

Uso de resíduos de MDF no desenvolvimento de compósitos com estrutura sanduíche com espumas de poliuretano

Use of MDF waste in the development of sandwich composites with polyurethane foams

Marina Kauling de Almeida¹ , Fabricio Bauer Perez¹, Gabriel Homem Alexandrino¹,
Lara Vasconcellos Ponsoni¹ , Matheus Vinicius Gregory Zimmermann¹ 

¹Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC), Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais (PPGCEM). Av. Universitária, 1105, Universitário, Criciúma, SC, Brasil.

e-mail: marinakauling.a@gmail.com; fabricio.peresbauer@gmail.com; gabriel_hoal@hotmail.com; ponsonilara@gmail.com; matheus.vgz@unesc.net

RESUMO

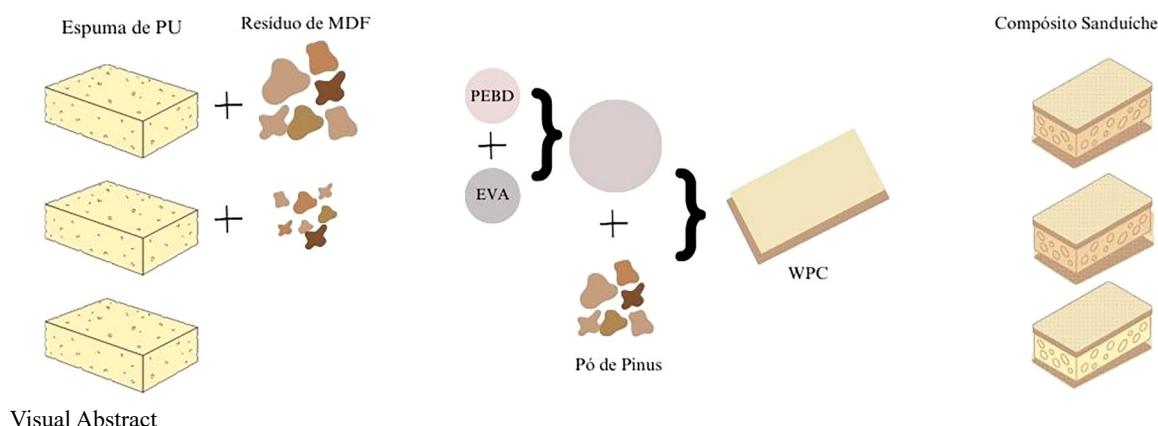
Neste trabalho foram utilizados resíduos de *Medium Density Fiberboard* (MDF) e madeira como cargas de reforço em compósitos de estrutura sanduíche. O MDF foi utilizado em diferentes proporções em espumas rígidas de poliuretano (PU) bem como em diferentes granulometrias; as placas externas foram produzidas com um compósito de polietileno de baixa densidade (PEBD) e copolímero de etileno acetato de vinila (EVA) (80:20) reforçadas com pó de madeira *Pinus elliottii* (20%). As espumas foram avaliadas quanto a resistência à compressão, densidade e morfologia. Já os compósitos com estrutura sanduíche foram avaliados quanto a resistência à flexão e isolamento térmico. Observou-se aumento na densidade das espumas com aumento do teor de cargas e redução de até 0,05 MPa na resistência à compressão quando adicionado cargas de MDF. A inserção de cargas nas espumas de PU gera colapso das células, levando a maior contração da espuma durante o processo de expansão. Nas análises realizadas no compósito com estrutura sanduíche, observou-se uma variação na resistência a flexão, com resistências superiores à espuma de PU puro para os compósitos com o núcleo de PU10A e PU10B, e valores de resistência menores nas demais amostras com carga.

Palavras-chave: Compósito sanduíche; Espumas de poliuretano; Resíduo de MDF.

ABSTRACT

In this work, waste Medium Density Fiberboard (MDF) and wood were used as reinforcing fillers in sandwich composites. MDF powder was used in different proportions in rigid polyurethane (PU) foams as well as in different grain sizes; the outer boards were produced with a composite of low-density polyethylene (LDPE) and ethylene vinyl acetate copolymer (EVA) (80:20) reinforced with *Pinus elliottii* wood powder (20%). The foams were assessed for compressive strength, density and morphology. The composites with a sandwich structure were evaluated for flexural strength and thermal insulation. An increase in the density of the foams was observed with an increase in the content and a reduction of up to 0.05 MPa in compressive strength when MDF fillers were added. The insertion of fillers in PU foams causes the cells to collapse, leading to greater contraction of the foam during the expansion process. In the analyses carried out on the composite with a sandwich structure, a variation in flexural strength was observed, with higher strengths at pure PU foam compared to the composites with the PU10A and PU10B core, and lower strength values in the other loaded samples.

Keywords: Sandwich composite; Polyurethane foams; MDF residue.



Visual Abstract

1. INTRODUÇÃO

Um dos problemas enfrentados pela humanidade atualmente é a alta geração de resíduos e seu gerenciamento, tanto que no ano de 2010 foi instituída a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) que trata de uma lei (Lei nº12.305/10) que visa organizar como o país lida com os rejeitos/resíduos gerados, tanto no setor público como no privado [1]. A quantidade de resíduos industriais produzidos por diferentes segmentos, como a indústria moveleira e de construção civil, as quais possuem a madeira como um dos seus resíduos, cresce diariamente e gera preocupação no cenário ambiental. [2]. Somente na produção de painéis derivados de madeira, como MDF (*Medium Density Fiberboard*) e HDF (*High Density Panels*), 416 milhões de metros cúbicos foram produzidos em um ano na indústria moveleira mundial [3]. Segundo a norma NBR 10.004/2004 da ABNT [4] que define e classifica os resíduos sólidos, o MDF é classificado como Classe I – Perigoso, devido as resinas sintéticas e possíveis tratamentos utilizados. Dessa forma, a destinação correta seria em centros de resíduos industriais e incinerações controladas para geração de energia ou fabricação de novos aglomerados [5].

Na literatura há pesquisas sobre possíveis aplicações de resíduo de MDF, a mais estudada seria para geração de energia em fornos. Além dessa aplicação, há estudos sobre o uso de resíduo de MDF como reforço ou cargas em matrizes cerâmicas e poliméricas [6, 7]. Grande parte dos estudos disponíveis estão ligados a caracterização mecânica de compósitos madeira-plástico (*wood plastic composites* – WPCs). CHAHARNAHALI *et al.* [8], adicionaram resíduos de painéis de MDF e de painéis de aglomerados de partículas de fibra natural, oriundos da mistura de serragem e pó, ao polietileno de alta densidade (PEAD), formando compósitos, que foram caracterizados e comparados com os painéis de MDF, os quais apresentaram superiores propriedades mecânicas quando em forma de compósitos. Em estudo mais recente, ATAY e TÜRKMEN [9], produziram compósitos com resíduos de MDF e matriz de polipropileno (PP) e compararam as propriedades mecânicas do compósito com o PP puro, ao final do estudo concluíram que as amostras com adição de resíduo de MDF resultaram nos superiores valores de resistência à tração (42,41 MPa) e resistência à flexão (63,18 MPa) quando comparados com o PP puro (38,16 MPa de resistência à tração e 52,23 MPa de resistência à flexão).

Compósitos com estrutura sanduíche são geralmente constituídos por duas faces finas e rígidas que são ligadas a um núcleo com baixa densidade. As partes externas são em grande parte feitas de um material sólido estrutural, com maior resistência e rigidez, enquanto o núcleo pode ser composto por uma espuma celular ou estruturas do tipo *honeycomb*, com características de baixa a média rigidez e resistência, menor densidade e, em alguns casos, menor custo. As faces externas são responsáveis pelas cargas de flexão enquanto o núcleo fornece capacidade de cisalhamento e integridade da estrutura [10]. Os compósitos com estrutura sanduíche são produtos multicamadas resultantes da união de materiais com propriedades distintas. Esses materiais têm sido aplicados em variadas indústrias, como aeronáutica, marinha, automotiva e de painéis isolantes. No entanto, sua utilização está sendo expandida para diversas áreas, podendo ser utilizada na estrutura e isolamento de caminhões frigoríficos, fabricação de pranchas de surf e na construção civil, em elementos como paredes divisórias, forros e coberturas [11].

Entre os núcleos utilizados na produção de compósitos com estrutura sanduíche, destacam-se as espumas de poliuretano (PU), devido as suas propriedades passíveis de adaptação. As espumas de PU podem possuir diferentes composições, propriedades e densidades, a depender da sua composição. São produzidas pela interação entre poliois e poliisocianatos por meio da polimerização por adição com outros aditivos, podendo desta

maneira alterar suas características e propriedades, gerando espumas rígidas, semirrígidas ou flexíveis nas mais variadas densidades aparentes [11–14].

Em se tratando de espumas de poliuretano reforçadas com pó de madeira, alguns estudos citam os benefícios e as características proporcionadas pela adição da carga lignocelulósica, visto que estas formam fortes ligações (ligações de hidrogênio) com grupos funcionais de isocianatos presentes no PU por meio de grupos hidroxilas presentes na madeira, resultando em boa adesão dos constituintes [11, 15–18]. O efeito nas propriedades mecânicas das espumas de poliuretano ao adicionar o pó de madeira foi estudado por YUAN e SHI [13], no qual foi avaliado o comportamento de painéis sanduíche com diferentes núcleos. Os autores observaram que a adição de pó de madeira resultou em um aumento na resistência a compressão e na estabilidade térmica, porém ocorreu uma redução na resistência a flexão.

Neste sentido, o presente trabalho tem por objetivo comparar o desempenho de placas em compósito sanduíche, compreendendo faces em compósito de madeira-plástico (WPCs) e diferentes núcleos de poliuretano com variação nos teores de pó oriundo de resíduos de MDF, visando a aplicação das placas na área da construção civil, em paredes, divisórias e forros, por exemplo.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Materiais

O poliuretano utilizado na fabricação da espuma foi fornecido pela empresa Redelease Produtos para Indústrias Ltda. Os reagentes foram fornecidos na forma de componente 1 (FLEXX® RG ECO 24101 BB 5 – polioliol e aditivos) e componente 2 (FLEXX® ISO ECO 4420 BB 5 KG NAC – isocianato e aditivos). Para a fabricação das placas externas do compósito sanduíche, o PEBD (EB 853) e o EVA (EVATENO 3019 PE com 19% de acetato de vinila) foram fornecidos pela empresa Braskem S.A. Os resíduos lignocelulósicos utilizados foram o pó de madeira de *Pinus elliottii* e resíduo do corte de chapas de *Medium Density Fiberboard* (MDF) sendo mistura de madeiras de *Eucalyptus* e *Pinus*, porém sem composição definida, ambos fornecidos pela empresa Madeireira Capivaras, localizada em Criciúma/SC.

2.2. Métodos

O resíduo de MDF foi separado em um agitador eletromagnético de peneiras para análise granulométrica da marca Bertel em tamanhos de partículas classificadas como A (fino >35 *mesh*) e B (grosso entre 10 e 18 *mesh*). Já o resíduo de madeira foi separado numa classificação granulométrica de 18 a 35 *mesh*. Antes da utilização, os resíduos foram secos em estufa térmica com ventilação, a uma temperatura de 80°C por 4 horas.

As espumas de poliuretano e resíduo de MDF foram produzidas pelo método de batelada com expansão livre. Para este processo, 100 partes do componente 1 foram adicionados a 110 partes do componente 2, conforme indicação do fornecedor. Inicialmente, no componente 1 (polioliol) foi misturado em diferentes proporções os resíduos de MDF a 0, 10, 20 e 30 partes por cem de polioliol (PCP) e com diferentes granulometrias (A e B). O sistema foi misturado utilizando um misturador de hélices cisalhantes, marca Fisaton 715, com velocidade de rotação de até 2500 rpm por 2 min. Em sequência foi realizada a adição do componente 2 (isocianato). A mistura composta pelos componentes 1, 2 e pelo resíduo de MDF (A e B) foi agitada bruscamente por 1 minuto e após despejada em moldes com dimensões de 140 × 200 × 290 mm. A expansão das espumas foi realizada sem pressão e em temperatura controlada de 23 °C. O tempo de cura das espumas foi de 72 h. Finalizadas as preparações, foram obtidas sete amostras de espumas (nomeadas como PU, PU10A, PU20A, PU30A, PU10B, PU20B e PU30B) e após a cura foi realizado o corte para obtenção de corpos de prova.

Para produção das faces externas foi utilizado um compósito de madeira plástica ou *Wood Plastic Composite* (WPC). A incorporação da madeira no polímero foi realizada por extrusão, utilizando uma extrusora monorosca Oryzon, modelo OZ-E-EX-L22, L/D = 17. Para a fabricação das placas de WPC foi extrudada uma mistura com 80% da mistura polimérica (80% de PEBD e 20% de EVA) e 20% de pó de madeira (pinus). Utilizou-se um perfil de temperatura de extrusão de: 140 °C – 150 °C – 170 °C – 190 °C. Foi realizada dupla extrusão para melhor homogeneização do compósito, visto que a extrusora utilizada trata-se de uma monorosca. Os pellets obtidos da extrusão foram moldados em placas utilizando uma prensa térmica hidráulica da marca Marcon modelo MPH-10, utilizando um molde com dimensões de 25 × 25 × 2 mm. Os parâmetros do processo de prensagem foram temperatura de 140 °C, tempo 5 min e carga aplicada de 4 toneladas.

A produção das estruturas tipo sanduíche foi realizada pela colagem das placas de WPC nas diferentes espumas de PU. Para tanto, foi utilizado adesivo base poli (álcool vinílico) (PVA), marca TeckBond para realizar a colagem dos componentes. A Figura 1 apresenta uma imagem fotográfica das amostras produzidas.

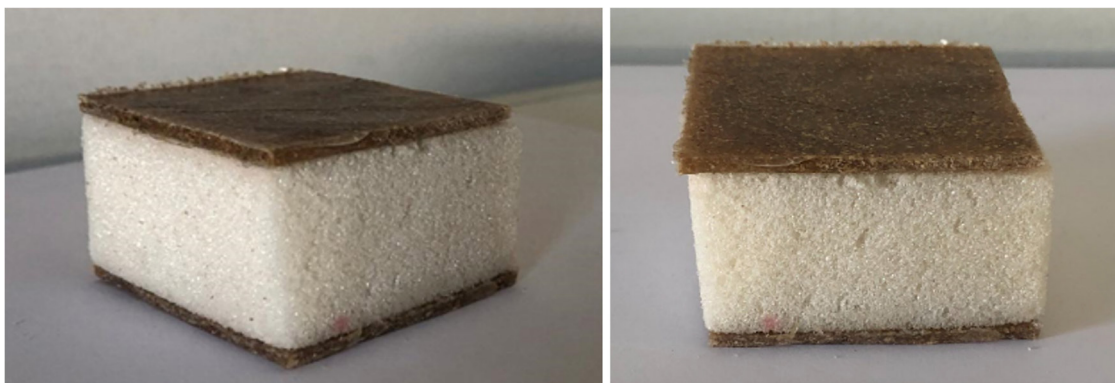


Figura 1: Imagem fotográfica do compósito sanduíche produzido.

2.3. Caracterizações

A análise da densidade foi realizada segundo orientações da norma ASTM D1622-08. Em que, a densidade aparente das espumas foi obtida pela relação entre a massa (g) e o volume (cm³) das amostras. Foram utilizados 7 corpos de prova para cada formulação.

A Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) foi realizada para observar de maneira mais detalhada a microestrutura morfológica das espumas de PU com e sem adição de cargas de MDF. Foi utilizado equipamento da marca ZEISS, modelo EVO MA 10. Devido a necessidade de se obter uma superfície condutora, as amostras foram cobertas com uma fina película de ouro aplicada por *sputtering* em uma metalizadora de marca Denton vacuum/Modelo desk IV.

As propriedades mecânicas de resistência à compressão das espumas foram avaliadas utilizando uma máquina universal de ensaios EMIC DL10000, com corpos de prova de dimensões 50 × 50 × 25 mm e velocidade de ensaio de 5 mm.min⁻¹. Foi avaliada a tensão necessária para reduzir a espessura do corpo de prova em até 80% da sua espessura inicial, conforme norma ASTM D3574-11. Os ensaios foram realizados em quintuplicata.

O ensaio de resistência à flexão dos compósitos sanduíche foi realizado seguindo procedimentos da norma ASTM C393/C393M:2011, utilizando uma máquina universal de ensaios EMIC DL10000. Foi utilizado velocidade de ensaio de 5 mm.min⁻¹. Todos os ensaios foram realizados em quintuplicata.

A análise da condutividade térmica do painel de compósito com estrutura sanduíche foi determinada conforme a norma NBR 15220-5. Foram utilizadas amostras com dimensões de 50 × 50 × 25 mm de largura, comprimento e espessura, respectivamente. Todos os ensaios foram realizados em duplicata. O fluxo de calor aplicado no sistema foi determinado por medições com Lã de vidro PSI-20 (densidade 0,020 g.cm⁻³), que possui condutividade térmica conhecida (0,038 W m⁻¹ K⁻¹). A lã de vidro foi fornecida pela empresa Tecnotermo Isolantes Térmicos (Brasil). A condutividade térmica das amostras foi determinada pela Equação 1.

$$\lambda = \frac{q \times e}{\Delta t} \quad (1)$$

em que λ é a condutividade térmica (W m⁻¹ K⁻¹); “ q ” é a densidade do fluxo de calor (W m⁻²); e “ e ” a espessura da amostra (m) e Δt é a diferença de temperatura entre as faces quente e fria da amostra (K).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Caracterização das espumas de PU com e sem adição de MDF

A Figura 2 apresenta as imagens fotográficas das espumas após o tempo de cura. É possível observar que com o aumento de carga as espumas tiveram uma maior retração (Figura 2d e Figura 2h).

A Figura 3 apresenta a análise da morfologia celular, obtida por MEV das espumas de PU com diferentes reforços de MDF. Destaca-se que as espumas são compostas predominantemente por células fechadas com tamanho médio aproximado de células de 300 ± 100 μm. Observa-se que, com o aumento do teor de carga, aumenta a heterogeneidade da estrutura celular, com formação de células irregulares e desuniformes.

Analisando as Figuras 2 e 3 nota-se que as espumas com maior teor de resíduo de MDF, tiveram uma maior irregularidade no tamanho das suas células e formação de aglomerados de partículas no meio da estrutura

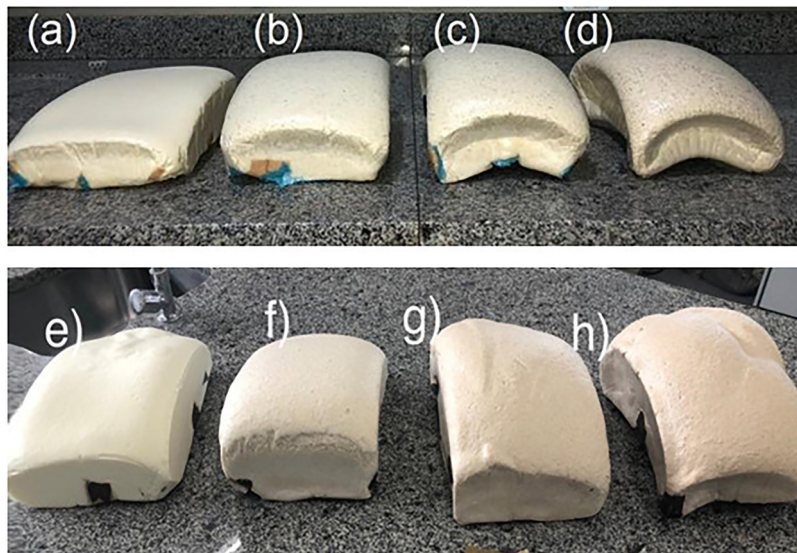


Figura 2: Espumas de PU puro (a,e), PU10A (b), PU20A (c), PU30A (d), PU10B (f), PU20B (g) e PU30B (h).

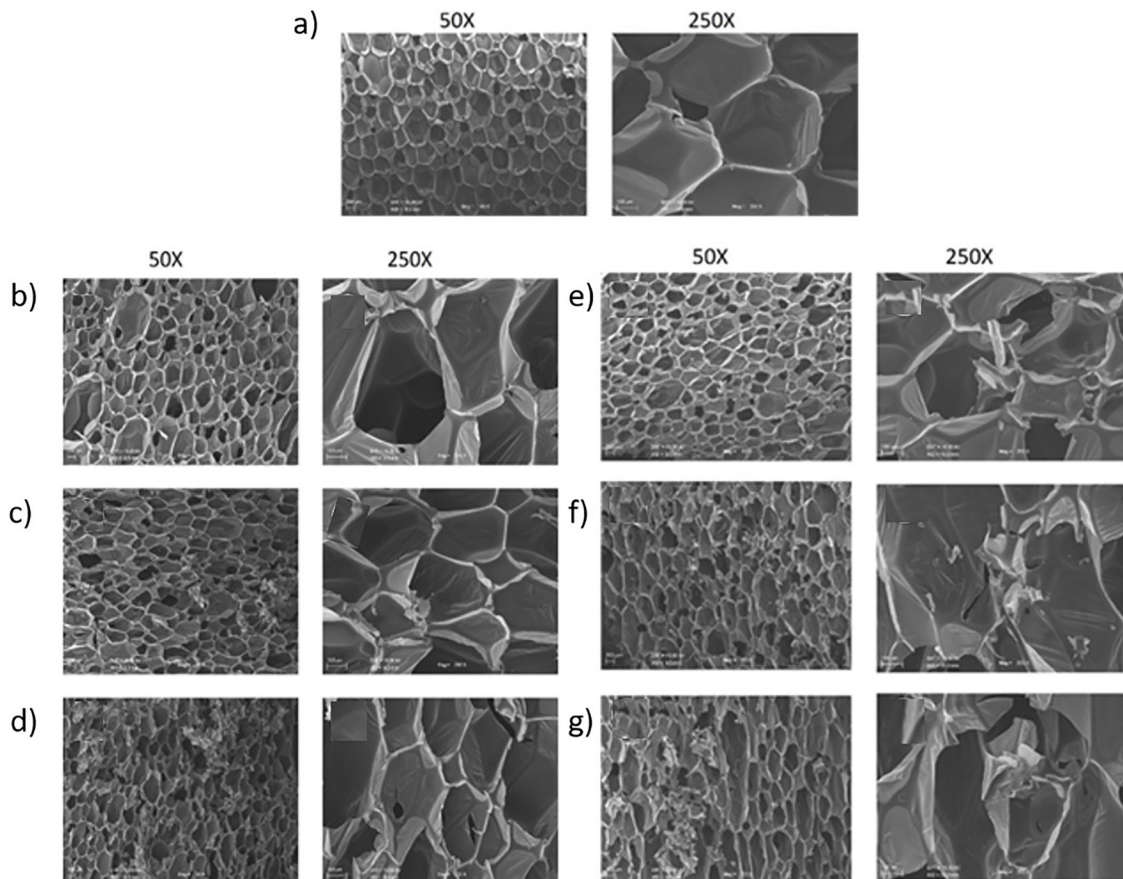


Figura 3: Microestrutura das espumas de PU puro (a), PUA10 (b), PUA20 (c), PUA30 (d), PUB10 (e), PUB20 (f) e PUB30 (g).

celular. Este fenômeno pode estar associado à interferência das partículas depositadas no contorno das células e criando regiões de escape do gás formado durante a expansão, promovendo assim a coalescência das células. Em estudos anteriores, foi observado que a adição de cargas aumenta a viscosidade nos materiais compósitos alterando o processo de expansão da espuma, onde a carga atua como local de nucleação formando um maior número de células com tamanhos menores [19]. Outro fator aqui observado e constatado em literatura é que

com a adição de partículas naturais em espumas de PU, algumas cargas ficam fixadas fora da parede celular do polímero enfraquecendo a estrutura e causando o rompimento em alguns pontos, gerando células mais irregulares e defeituosas comparadas com as de PU puro [18, 20].

Na Figura 4 há uma ilustração do comportamento das espumas durante o processo de cura, demonstrando a diferença no comportamento de espumas de PU puro e PU com carga de pó de madeira. As ilustrações da Figura 4 (a–e) representam o crescimento de uma espuma sem cargas, iniciando em sua fase líquida na Figura 4 (a), seguindo para a nucleação e crescimento das células com a influência do gás representada na Figura 4 (b–d) até a estrutura final da espuma com suas células formadas de maneira homogênea na Figura 4 (e). A formação de espumas com adição de cargas está apresentada nas ilustrações da Figura 4 (f–j), onde inicialmente a espuma está em estado líquido com a presença das cargas na Figura 4 (f), depois também ocorre a nucleação e crescimento das células representado na Figura 4 (g–h), porém a presença de cargas torna as paredes mais finas, possibilitando uma ruptura e escape do gás, diminuindo o tamanho da espuma e tendo uma estrutura mais heterogênea em relação a tamanho e formato de células visualizado na Figura 4 (i–j).

A densidade das espumas foi medida para verificar a influência da adição de cargas na propriedade, a Figura 5 apresenta os resultados, em que há uma tendência de aumento da densidade com aumento do teor de carga. Como pode ser observado nas duas granulometrias (fina-A e grossa-B) ensaiadas e tendo valores para densidade maiores que do PU puro para cargas maiores que 10 g, esse resultado é justificado pelo aumento na viscosidade e diminuição da reatividade dos componentes do sistema, afetando a expansão e a densidade, fator observado em pesquisas anteriores [18, 20, 21].

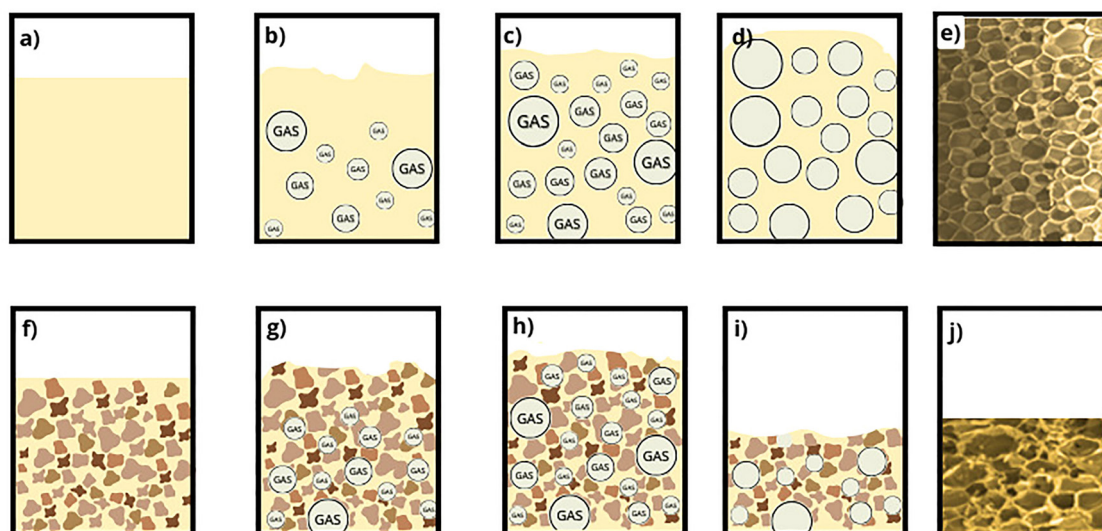


Figura 4: Processo de cura das espumas sem (a–e) e com carga adicionada (f–j).

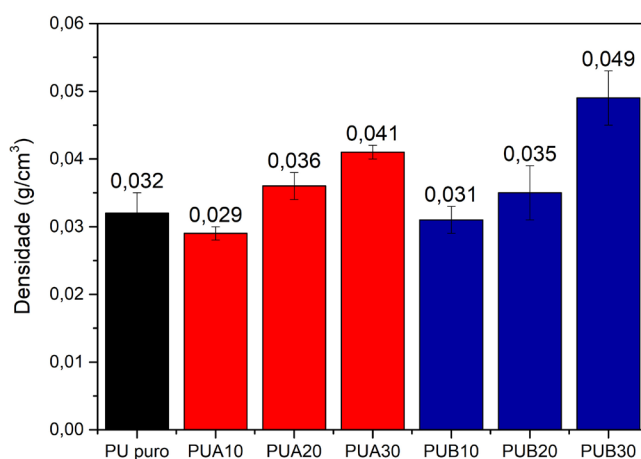
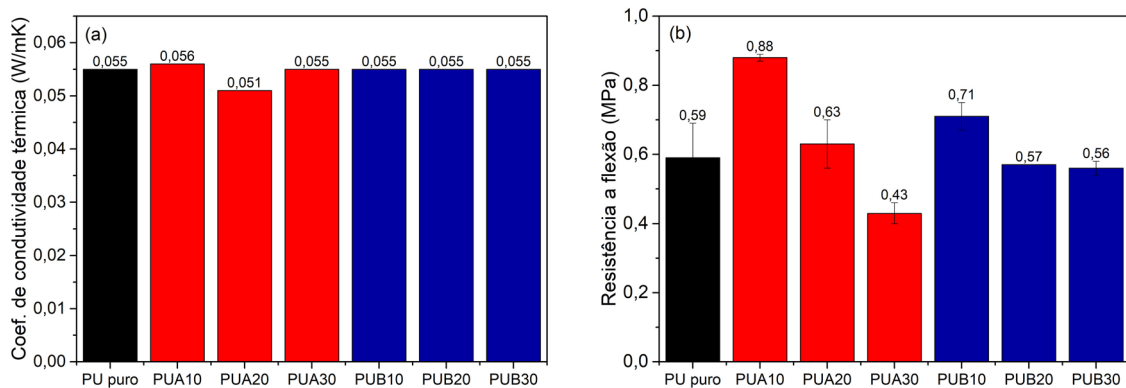


Figura 5: Densidade das espumas com e sem carga.

Tabela 1: Resultados ensaio de resistência a compressão das espumas.

AMOSTRA	E (MPa)	TENSÃO a 10% (MPa)	TENSÃO a 30% (MPa)
PU puro	2,97 ± 0,31	0,13 ± 0,01	0,15 ± 0,01
PUA10	1,69 ± 0,31	0,10 ± 0,01	0,15 ± 0,01
PUA20	1,14 ± 0,66	0,08 ± 0,03	0,12 ± 0,02
PUA30	0,86 ± 0,33	0,07 ± 0,02	0,10 ± 0,02
PUB10	1,33 ± 0,27	0,09 ± 0,01	0,12 ± 0,01
PUB20	1,60 ± 0,41	0,09 ± 0,02	0,13 ± 0,02
PUB30	1,07 ± 0,71	0,07 ± 0,03	0,12 ± 0,03

**Figura 6:** Coeficiente de condutividade térmica (a) e resistência a flexão (b) dos compósitos sanduíche.

Com relação às propriedades mecânicas, foram analisados o módulo elástico e a resistência à compressão com 10 e 30% de deformação, buscando entender possíveis influências causadas pela adição de cargas. Os resultados obtidos então apresentados na Tabela 1, onde observa-se que todas as amostras reforçadas apresentaram um decréscimo no módulo elástico e na resistência à compressão. Autores anteriores atribuíram essa diminuição nas propriedades mecânicas das espumas com cargas ao fenômeno de nucleação, baixa afinidade do sistema, aglomerados de partículas fora da parede da célula [18], defeitos na estrutura e presença de células irregulares [20], promovendo regiões de fragilização da espuma. Esta relação, identificada por outros autores, também pode ser observada na Figura 3, que apresenta as imagens das espumas obtidas por meio da análise de MEV e comprovando a existência de aglomerados de partículas e células irregulares nas espumas com carga.

3.2. Compósitos com estrutura sanduíche

Os compósitos com estrutura sanduíche foram analisados quanto a sua condutividade térmica e resistência à flexão, com o intuito de comparar essas propriedades quando utilizado núcleo de PU puro e núcleo de PU + carga de MDF. A Figura 6 apresenta os resultados da análise de condutividade térmica e resistência à flexão dos compósitos com estrutura sanduíche.

Nota-se na Figura 6a que não houve variação significativa da condutividade térmica das placas produzidas com diferentes núcleos de espumas de poliuretano. Segundo TIUC *et al.* [20], a condutividade térmica de espumas de PU dependem da densidade, do teor de umidade da carga e de propriedades morfológicas dos poros (abertos, semi-fechados ou fechados), dessa forma é possível compreender a pequena variação nos resultados de condutividade térmica obtidos, visto que os resultados de densidade e morfologia dos poros, apresentados anteriormente, também não tiveram alterações significativas.

Com relação ao ensaio mecânico (Figura 6b) de resistência à flexão, observa-se que os maiores valores foram observados em ambas as amostras com 10 PHP de resíduo de MDF (PU10A e PU10B). Com aumento do teor de carga, é observada uma tendência de diminuição da resistência a flexão, possivelmente devido à presença de aglomerados de MDF e deterioração da estrutura celular das espumas de poliuretano com aumento do teor de carga, assim como observado na propriedade de resistência a compressão.

4. CONCLUSÕES

Neste trabalho foram desenvolvidos de compósitos sanduíches, tendo como faces compósito de madeira-plástico (WPCs) e núcleo de poliuretano sem e com adição de diferentes teores de pó oriundos de resíduos de MDF. Comparando os resultados obtidos inicialmente nas espumas, os valores de resistência à compressão das espumas de poliuretano com carga de resíduo tiveram uma diminuição de no máximo 0,05 MPa quando comparados com as espumas sem resíduo, essa redução ocorre devido a presença de células irregulares e defeitos na estrutura. No entanto, a densidade das espumas aumentou com a adição de resíduos, passando de 0,032 g/cm³ no PU puro, para 0,049 g/cm³ na amostra PUB30, esse resultado está ligado ao aumento da viscosidade e diminuição da reatividade dos componentes, afetando a expansão e consequentemente a densidade. Nos resultados do compósito com estrutura sanduíche, observou-se um discreto aumento na resistência à flexão quando adicionado 10g de resíduo na espuma, porém com o aumento do teor de cargas esses valores tendem a diminuir. Outro fator analisado foi o coeficiente de condutividade térmica, que no PU puro foi de 0,055 W/mK e com a adição de cargas na espuma sofreu uma pequena alteração relacionada a variação na densidade e na morfologia dos poros encontradas, já que a condutividade térmica depende dessas características. Desse modo, os compósitos sanduíches produzidos com adição de MDF a espuma, podem ser utilizados como uma alternativa para placas na área da construção civil, em paredes, divisórias e forros, por exemplo.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer ao grupo de pesquisa CEPOL (Grupo de Pesquisa em Ciência e Engenharia de Polímeros) e ao CNPq pelo projeto 406617/2022-8 e processo 350308/2023-3.

6. BIBLIOGRAFIA

- [1] BRASIL, “Lei Nº 12.305, de 02 de agosto de 2010. Dispõe sobre a Política Nacional de Geração de Resíduos”, *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 2010.
- [2] LUCCA, D., BENETTI, C.T., “Utilização de resíduos industriais para a produção de artefatos cimentícios e argilosos empregados na construção civil”, *Revista em Agronegócios e Meio Ambiente*, v. 1, n. 3, pp. 405–418, Sep/Dec. 2008.
- [3] FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, *Global forest products facts and figures 2016*, <https://www.fao.org/3/I7034EN/i7034en.pdf>, acessado em maio de 2024.
- [4] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, *NBR 1004 – Resíduos sólidos – Classificação*, Rio de Janeiro, ABNT, 2004.
- [5] JOHANSSON, F., “*Alternativas de destinação de resíduos de MDF*”, Monografia, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2016.
- [6] ALMEIDA, E.P., APOLÔNIO, T.G., FERREIRA, H.C., *et al.*, “Preparação de blocos porosos utilizando resíduos de MDF na formulação de massas cerâmicas estruturais”, *Revista Matéria*, v. 25, n. 1, pp. 1–11, Sep. 2019.
- [7] WILDNER, M.V., “*Reaproveitamento de resíduos da indústria moveleira para aplicação em novos produtos de mobiliário*”, Monografia, UNIVATES, Lajeado, RS, Brasil, 2015.
- [8] CHAHARMAHALI, M., TAJVIDI, M., NAJAFI, S.K., “Mechanical properties of wood plastic composite panels made from waste fiberboard and particleboard”, *Polymer Composites*, v. 29, n. 6, pp. 606–610, Jun. 2008. doi: <http://doi.org/10.1002/pc.20434>.
- [9] ATAY, H.Y., TÜRKMEN, M., “Use of hornbeam, pine and MDF waste in wood-polymer composites as construction elements”, *Journal of the Indian Academy of Wood Science*, v. 19, n. 2, pp. 110–120, Dec. 2022. doi: <http://doi.org/10.1007/s13196-022-00303-w>.
- [10] TUWAIR, H., HOPKINS, M., VOLZ, J., *et al.*, “Evaluation of sandwich panels with various polyurethane foam-cores and ribs”, *Composites. Part B, Engineering*, v. 79, pp. 262–276, Sep. 2015. doi: <http://doi.org/10.1016/j.compositesb.2015.04.023>.
- [11] MIRANDA, R.M., “*Desenvolvimento de uma estrutura sanduíche de base polimérica, produzida com resíduos das indústrias de mineração e metalurgia, para aplicação como painel divisório de ambientes internos na construção civil*”, Tese D. Sc., PRODERNA/UFGA, Belém, PA, Brasil, 2016.
- [12] BOM, R.P., “Alternativa de reciclagem de resíduos de espuma rígida de poliuretano com ABS”, *Matéria (Rio de Janeiro)*, v. 13, n. 2, pp. 388–387, May. 2008. doi: <http://doi.org/10.1590/S1517-70762008000200018>.

- [13] YUAN, J., SHI, S.Q., “Effect of the addition of wood flours on the properties of rigid polyurethane foam”, *Journal of Applied Polymer Science*, v. 113, n. 5, pp. 2902–2909, May. 2009. doi: <http://doi.org/10.1002/app.30322>.
- [14] CHANG, L.C., “*Improving the mechanical performance of wood fiber reinforced bio-based polyurethane foam*”, Tese de M. Sc, Universidade de Toronto, Toronto, Canada, 2014.
- [15] LUIZ, R.V., SILVA, G.T.M., QUINA, F.H., “Fluorimetric visualization of the dispersal of polyethylene terephthalate (PET) filler in polyurethane foams”, *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, Apr. 2023. doi: <http://doi.org/10.1007/s43153-023-00324-z>.
- [16] FORNASIERI, M., ALVES, J.W., MUNIZ, E.C., *et al.*, “Synthesis and characterization of polyurethane composites of wood waste and polyols from chemically recycled pet”, *Composites. Part A, Applied Science and Manufacturing*, v. 42, n. 2, pp. 189–195, Feb. 2011. doi: <http://doi.org/10.1016/j.compositesa.2010.11.004>.
- [17] ZIMMERMANN, M.V.G., TURELLA, T., CAMPOMANES, R.M., *et al.*, “Comparative study between poly(ethylene-co-vinyl acetate)- EVA expanded composites filled with banana fiber and wood flour”, *Materials Research*, v. 17, n. 6, pp. 1535–1544, Dec. 2014. doi: <http://doi.org/10.1590/1516-1439.269814>.
- [18] ZIMMERMANN, M.V.G., SILVA, M.P., ZATTERA, A.J., *et al.*, “Effect of nanocellulose fibers and acetylated nanocellulose fibers on properties of poly(ethylene-co-vinyl acetate) foams”, *Journal of Applied Polymer Science*, v. 134, n. 17, pp. 44760, Jan. 2017. doi: <http://doi.org/10.1002/app.44760>.
- [19] DELUCIS, R.A., MAGALHÃES, W.L.E., PETZHOLD, C.L., *et al.*, “Forest-based resources as fillers in biobased polyurethane foams”, *Journal of Applied Polymer Science*, v. 135, n. 3, pp. 45684, Sep. 2017. doi: <http://doi.org/10.1002/app.45684>.
- [20] TIUC, A.E., BORLEA, S.I., NEMES, O., *et al.*, “New composite materials made from rigid/flexible polyurethane foams with fir sawdust: acoustic and thermal behavior”, *Polymers*, v. 14, n. 17, pp. 3643, Sep. 2022. doi: <http://doi.org/10.3390/polym14173643>.
- [21] SILVA, M.C., TAKAHASHI, J.A., CHAUSSY, D., *et al.*, “Composite of rigid polyurethane foam and cellulose fiber residue”, *Journal of Applied Polymer Science*, v. 117, n. 6, pp. 3665–3672, Sep. 2010. doi: <http://doi.org/10.1002/app.32281>.