

Projeto de molde em madeira com reforços em aço para produção de espumas rígidas

Wooden mold design with steel reinforcements for the production of rigid foams

RESUMO

Guilherme Pereira Bacil
gbacil@alunos.utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procópio, Paraná, Brasil

Romeu Rony Cavalcante da Costa
romeu@utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procópio, Paraná, Brasil

Moiseis Kaluã Oliveira Lima
moiseiskalu@gmail.com
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procópio, Paraná, Brasil

Julia Camargos Ferreira de Aguiar
juliacfaguair18@gmail.com
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procópio, Paraná, Brasil

Ana Paula de Moura Nardi
apdemoura@gmail.com
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procópio, Paraná, Brasil

Recebido: 19 ago. 2020.

Aprovado: 01 out. 2020.

Direito autoral: Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.

Este trabalho teve como objetivo projetar um molde em madeira com reforços em aço para realizar a produção de placas de espuma rígida de poliuretano (PUF). O projeto foi pensado em fatores econômicos, ergonômicos, manutenção e principalmente em sua montagem e desmontagem durante a fabricação do material compósito. Utilizando o software SOLIDWORKS, foi modelado um protótipo em 3D para melhor visualização. Tal molde possuirá uma parte fixa e uma parte móvel, a qual poderá ser retirada da base para que a espuma ainda líquida seja depositada. Devido a pressão originada pela expansão da espuma, analisou-se através de elementos finitos o comportamento mecânico da estrutura do molde, o qual se mostrou satisfatório para as pressões internas de 0,5 e 1,0 MPa.

PALAVRAS-CHAVE: Molde. Compósito. Projeto.

ABSTRACT

This work aimed to design a wooden mold with steel reinforcements to produce rigid polyurethane foam (PUF) sheets. The project was thought about economic, ergonomic, maintenance factors and mainly in its assembly and disassembly during the manufacture of the composite material. Using the SOLIDWORKS software, a 3D prototype was modeled for better visualization. Such mold will have a fixed part and a movable part, which can be removed from the base so that the still liquid foam is deposited. Due to the pressure caused by the foam expansion, the mechanical behavior of the mold structure was analyzed using finite elements, which proved to be satisfactory for the internal pressures of 0.5 and 1.0 MPa.

KEYWORDS: Mold. Composite. Project.



INTRODUÇÃO

Espumas de poliuretano (PU) tem sido o título de pesquisa de diversos pesquisadores devido suas numerosas aplicações. A capacidade de se combinar inúmeras fibras vegetais é uma das vantagens de sua utilização, visto que, com tal combinação é formado compósitos com características e propriedades melhoradas (DE PAULA, 2017). Tais compósitos poliméricos quando sofrem adição de retardantes de chamas (ex. hidróxido de alumínio), podem evitar a propagação de chamas, proporcionando ao material, propriedades para aplicações seletivas nos ramos automobilísticos, aeroespacial, construção civil entre outros.

Há vários trabalhos publicados com polímeros com adição de retardantes de chamas, dentre esses há alguns que mostram que a síntese dessas espumas para a produção de painéis de espuma rígida de PU derivada de óleos vegetais e dopados com hidróxido de alumínio suprem algumas das necessidades básicas como resistência, alta capacidade de isolamento térmico e acústico e baixa inflamabilidade (DA SILVA et al, 2019) para serem aplicados dentro da construção civil.

A fabricação desse molde é de extrema relevância dentro de pesquisas na área de materiais para a construção civil, uma vez que a para a produção das placas de poliuretano é importante manter uma padronização na densidade, geometria e distribuição de reforço, os quais são necessários para realização dos ensaios mecânicos e análise com melhor precisão a eficácia das mesmas.

Seguindo a tendência desses trabalhos anteriormente, esse trabalho teve como objetivo: desenhar, dimensionar e desenvolver (selecionar os materiais e ferramentas para a produção do molde) moldes em madeira para produção de placas de espumas de PU rígidas reforçados com fibras naturais para serem aplicados como divisórias de escritório, portas e portas de emergência na área de engenharia civil, com dimensões de 2000mm X 1200mm X 30mm.

MATERIAS E MÉTODOS

Como as dimensões requeridas das placas de espuma rígidas são consideravelmente grandes, inicialmente foram definidos os requisitos de projeto e estão listados abaixo:

- a) Possuir fácil manutenção;
- b) Possuir fácil manuseio, com a menor quantidade de pessoas envolvidas;
- c) Estrutura robusta para modelar variações de espumas rígidas;
- d) Alta duração.

Considerando os requisitos de projeto, foram analisados os possíveis materiais a serem utilizados no molde. Primeiramente cogitou-se a utilização de aço para construir o molde em sua totalidade, devido à alta pressão exercida pelo material durante sua expansão. Contudo, devido a densidade do aço ($7,8 \text{ g/cm}^3$) e as dimensões do molde, o mesmo ficaria com uma massa aproximada de 2453Kg, tornando sua movimentação complicada e descumprindo um dos principais requisitos de projeto.

Em seguida cogitou-se a mescla da madeira com o aço, utilizando a madeira como molde e o aço como reforço estrutural. Dessa maneira o molde ficaria com 194Kg de acordo com a Figura 1.

Figura 1 – Projeto do molde para espumas rígidas de poliuretano



Fonte: Autoria própria (2019).

Como o material a ser fabricado tem requisitos dimensionais específicos, o molde deve ser capaz de conferir as dimensões corretas cumprindo esses requisitos, e para isso o molde teve seus reforços em aço devidamente dimensionados e calculados. Para que durante a expansão da espuma não ocorram deformações e conseqüente perda da precisão dimensional, outros detalhes podem ser vistos na Figura 2.

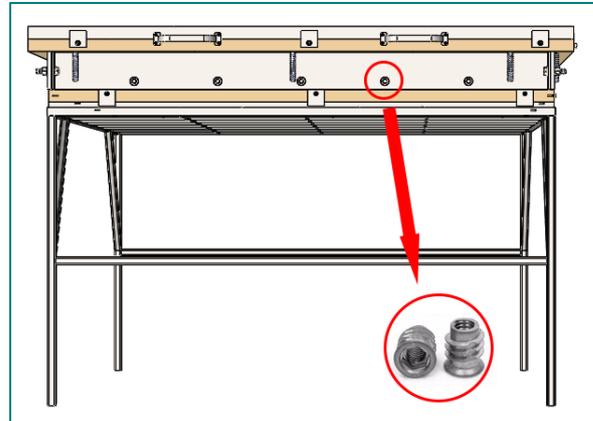
Figura 2 – Vistas laterais do molde. A figura 2a mostra a vista frontal do protótipo, enquanto a figura 2b mostra a vista lateral



Fonte: Autoria própria (2019).

A escolha da madeira utilizada levou em consideração a densidade da mesma para a redução de peso do molde. Utilizando esse critério a madeira escolhida foi a *Pinus spp.* que tem densidade aproximada de 0,419 g/cm³ (EMBRAPA, 2019). Para que o princípio de mobilidade do molde fosse mantido e sem causar danos no protótipo, foram empregadas buchas americanas nas laterais do molde (Figura 3), as quais fixam o reforço em aço na madeira, para que assim possa ser realizada tanto a desmontagem quanto montagem do molde sem que a madeira seja danificada.

Figura 3 – Emprego das buchas americanas no molde



Fonte: Autoria própria (2019).

Tal protótipo deve ser manuseado por mais de uma pessoa devido suas proporções, e devido a rápida expansão da espuma, o fechamento do molde deve ser rápido e total para que não haja vazamentos. A parte móvel do suporte (veja Figura 4) possui furos guias para que seja encaixado em barras roscadas e seu fechamento seja completo.

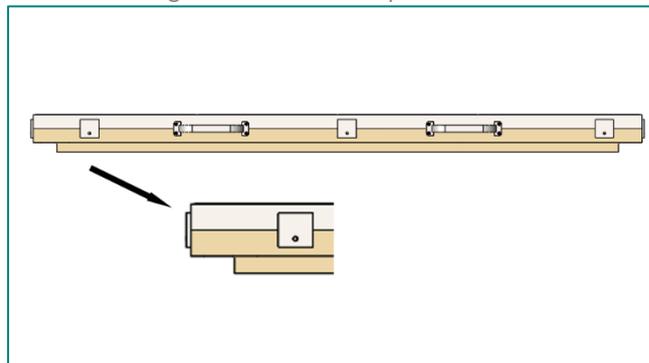
Figura 4 – Vista do molde aberto



Fonte: Autoria própria (2019).

O molde foi projetado para que a espessura do material fosse atingida de acordo com os requisitos citados anteriormente. Com isso foi elaborado um rebaixo (Figura 5) na parte móvel que provoca o espaço correto entre a parte móvel e a parte fixa, e também para que a ocorra-se o devido fechamento do molde.

Figura 5 – Rebaixo na parte móvel



Fonte: Autoria própria (2019).

Para a fabricação do molde, será necessária a compra dos seguintes materiais (tabela 1). Levando em consideração os padrões industriais de venda dos materiais, não é possível comprar apenas a quantidade exata para a construção do molde e, por isso, a Tabela 1 foi construída com os padrões reais de compra.

Tabela 1 – Materiais a serem utilizados

Item	Dimensão	Quantidade
Chapa de Aço Lateral	6800 x 90 x 5 mm	1
Chapa de Aço para furo	1200 x 40 x 5 mm	1
Treliça	6000 x 30 x 5 mm	4
Tampo de Madeira	2100 x 1300 x 30 mm	1
Encaixe do tampo de madeira	2000 x 1200 x 20 mm	1
Madeira base	2000 x 1200 x 40 mm	1
Encaixe base de madeira	2010 x 1210 x 30 mm	1

Fonte: Autoria própria (2019).

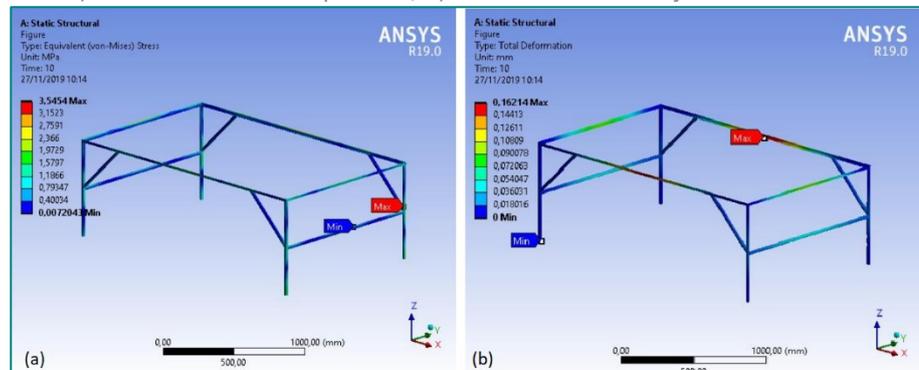
Após o projeto do protótipo o mesmo foi colocado em um software de simulação por elementos finitos, software ANSYS®, para analisar o comportamento mecânico do suporte conforme a ação da força peso do molde sobre a estrutura. E através do software ABAQUS® para a análise da pressão interna provocada pela expansão da espuma rígida. A estrutura foi simulada como um vaso de pressão, utilizando o elemento do tipo C3D10. O mesmo foi aproximado para um modelo isotrópico elástico e foram aplicadas as pressões de 0,5MPa e 1,0MPa.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com a simulação computacional pode-se analisar as tensões aplicadas e a deformação total na estrutura que suporta o molde. O valor de 3,54MPa é a máxima tensão resultante na estrutura do suporte, o qual o ponto onde acontece a maior tensão é onde acontece as soldas do braço de apoio, o qual é compreendido pois ali há concentradores de tensão. Já para a deformação

máxima, está localizada na lateral maior da estrutura, pois nesse local pode ocorrer a flecha máxima em virtude do peso do molde na estrutura, a qual é de 0,16mm o que não implica em problemas para o desempenho do molde.

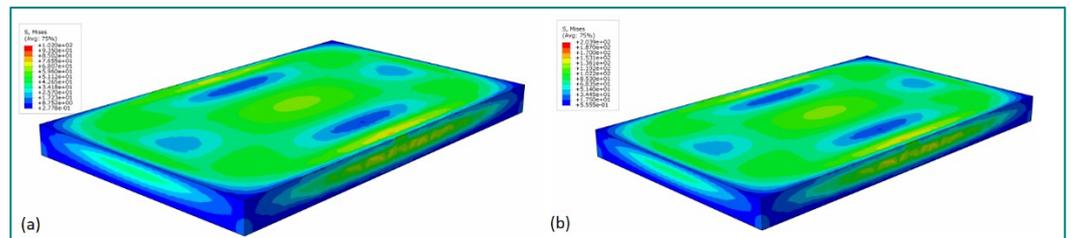
Figura 6 – a) análise das tensões aplicadas; b) análise das deformações totais.



Fonte: Autoria própria (2019).

Adotando a pressão interna no molde de 1MPa, como se fosse a pressão promovida pela expansão da espuma rígida, foi possível visualizar e analisar que a pressão interna causada por essa aproximação não afetaria a integridade do molde, pois para a máxima pressão aplicada (1MPa), a tensão aplicada de 136 MPa na estrutura da madeira não irá deformar a mesma, visto que seu módulo de elasticidade é de 6463MPa, e como ainda há o reforço da treliça para ajudar contra a deformação, Figura 7.

Figura 7 – a) análise com pressão de 0,5MPa; b) análise com pressão 1,0MPa.



Fonte: Autoria própria (2020).

CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos pela revisão bibliográfica e pelo trabalho desenvolvido para a produção do protótipo, o resultado se mostra promissor. Necessitando apenas de alguns ajustes em relação ao modo de fechamento, estando ele pronto para a fabricação. Inicialmente o projeto de pesquisa incluía a fabricação e o teste do molde. Contudo, devido a pandemia do COVID-19, o trabalho não pode ser concluído integralmente. A pesquisa foi importante no âmbito do estudo de materiais compósitos visto que na maioria dos casos é necessário o uso de um molde para a fabricação do material. E apesar de não ser fabricado, o projeto do molde mostrou ser eficiente para a fabricação e estudo de novos materiais compósitos, sendo resistente, de fácil manuseio e manutenção.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a KEHL® Indústria e Comércio LTDA - ME e a RAW® pelo fornecimento de materiais para o desenvolvimento deste projeto, aos colegas do Laboratório de Materiais Compósitos pela ajuda prestada, ao meu orientador e a Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) por todo suporte.

REFERÊNCIAS

NUNES, S. A. **Retardantes de chama halogenados e não halogenados aplicados em poliofelinas**. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/94181/277910.pdf?sequence=1>. Acesso em: 10 jul. 2020.

YUAN, J.; SHI, S.Q. Effect of the addition of wood flours on the properties of rigid polyurethane foam. **Jornal of Applied Polymer Science**, v.144, n. 5, p. 2902-2909, set. 2009. Disponível em <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/ie0600994>. Acesso em: 15 out. 2019.

ABAQUS/CAE User's Manual. **ABAQUS Version 6.14 - Documentation**. © Dassault Systemes. Disponível em: <http://ivtabagusdoc.ivt.ntnu.no:2080/v6.14/books/usb/default.htm>. Acesso em: 10 jan. 2020

HIPOLITO, I.S.; HIPOLITO, R.S.; LOPES, G.A. **Polímeros na construção civil**. SEGET - Simpósio de excelência em gestão e tecnologia, Rio de Janeiro, 2013.

CARDOSO, G.T. **Caracterização da espuma rígida de poliuretano (PU) derivada de óleo de mamona (*Ricinus communis*) para isolamento térmico na construção civil**. Dissertação (Mestrado em Inter unidades ciência e engenharia dos materiais). Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

HIBBELER, R.C. **Resistência do Materiais**. 7 ed. São Paulo: Pearson, 2008.

NBR 11711. **Portas e vedadores corta-fogo com núcleo de madeira para isolamento de riscos em ambientes comerciais e industriais**. Rio de Janeiro: ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2003.

NBR 11742. **Porta corta-fogo para saída de emergência**. Rio de Janeiro: ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2003.

DE PAULA, C.R.P. **Caracterização de compósitos de poliuretano de óleo vegetal com madeira de pinus taeda e fibras de agave sisalana.** 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica e de Materiais) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2017.

DA SILVA, E.H.P.; ALMENDRO, E.B.; DA SILVA, A.A.X; WALDOW, G.; SALES, F.C.P.; MOURA, A.P.; COSTA, R.R.C. **Manufacture and Mechanical Behavior of Green Polymeric Composite Reinforced with Hydrated Cotton Fiber.** *Journal of Experimental Techniques and Instrumentation (JETI)*, v.2, n.1, 26-34, 2019.

SILVA, A. A. X. **Comportamento mecânico e de inflamabilidade do compósito de poliuretano derivada de óleos vegetais (PU) reforçado com fibra de algodão e alumina tri-hidratada.** 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procópio, 2018.

MOREIRA, T.M.; SEO, E.S.M. **Preparation and characterization of corn reinforced polymer sheet of fibers.** *Revista Matéria*, 21, p.1054 – 1068, 2016.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Densidade básica da madeira de espécies de Pinus tropicais determinada através de métodos não-destrutivos.** Disponível em: [https://www.embrapa.br/busca-de-solucoes-tecnologicas/-/produto-servico/3316/densidade-basica-da-madeira-de-especies-de-pinus-tropicais-determinada-atraves-de-metodos-nao-destrutivos#:~:text=caribaea%20var%20bahamensis%20e%20P,0%2C419%20g%2Fcm3%20\(P\)](https://www.embrapa.br/busca-de-solucoes-tecnologicas/-/produto-servico/3316/densidade-basica-da-madeira-de-especies-de-pinus-tropicais-determinada-atraves-de-metodos-nao-destrutivos#:~:text=caribaea%20var%20bahamensis%20e%20P,0%2C419%20g%2Fcm3%20(P).). Acesso em: 22 out. 2019.