

UTILIZAÇÃO DO RESÍDUO DA LAVRA DO MÁRMORE BEGE BAHIA PARA PRODUÇÃO DE CADEIRA DE RODAS SUSTENTÁVEL

USE OF BEGE BAHIA MARBLE WASTE FOR SUSTAINABLE WHEELCHAIR PRODUCTION

Rayara Silva dos Santos

Aluna de Graduação de Engenharia de Materiais, 9º período, UFRRJ
Período PIBITI/CETEM: agosto de 2021 a julho de 2022
rayara.ssantos@gmail.com

Roberto Carlos da Conceição Ribeiro

Orientador, Engenheiro Químico, D.Sc.
rcarlos@cetem.gov.br

Daniele Cruz Bastos

Coorientadora, Engenheira Química, D.Sc.
daniele.bastos@uerj.br

Marceli do Nascimento da Conceição

Coorientadora, Química, D.Sc.
mconceicao@cetem.gov.br

RESUMO

Existem no mundo 650 milhões de pessoas que vivem com algum tipo de deficiência física, sendo a inclusão social dessas pessoas um grande desafio a ser enfrentado. Com o avanço da tecnologia hoje temos acesso a impressoras 3D que nos possibilitam a fabricação de diversos produtos mais acessíveis à população. Baseando-se no tripé da sustentabilidade: pilar social, econômico e ambiental, o objetivo desde trabalho foi o desenvolvimento de uma formulação à base de polipropileno (PP) e resíduos da lavra do Mármore Bege Bahia (BB), na geração de encostos e assentos, produzidos por impressão 3D exatamente moldados pelo tipo físico de cada deficiente, para serem encaixados em uma estrutura de cadeira de rodas de alumínio oriundo da reciclagem de latas comerciais e contendo um motor que permite a verticalização da cadeira para que o deficiente possa ficar em pé. Foram gerados compósitos nas seguintes porcentagens mássicas, PP/BB: 100/0; 90/10; 80/20; 70/30; 60/40 e 50/50, por meio da moldagem à compressão. O resíduo mineral foi caracterizado por fluorescência de Raios-X e as formulações processadas por meio de espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier, densidade, dureza e impacto Izod. Os resultados indicaram pequena alteração na densidade dos compósitos após a adição de 50% de carga mineral, saindo de 0,9 do PP para 1,2 g.cm⁻³ para formulação com 50% de carga, a dureza é aumentada de 63 no PP par cerca de 70 D com 50% de carga. No entanto, a adição de carga reduz a resistência mecânica, que no PP puro é 22 e chega a 4 kJ.m⁻² no compósito com 50% de carga. Dessa forma, verifica-se que a formulação contendo 30% de carga mineral é mais indicada, pois apresenta a maior dureza (70D), a densidade se encontra em 1 g.cm⁻³ e a resistência ao impacto é de 8 kJ.m⁻², considerada adequada dentro dos padrões de resistência para aguentar o peso do corpo e processar os assentos e encostos das cadeiras de rodas por meio de impressão 3D.

Palavras-chave: Sustentabilidade, polipropileno, resíduo de Mármore Bege Bahia.

ABSTRACT

There are 650 million people in the world who live with some type of physical disability, and the social inclusion of these people is a great challenge to be faced. With the advancement of technology today we have access to 3D printers that allow us to manufacture various products

more accessible to the population. Based on the sustainability tripod: social, economic and environmental pillar, the objective of this work was to develop a formulation based on polypropylene (PP) and residues from the work of Marble Bege Bahia (BB), in the generation of backrests and seats, produced by 3D printing exactly molded by the physical type of each disabled person, to be fitted into an aluminum wheelchair structure from the recycling of commercial cans and containing a motor that allows the chair to be verticalized so that the disabled person can stand up. Composites were generated in the following mass percentages, PP/BB: 100/0 until 50/50, through compression molding. The mineral residue was characterized by X-ray fluorescence and the formulations processed by means of infrared spectroscopy with Fourier transform, density, hardness and Izod impact. The results indicated a small change in the density of the composites after the addition of 50% of mineral filler, going from 0.9 of the PP to 1.2 g.cm⁻³ for the formulation with 50% of filler, the hardness is increased from 63 in the PP par about 70 D at 50% load. However, the addition of filler reduces the mechanical strength, which in pure PP is 22 and reaches 4 kJ.m⁻² in the composite with 50% load. Thus, it appears that the formulation containing 30% mineral filler is more suitable, as it has the highest hardness (70D), the density is 1 g.cm⁻³ and the impact resistance is 8 kJ.m⁻², considered adequate within the resistance standards to support the weight of the body and process the seats and backrests of wheelchairs through 3D printing.

Keywords: Sustentability, polypropylene, bege Bahia marble waste.

1. INTRODUÇÃO

Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS) cerca de 10% da população mundial, vive com algum tipo de deficiência, sendo que 20% delas estão entre os países mais pobres do mundo. No Brasil, segundo o Instituto de Geografia e Estatística (IBGE, 2017) 1,3% da população tem algum tipo de deficiência física e quase metade desse total (46,8%) tem grau intenso ou muito intenso de limitações, necessitando utilizar cadeira de rodas. A deficiência é um tema de direitos humanos e como tal obedece ao princípio de que todo ser humano tem o direito às condições necessárias para o seu desenvolvimento. No entanto, sabe-se que a maioria das pessoas portadoras de deficiência não possui acesso sequer uma cadeiras de rodas.

Com o avanço da tecnologia das impressões 3D hoje se pode fabricar diferentes materiais a partir de camadas sobrepostas de resina de polímeros. Dessa forma, aproveitar essa tecnologia para geração de partes de cadeiras de rodas, como assentos e encostos, poderá atender a milhares de pessoas. No entanto, os polímeros utilizados em impressoras 3D são isentos de cargas e não fornecem materiais impressos com propriedades mecânicas 100% adequadas. Com isso, torna-se necessário a inserção de cargas minerais (Lima, 2007) para que as propriedades mecânicas possam ser atingidas. Nesse contexto, aparece o setor de rochas ornamentais, onde o Brasil responde pela 4ª posição mundial de produção. Atrelada a essa produção há uma geração de resíduos gerados desde a lavra ao beneficiamento, que correspondem a 70%, em massa de todo o material produzido para o consumo.

Materiais sustentáveis podem ser gerados a partir da reciclagem de outros materiais, como é o caso da produção da estrutura central de cadeiras de rodas por meio de latas de alumínio recicladas. Nessas cadeiras, o encosto e o assento são gerados por polímeros não muito confortáveis e com baixa resistência para suportar o peso do corpo. Dessa forma, adicionar resíduos minerais como carga/enchimento nessa matriz polimérica permitirá o ganho de resistência mecânica (Ribeiro et al., 2017; Barros et al., 2020; Chagas et al., 2020; Gerardo et al., 2020). Além disso, associar a técnica de impressão 3D permitirá a confecção do assento e do encosto moldado diretamente no corpo de cada deficiente, proporcionando assim maior conforto e melhoria na qualidade de vida. Por fim, integrar a robótica a essa construção de cadeira de rodas permitirá a elevação da cadeira verticalmente, possibilitando que o deficiente possa ficar em pé novamente, sustentado pelo encosto e pelo assento que estão presos à estrutura de alumínio.

2. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho foi o desenvolvimento de uma formulação à base de polipropileno (PP) e resíduos da lavra do Mármore Bege Bahia (BB), para produção de um encosto e um assento para uma cadeira de rodas de estrutura de alumínio e motorizada para elevação vertical, por meio da impressão 3D.

3. METODOLOGIA

3.1. Materiais Utilizados

O polímero utilizado foi o polipropileno virgem (PP), da marca Braskem S/A, com densidade de $0,905 \text{ g.cm}^{-3}$ e índice de fluidez $3,5 \text{ g.10 min}^{-1}$ ($230^{\circ}\text{C}/2,16 \text{ Kg}$). O PP foi moído em um moinho de facas da marca Solab (SL-32) e utilizado com granulometria inferior a 2 mm.

O resíduo do Mármore Bege Bahia é proveniente da lavra do referido mármore da cidade de Ourulândia no Estado da Bahia e foi utilizado com granulometria abaixo de $20 \mu\text{m}$.

3.2. Processamento dos Compósitos por Moldagem à Compressão

A Tabela 1 apresenta as proporções de PP e BB utilizadas em cada composição. As misturas foram pré-aquecidas, para retirada da umidade, a 100°C por 2 h, antes do processamento. Cada proporção foi então levada à prensa quente, a temperatura de 190°C por 10 min e pressão de 6 t e, imediatamente resfriado em prensa fria a 6 t produção dos filmes.

Tabela 1: Proporções (em massa) de cada componente dos compósitos.

Amostra (% m/m)	Massa de PP (g)	Massa BB (g)
PP	20,0	-
PP/BB (90/10)	18,0	2,0
PP/BB (80/20)	16,0	4,0
PP/BB (70/30)	14,0	6,0
PP/BB (60/40)	12,0	8,0
PP/BB (50/50)	10,0	10,0

3.3. Caracterização

O resíduo mineral foi analisado quanto à composição química, por Fluorescência de Raio-X (WDS-2), modelo *Axios Max, Panalytical*. A determinação da perda por calcinação foi feita simultaneamente pelo equipamento Leco TGA-701, com duas rampas de aquecimento, uma de $25-107^{\circ}\text{C}$ com $10^{\circ}\text{C.min}^{-1}$ e a segunda rampa de $107-1000^{\circ}\text{C}$ com $40^{\circ}\text{C.min}^{-1}$.

Para caracterizar mudanças na estrutura química das amostras, foram realizadas análises de FTIR (FTIR -modelo Nicolet 6700 da *Thermo Scientific*) no modo ATR, utilizando cristal de ZnSe, na faixa de número de ondas de $4000-650 \text{ cm}^{-1}$, com 120 varreduras.

As amostras foram caracterizadas por ensaios de Densidade (ASTM D792-13), Dureza (ASTMD2240-13) e impacto Izod (ASTM D256-05).

3.4. Avaliação de Risco à Saúde Humana

Os cálculos do risco foram realizados utilizando as planilhas da CETESB e os cálculos foram feitos com base na análise química do resíduo.

3.5. Geração do Protótipo

Com base nos resultados de impacto Izod, dureza e densidade, será escolhida a melhor composição para a geração do encosto e assento, que serão moldados especificamente no que

tange o corpo de uma pessoa com deficiência física motora, e impressa em impressora 3D pertencente ao Laboratório de Biopolímeros e Bioengenharia da COPPE. Posteriormente, tais peças serão fixadas na estrutura da cadeira de rodas de alumínio, oriunda de reciclagem de latinhas comerciais, e com a presença de um motor acoplado que permite a elevação da cadeira verticalmente, por meio do laboratório de robótica do CEFET, unidade Maracanã.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Análises Química, Mineralógica e Avaliação de Risco à Saúde Humana

A análise química do resíduo indicou a presença de 50% de CaO, 10% de MgO e 35% de perda ao fogo, este relacionado com a presença de carbonatos. A composição mineralógica indicou picos específicos da calcita. Em relação à avaliação do risco à saúde humana, todos os elementos encontraram-se abaixo dos limites especificados pela US EPA, 2016

A Figura 1 mostra os resultados da análise química dos materiais processados. Os compósitos apresentam picos característicos de polipropileno e outros picos relacionados à carga inorgânica, BB (Chagas *et al.*, 2021), variando-se apenas as intensidades dos picos, devido as diferentes proporções utilizadas, apontando uma interação física entre a carga e a matriz.

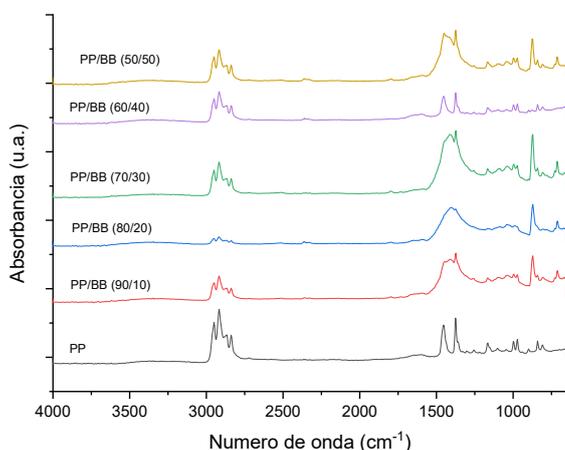


Figura 1: Análise de FT-IR dos materiais processados.

Resultados da análise de densidade, dureza e Impacto Izod estão apresentados na Tabela 2. A adição da carga não altera de forma significativa a densidade e a dureza das amostras. Entretanto, os valores de Impacto Izod diminuem com o aumento da concentração da carga, o que também foi observado no trabalho de Chagas *et al.* (2021) indicando que o excesso de carga mineral pode fragilizar o material. No entanto, valores mínimos de resistência ao impacto Izod devem ser de 7 kJ.m^{-2} (Martins *et al.*, 2019).

Tabela 2: Resultados das análises de densidade, dureza e Impacto Izod.

Amostra	Densidade (g.cm^{-3})	Dureza (Shore D)	Impacto Izod (KJ.m^{-2})
PP	$0,892 \pm 0,016$	$63,00 \pm 0,00$	$21,83 \pm 0,00$
PP/BB (90/10)	$0,875 \pm 0,013$	$67,33 \pm 0,58$	$11,62 \pm 0,00$
PP/BB (80/20)	$1,039 \pm 0,020$	$68,67 \pm 1,53$	$6,68 \pm 0,00$
PP/BB (70/30)	$1,062 \pm 0,031$	$70,00 \pm 0,00$	$8,27 \pm 0,00$
PP/BB (60/40)	$1,209 \pm 0,011$	$65,00 \pm 0,00$	$6,63 \pm 0,00$
PP/BB (50/50)	$1,185 \pm 0,015$	$67,00 \pm 0,00$	$4,18 \pm 0,00$

Com base nos resultados obtidos escolheu-se a proporção de 70% PP e 30% BB para a geração dos filamentos de impressão 3D. Em seguida geraram-se as peças de assento e encosto nos moldes específicos de um deficiente físico, que foram fixadas na estrutura de alumínio como apresentado na Figura 2.



Figura 2: Protótipo da cadeira de rodas elevatória contendo resíduo de Mármore Bege Bahia.

5. CONCLUSÕES

Pôde-se concluir que os resíduos gerados na lavra do Mármore Bege Bahia podem ser utilizados como carga na matriz do polipropileno, pois além de não causarem riscos à saúde humana, são responsáveis para melhoria nas condições físicas do material, com aumento dos resultados de dureza, de 63 D no PP puro para cerca de 70D com 50% de carga e que a densidade do material é pouco afetada, variando de 0,9 g.cm-3 para 1,2 g.cm-3 com 50% de carga mineral, indicando a leveza do compósito processado. No entanto, por se tratar da fraca interação do tipo Van Der Waals entre a carga e o polímero, o aumento substancial de carga resultará em diminuição da resistência ao Impacto. Dessa forma, verificou-se que a proporção contendo 70% de PP e 30% de carga apresenta condições físicas para geração de filamentos para abastecer a impressora 3D e permitir o processamento do encosto e do assento de uma cadeira de rodas estruturada em alumínio oriundo de reciclagem de latas de alumínio, além da presença de uma motor que permite a elevação vertical, fazendo com que o deficiente possa ficar em pé.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq pela concessão da bolsa, ao CETEM, UERJ-ZO, Laboratório de Biopolímeros e Bioengenharia da COPPE e ao Departamento de Robótica do CEFET pela infraestrutura.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARROS, M.M.; DE OLIVEIRA, M.F.L.; DA CONCEIÇÃO, R.C.R; BASTOS, D.C; DE OLIEIRA, M.G. Ecological bricks from dimension stone waste and polyester resin. *Construction and Building Materials*, v. 232, p. 117-252, 2020.

CHAGAS, G.N., BARROS; M.M. RIBEIRO, R.C.C.; BASTOS, D.C. A Polyamide 6/Muscovite Composites with Thermal Insulation Properties. *Macromolecular Symposia*, v.394, p. 2000124, 2020.

CHAGAS, G.N., BARROS; M.M.; LEÃO, A.G.; RIBEIRO, R.C.C.; BASTOS, D.C. Sustainable composite from PP post-consumer and dimension stone waste. *Brazilian Journal of Development*, v.7, n.3, p. 22298-222309, 2021.

GERADO, C.F.; FRANÇA, S.C.A.; SANTOS, S.F.; BASTOS, D.C. A study of high-density polyethylene with mica addition: Influence of mica particle size on wetting behavior, morphological, physical, and chemical properties. *International Journal of Development Research*, v. 10 (06), p. 37223-37228, 2020.

MARTINS S., BARROS M.M., PEREIRA P.S.C., BASTOS D.C. Use of manufacture residue of fluidized-bed catalyst-cracking catalyzers as flame retardant in recycled high-density polyethylene. *J. Mater. Res. Technol.*, v. 8(2), p. 2386-2394, 2020.

RIBEIRO, R.C.C.; OLIVEIRA, M.G.; DALTO, D.P.S.; TOSCANO, N. 2017. Processo de obtenção de piso gerador de energia a partir de resíduos do corte de rochas ornamentais. Patente depositada BR1020170210197, INPI.