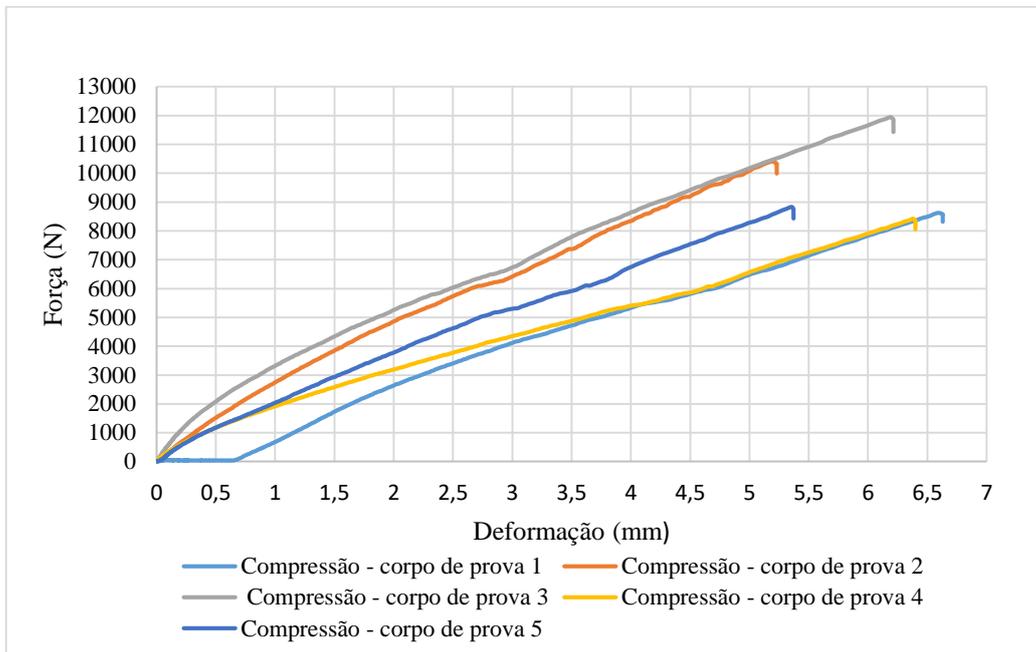


Gráfico 1: Diagrama Força x Deformação
Fonte: Autor (2021)

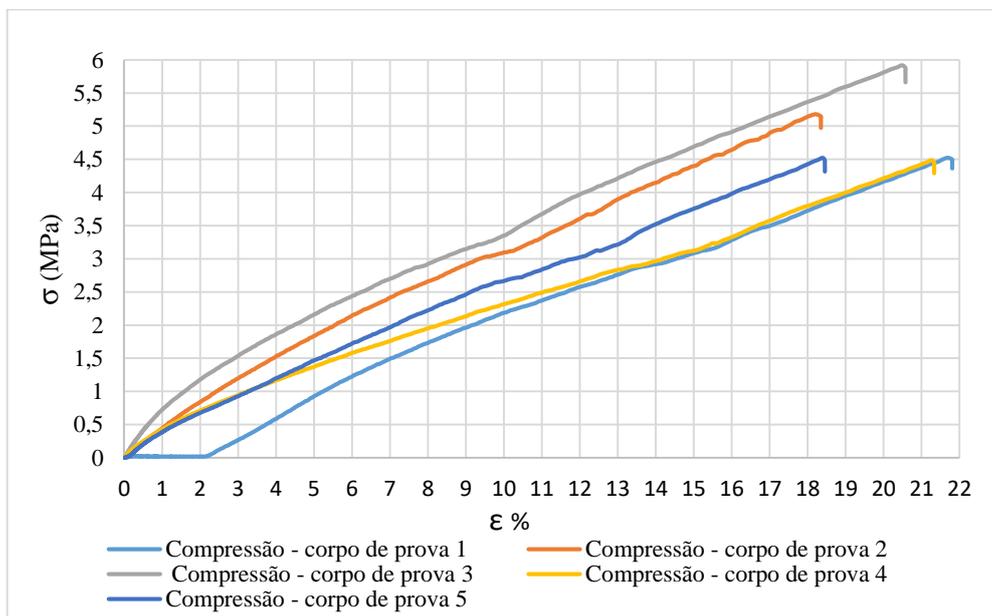


Gráfico 2: Diagrama Tensão x Deformação Específica
Fonte: Autor (2021)

Os módulos de elasticidade para compressão normal as fibras obtidas para os corpos de prova do 1 ao 5 são respectivamente: 26,50 MPa, 31,62 MPa, 31,28 MPa, 21,1 MPa e 26,0 MPa. O módulo de elasticidade médio na compressão normal às fibras é de 27,3 MPa. Os módulos foram obtidos pela diferença das tensões de 50% e 10% da tensão de ruptura dividido pela diferença das respectivas deformações específicas destas tensões. De acordo com os resultados obtidos percebe-se que o material possui baixa rigidez e alta elasticidade quando comparado ao aço.

3.2 ENSAIO DE TRAÇÃO NA FLEXÃO

Os 6 corpos de prova de 12 x 4 x 2,3 cm (figura 11) foram submetidos a ensaio mecânico de flexão na máquina de ensaio modelo Emic DL 30000 (Figura 10). Para a realização do ensaio houve a necessidade de se utilizar um aparato na base do corpo de prova (Figura 12). O cutelo de aplicação de carga para o ensaio de flexão estava posicionado no sentido normal as fibras do corpo de prova que coincide com o mesmo sentido de prensagem do material na confecção dos corpos de prova.



Figura 11: Corpos de prova de flexão prontos para o ensaio
Fonte: Autor (2021)



Figura 12: Detalhe do aparato na base do corpo de prova no ensaio de flexão
Fonte: Autor (2021)

Os resultados do ensaio estão expostos nos Gráficos 3 e 4. O Gráfico 3 demonstra a relação força x deformação e o Gráfico 4 demonstra a relação tensão x deformação ambos até a ruptura do corpo de prova. As tensões de tração na flexão de ruptura dos corpos de prova do 1 ao 6 obtidas são respectivamente: 9,17 MPa, 7,04 MPa, 8,65 MPa, 8,37 MPa, 9,18 MPa e 7,70 MPa. A tensão de tração na flexão de ruptura média dos corpos é de 8,35 MPa.

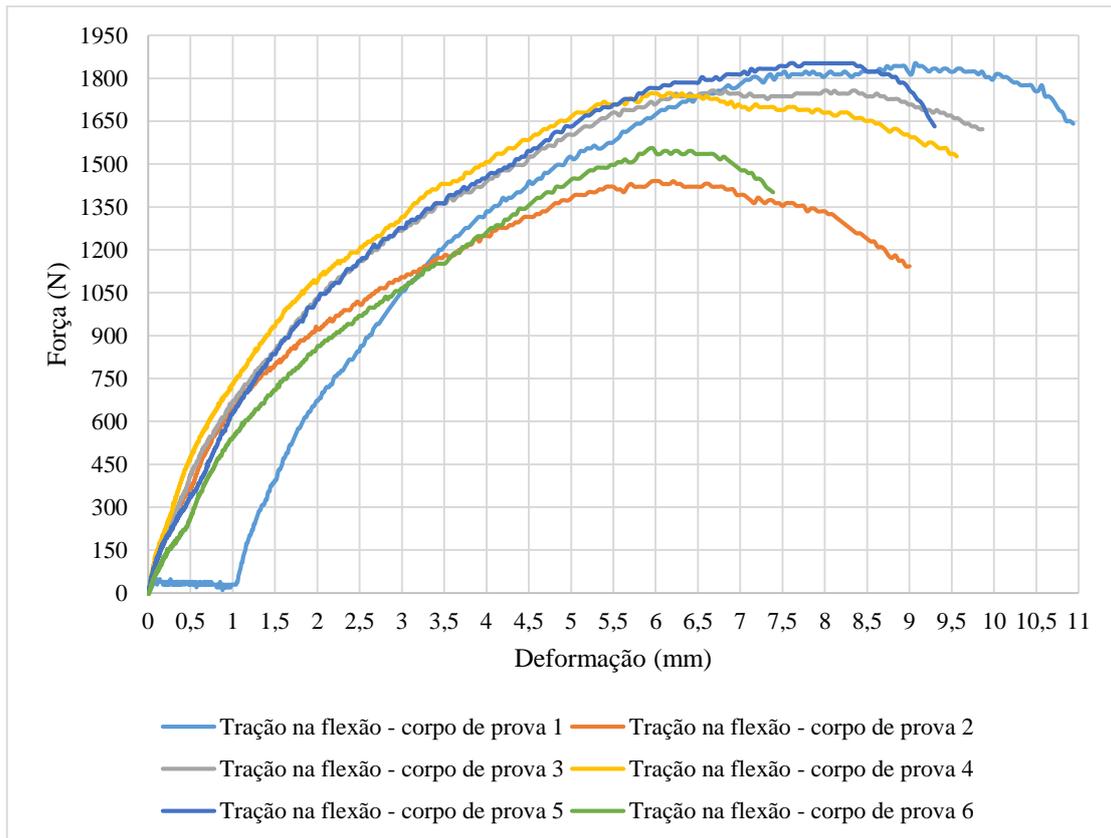


Gráfico 3: Diagrama Força x Deformação
Fonte: Autor (2021)

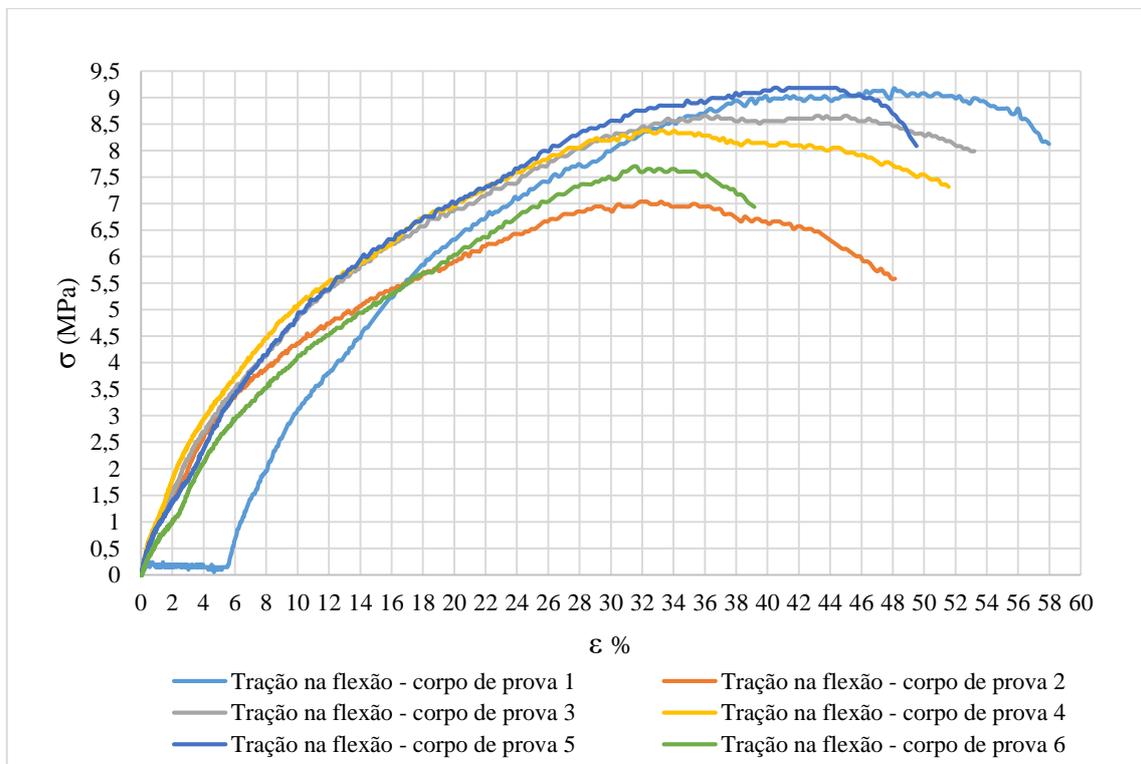


Gráfico 4: Diagrama Tensão x Deformação Específica
Fonte: Autor (2021)

Os módulos de elasticidade para o ensaio de tração na flexão obtidas para os corpos de prova do 1 ao 6 são respectivamente: 46,61 MPa, 47,80 MPa, 45,70 MPa, 51,89 MPa,

45,69 MPa e 47,97 MPa. O módulo de elasticidade na flexão médio é de 47,61 MPa. Os módulos foram obtidos pela diferença das tensões de 50% e 10% da tensão de ruptura dividido pela diferença das respectivas deformações específicas destas tensões.

Os resultados obtidos dos módulos de elasticidade deste ensaio são superiores aos do ensaio de compressão normal às fibras. Apesar de serem ensaios distintos, no ensaio flexão a tensão está na direção paralela às fibras do corpo de prova o que demonstra maior rigidez do material neste sentido.

4 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos são promissores e demonstram que o material pode ser utilizado como tijolos de vedação. O material apresentou bom acabamento superficial e fácil manuseio.

Quanto a resistência mecânica a compressão o material apresentou resistência de ruptura médio de 4,93 MPa e a resistência de ruptura médio na flexão de 8,35 MPa. Estes valores de resistência podem ser melhorados com o incremento de outros materiais.

Observou-se também a baixa resistência do material a água. O bambu possui natureza higroscópica e o adesivo utilizado é solúvel em água. Uma alternativa a ser pensada é a inserção de materiais que possuam resistência a água como parafina e substituir a “cola branca” (PVA) por adesivos resistentes a água.

Contudo o material possui boas características para o emprego em tijolos de vedação internas protegidos do intemperismo, é renovável e sustentável e de fácil obtenção e manipulação. É uma alternativa sustentável viável na fabricação de componentes construtivos.

REFERÊNCIAS

SANTOS, G. F. S. **Design Participativo para a Sustentabilidade**: desenvolvimento de painéis modulares para fechamentos, utilizando bambu associado com terra e resíduos. Dissertação de mestrado em Design, Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2016.

BRITO, F. M. S. **Produção e avaliação da qualidade de painéis aglomerados constituídos por partículas de bagaço de cana-de-açúcar e bambu**. Dissertação de Doutorado em Ciências. Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2018.

MELO, R. R. *et al.* **Propriedades físico-mecânicas de painéis aglomerados madeira-bambu**. Ciência Rural, v. 45, n.1, jan, 2015.

TEIXEIRA, A. A. **Painéis de bambu para habitações econômicas**: avaliação do desempenho de painéis revestidos com argamassa. Dissertação de mestrado em Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, DF, 149p, 2006.

MISKALO, E. P. **Avaliação do potencial de utilização de bambu (*Dendrocalamus giganteus*) na produção de painéis de partículas orientadas**. Tese de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Engenharia Química, UTFPR. Curitiba, 2009.

AZAMBUJA, M. A.; KAWAKAMI, C. A. F. Painéis em bambu para habitação social. **Revista Nacional de Gerenciamento de cidade**, v. 3, n. 20, 2015, pp. 153-168.

DALL'IGNA, C. **Protótipos de painéis MDP de bambu e resíduo madeireiro**. Trabalho de Conclusão de Curso, UFSC. Curitibanos, SC, 2015.

IZQUIERDO, S. I. **Uso de fibra natural de sisal em blocos de concreto para alvenaria estrutural**. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Estruturas, USP. São Carlos, 2011.

LOPES, Gerson. Bambusa Tuldoides Munro. **Compêndio online**, 2012. Disponível em: <https://sites.unicentro.br/wp/manejoflorestal/bambusa-tuldoides/#:~:text=Descri%C3%A7%C3%A3o%3A%20esp%C3%A9cie%20entouceirante%20cujo%20colmo,moitas%20e%20n%C3%A3o%20se%20alastra>. Acesso em: 14 abril 2021.

FILGUEIRAS, T.; GONÇALVES, A. P. S. A checklist of the basal grasses and bamboos in Brazil (Poaceae). **Bamboo Science and Culture: The Journal of the American Bamboo Society**, v.18, n.1, 2004.

JANSSEN, J. J. **Designing and Building with bamboo**. INTERNATIONAL NETWORK OF BAMBOO AND RATTAN – INBAR. Beijing, China. Technical report n. 20, 207p. 2000.

PEREIRA, M. A. R.; BERALDO, A. L. **Bambu de corpo e alma**. Bauru, SP. Editora Canal 6, 2016. 352 p.;

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