

RECICLAGEM DE CANETAS PARA QUADRO BRANCO PARA IMPRESSÃO 3D: DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DE FILAMENTOS A PARTIR DO PROCESSO DE EXTRUSÃO

Rodrigo S. Cubal[1]; João Vitor G. Mello[2]; Leonardo M. dos Santos[1]; Claudio Luis C. Frankenberg[1];

[1] Escola Politécnica - Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUC-RS), Av. Ipiranga, 6681, CEP 90619-900, Porto Alegre, RS, Brasil.
[2] Bolsista de Iniciação Científica Júnior – PUCRS
*rscubal@gmail.com

Palavras-chave: Economia circular, polímeros reciclados, logística reversa.

Introdução

O conceito de economia circular surge como uma resposta a problemas ambientais e sociais, como um substituto do modelo linear adotado anteriormente, que utilizava como base a lógica de "extrair-produzir-descartar". O crescimento populacional, o uso intensivo de recursos e a descontrolada poluição ambiental impõem a necessidade de implementação de um sistema econômico de ciclo fechado, fundamentado no princípio dos 3R's: Reduzir, Reutilizar e Reciclar (MIKULA *et al*., 2021).

Em dezembro de 2015 foi estabelecido o Pacote de Economia Circular, no qual são elencadas cinco áreas prioritárias que exigem ações específicas: plásticos, resíduos de construção e demolição, matérias-primas críticas, desperdício de alimentos, bioprodutos e biomassa. O plano contempla metas-chave específicas, incluindo a reciclagem de 65% dos resíduos urbanos e a redução do envio de resíduos a aterros sanitários a um máximo de 10% até 2030 (COMMISSION, 2015).

A reciclagem é reconhecida como a opção preferencial de gestão de resíduos para a reutilização de materiais e fabricação de novos produtos. Tais práticas reduzem a geração de resíduos e viabilizam a recuperação de materiais pelo maior tempo possível. Um dos principais resíduos, representando um grave problema ambiental atualmente, é o plástico (MIKULA *et al*., 2021).

Os plásticos podem ser classificados em dois tipos: termoplásticos e termofixos. Os termoplásticos são plásticos que não sofrem alterações em sua estrutura química durante o aquecimento e, após o resfriamento, podem ser moldados novamente, como o polipropileno (PP), polietileno de alta densidade (PEAD), polietileno de baixa densidade (PEBD), poli (tereftalato de etileno) (PET), poliestireno (PS), poli (cloreto de vinila) (PVC) e outros. Já os termofixos são aqueles que, uma vez moldados, não podem ser fundidos e remoldados novamente; logo, não são recicláveis mecanicamente, como os poliuretanos (PU) e poli(acetato de etileno vinil) (EVA), poliésteres, resinas fenólicas e outros (AMBIENTEBRASIL).

Universidades de grande porte podem consumir, em média, de 1,5 a 3 canetas de quadro branco por professor por semestre, totalizando um valor estimado de 15 a 30 mil unidades por ano em toda a instituição. As canetas para quadro branco são compostas de resinas termoplásticas, tinta à base de álcool, pigmentos, resinas, solventes e ponta de acrílico. São fabricadas e comercializadas em quatro cores: preto, azul, vermelho, verde, rosa, laranja e violeta. A resina termoplástica é fabricada a partir da matéria-prima de origem natural não renovável, como o petróleo. Devido a isso, os impactos causados por esse produto se localizam nas extremidades da cadeia produtiva, provocando uma exaustão de matéria-prima e uma grande aglomeração de resíduos de difícil decomposição (PILOT; ZANIN e MANCINI, 2009).

Visando uma economia circular e o reaproveitamento do plástico proveniente de canetas de quadro branco, o presente trabalho apresenta como proposta a utilização das canetas para quadro branco descartadas pela universidade como material de partida para produção de filamentos para impressora 3D.

Material e Métodos

Foi utilizado como material de partida as canetas de quadro branco usadas e descartadas na Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul. Após o recolhimento, as canetas foram desmontadas, realizando a separação do material conforme demonstrado na figura 1.



Figura 1. Caneta desmontada.

Após o desmonte, foi separado apenas o material composto por plástico, corpo e tampa, para lavagem e posterior trituração.

Os materiais foram caracterizados por meio de análise granulométrica, análise de calorimetria diferencial exploratória (DSC) e análise termogravimétrica (TGA), a fim de se identificar o polímero utilizado na fabricação das canetas, bem como ter melhor ideia das temperaturas a serem utilizadas na etapa seguinte de extrusão do material.

Após a identificação da matéria-prima e verificação das temperaturas a serem utilizadas na extrusora, o material foi extrusado no equipamento, em seguida resfriado por imersão em um tanque d'água com temperatura estabilizada, visando fixar as dimensões geométricas e cristalinidade do material.

Após a obtenção dos carretéis de filamentos produzidos, os materiais foram submetidos a um período de secagem térmica controlada para retirada da umidade residual absorvida durante o período de resfriamento, visando a obtenção de um filamento que não apresente falhas de adesão entre camadas nem porosidade na impressão.

Resultados e Discussão

Análise Granulométrica

Para a obtenção do diâmetro das canetas trituradas, foi utilizado o método de análise granulométrica baseado na NBR 7181, em que foram utilizadas 4 peneiras de diâmetro: 4,00; 3,35; 2,36 e 1,40 mm. Onde, por meio do material retido e passante nas peneiras, foi determinado o D60 = 2,114 mm, podendo-se concluir que o material possui diâmetro inferior a 2,114 mm, como mostrado na figura 2.



Figura 2. Dados de peneiramento e curva granulométrica.

Análise de Infravermelho (FTIR - UATR)

O espectro da amostra que foi retirada da tampa revelou o perfil característico do material polietileno (PE). A região de alta frequência exibiu bandas proeminentes em 2915 e 2848 cm^{-1}, atribuídas aos estiramentos assimétricos e simétricos de ligação C–H de grupos metileno (-C-). A presença do desdobramento nas bandas de deformação angular em 1472 e 1463 cm^{-1} (scissoring) e em 730 e 718 cm^{-1} (rocking) confirma o empacotamento em fase cristalina ortorrômbica, típico de poliolefinas de alta densidade (HDPE). A ausência de bandas na região de 1700–1750 cm^{-1} (estiramento C=O) e acima de 3000 cm^{-1} (C–H aromático/vinílico) descarta oxidação prévia ou presença de poliésteres e estirênicos. Por outro lado, a amostra retirada do corpo da caneta apresentou uma estrutura química distinta, identificando a presença do polipropileno (PP). Na região de estiramento C–H (2800-3000 cm^{-1}), observou-se a sobreposição de múltiplos picos decorrentes da presença simultânea de grupos ($-CH_3$) e metileno ($-CH_2-$). O principal marcador diagnosticado desta amostra foi a banda intensa em 1376 cm^{-1}, atribuída à deformação simétrica no plano do grupo metila ($-CH_3$). As bandas na região de impressão digital, especificamente em 1166, 998, 973 e 841 cm^{-1}, confirmam a helicalidade e a ordem estrutural da fase isotática do polipropileno (iPP). O FTIR

pode classificar o material distinto de cada parte da caneta que irá ser submetida ao processo de extrusão.

Análise Diferencial Exploratória (DSC)

O termograma de DSC revela um pico de fusão em 125 °C, característico do polietileno (PE), além de uma temperatura de cristalização (T_c) em 110 °C durante a etapa de resfriamento. A ausência de um pico endotérmico na região de 160 °C evidencia a ausência de polipropileno (PP) na primeira amostra, referente à tampa da caneta. Em contraste, a amostra do corpo da caneta apresentou um evento de fusão deslocado para temperaturas significativamente mais elevadas, registrando um duplo pico endotérmico na faixa de 163 °C a 168 °C. Esse duplo pico de fusão é característico do polipropileno isotático (iPP) e decorre do espessamento lamelar ou da fusão/recristalização de diferentes populações de cristais durante o ensaio térmico. O pico de cristalização da caneta registrou-se em ~123 °C. Os dados de DSC confirmam a incompatibilidade térmica direta para blendagem simples sem compatibilizantes, justificando o processamento por extrusão focado na matriz de PP do corpo do marcador.

Conclusões

Conclui-se que é viável o reaproveitamento do resíduo pós-consumo de marcadores para quadro branco gerado em ambiente acadêmico, correlacionando a origem estrutural de cada componente mediante caracterização por FTIR e DSC. Adicionalmente, a classificação granulométrica do material moído representa um avanço expressivo para o processamento por extrusão e subsequente obtenção dos filamentos reciclados. Além de conferir uma destinação ambientalmente adequada a esse resíduo, o trabalho contribui diretamente para o cumprimento dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS).

Agradecimentos

A Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul e ao Laboratório de Processos Ambientais – LAPA.

Referências

AMBIENTEBRASIL. Reciclagem de Plástico.

COMMISSION, European. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions: Closing the loop - An EU action plan for the Circular Economy (COM/2015/0614 final). , 2015

MIKULA, Katarzyna e colab. 3D printing filament as a second life of waste plastics—a review. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 28, n. 10, p. 12321–12333, 4 Mar 2021. Disponível em: <https://link.springer.com/10.1007/s11356-020-10657-8>.
PILOT. WBM-7 PARA QUADRO BRANCO. Disponível em:



<https://www.pilotpen.com.br/produtos/marc-p-quadro-branco-wbm-7/>.

ZANIN, Maria e MANCINI, Sandro Donnini. Resíduos e Reciclagem: Contextualização. Resíduos plásticos e reciclagem: aspectos gerais e tecnologia. [S.l.]: EdUFSCar, 2009. p. 14–47. Disponível em: <https://books.scielo.org/id/x6mh4/pdf/zanin-9788576003601-02.pdf>.