

**Reaproveitamento de resíduo de espuma rígida de poliuretano em uma matriz termoplástica de poliuretano**

**Reuse of rigid polyurethane foam waste in a thermoplastic polyurethane matrix**

**Reutilización de residuos de espuma rígida de poliuretano en una matriz de poliuretano termoplástico**

Recebido: 30/01/2020 | Revisado: 07/02/2020 | Aceito: 14/02/2020 | Publicado: 27/02/2020

**Kerciely Martins do Carmo**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0577-4975>

Universidade Federal de Itajubá, Brasil

E-mail: [kercielym@gmail.com](mailto:kercielym@gmail.com)

**Mercês Coelho da Silva**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1158-5246>

Universidade Federal de Itajubá, Brasil

E-mail: [mercescoelho@unifei.edu.br](mailto:mercescoelho@unifei.edu.br)

**Carolina Lipparelli Morelli**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6857-9424>

Universidade Federal de Itajubá, Brasil

E-mail: [carollmorelli@gmail.com](mailto:carollmorelli@gmail.com)

**Resumo**

Os poliuretanos são polímeros preparados a partir da reação entre isocianatos polifuncionais e polióis, contendo ligações uretano intramoleculares. O poliuretano termorrígido (PUR) é um polímero não biodegradável e não reprocessável por fusão, de modo que o seu resíduo se torna um problema ambiental. O objetivo desse trabalho foi produzir e caracterizar compósitos de poliuretano termoplástico (TPU) incorporados com partículas de resíduo de poliuretano termorrígido através do processo de extrusão, como uma alternativa para o reaproveitamento do resíduo de PUR e melhoria das propriedades do TPU. Os compósitos extrudados com teores de PUR de 10%, 20% e 30% em massa tiveram suas propriedades morfológicas, térmicas e mecânicas analisadas. O compósito com teor de 20% de carga (TPU/PUR20%) apresentou os melhores resultados, com um aumento de 117% no módulo elástico e de 79% na tensão de escoamento quando comparado à matriz pura (TPU/PUR0%).

O não incremento adicional das propriedades mecânicas no compósito com 30% de PUR (TPU/PUR30%) foi relacionado à maior heterogeneidade do compósito, dada à dificuldade de dispersão e distribuição do alto teor das partículas de PUR na matriz. O estudo realizado apresentou uma alternativa viável para o aproveitamento e agregação de valor do resíduo de poliuretano termorrígido, contribuindo para minimização de impactos ambientais e para melhoria das propriedades do poliuretano termoplástico.

**Palavras-chave:** Resíduo de Espuma Rígida; Poliuretano Termoplástico; Extrusão; Reaproveitamento; Termoprensagem.

### **Abstract**

Polyurethanes are polymers prepared from the reaction between polyfunctional isocyanates and polyols, containing intramolecular urethane bonds. The thermosetting polyurethane (PUR) is a non-biodegradable polymer, that cannot be reprocessed by melting, so that the waste generated becomes an environmental problem. The objective of this study was to produce and characterize thermoplastic polyurethane (TPU) composites incorporated with rigid polyurethane particles through the extrusion process, as an alternative for the reuse of the PUR and improvement of the TPU properties. Extruded composites with 10%, 20% and 30% in weight were thermopressed and had their morphological, thermal and mechanical properties analyzed. The composite with 20% of filler (TPU/PUR20%) presented the best results, with an increase of 117% in the elastic modulus and 79% in the yield stress when compared to the pure matrix (TPU/PUR0%). No additional increment of the mechanical properties was observed to the composite with 30% of PUR (TPU/PUR30%), probably because of the greater heterogeneity of this composite, related to the difficulty of dispersion and distribution of the high content of the PUR particles in the matrix. This study presented a viable alternative for the use and value aggregation of the thermoset polyurethane residue, contributing to minimize environmental impacts and to improve the properties of thermoplastic polyurethane.

**Keywords:** Rigid Foam Waste; Thermoplastic Polyurethane; Extrusion; Reuse; Thermopressing.

### **Resumen**

Los poliuretanos son polímeros preparados a partir de la reacción entre isocianatos polifuncionales y polioles, que contienen enlaces de uretano intramoleculares. El poliuretano termoestable (PUR) es un polímero no biodegradable que no puede reprocesarse fundiéndose,

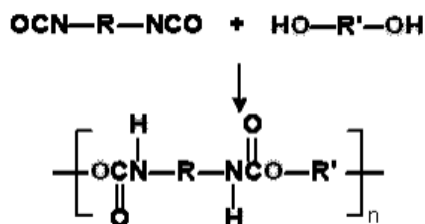
por lo que su residuo se convierte en un problema ambiental. El objetivo de este trabajo fue producir y caracterizar compuestos de poliuretano termoplástico (TPU) incorporados con partículas de residuos de poliuretano termoestable a través del proceso de extrusión como una alternativa para la reutilización de residuos de PUR y la mejora de las propiedades de TPU. Los compuestos extruidos con contenidos de PUR de 10%, 20% y 30% en masa tuvieron sus propiedades morfológicas, térmicas y mecánicas analizadas. El compuesto con un contenido de carga del 20% (TPU / PUR20%) mostró los mejores resultados, con un aumento del 117% en el módulo elástico y del 79% en el límite elástico en comparación con la matriz pura (TPU / PUR0%). El no incremento de las propiedades mecánicas en el compuesto de PUR al 30% (TPU / PUR30%) se relacionó con la mayor heterogeneidad del compuesto, debido a la dificultad de dispersión y distribución del alto contenido de partículas de PUR en la matriz. El estudio presentó una alternativa viable para la utilización y la adición de valor del residuo de poliuretano termoestable, contribuyendo a la minimización de los impactos ambientales y a la mejora de las propiedades del poliuretano termoplástico.

**Palabras clave:** Residuo de Espuma Rígida; Poliuretano Termoplástico; Extrusión; Reutilización; Termoformado.

## 1. Introdução

O poliuretano (PU) é um polímero que contém grupos uretano ( $-\text{COONH}-$ ) em sua estrutura e é obtido a partir da reação de diisocianatos com polióis (Figura 1). Os isocianatos constituem os segmentos rígidos da estrutura polimérica e determinam o seu comportamento em temperaturas elevadas. Os diisocianatos comumente utilizados no preparo de espumas de poliuretano são o tolueno diisocianato (TDI) e o 4,4-difenilmetano diisocianato (MDI). Os polióis, por sua vez, constituem os segmentos flexíveis e são responsáveis pelas propriedades elásticas e de flexibilidade em temperaturas baixas. Os polióis podem ser poliéteres, poliésteres ou possuir estrutura hidrocarbônica como, por exemplo, o 1,4-butanodiol (Vilar, 2004). Os segmentos rígidos e flexíveis são representados na Figura 2.

Figura 1: Formação do grupo uretano



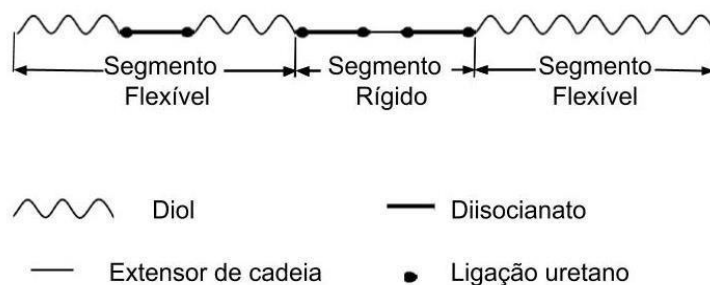
Fonte: Vilar (2004)

Dependendo dos reagentes utilizados tais como extensores ou reticuladores de cadeia, catalisadores, agentes de expansão, surfactantes e cargas, assim como das condições de reação, os poliuretanos podem ser obtidos na forma de materiais termoplásticos ou termorrígidos, com uma grande diversidade de propriedades mecânicas, térmicas e químicas. Suas diversas aplicações incluem espumas flexíveis para estofamento de móveis, espumas rígidas para isolamento acústico ou térmico em paredes, telhados e eletrodomésticos ou como um termoplástico usado em dispositivos médicos, calçados, revestimentos adesivos, selantes aplicados em pisos e interiores automotivos (Brains, 1969; Hepburn, 1992).

Callister (2002) define o poliuretano termoplástico como um elastômero termoplástico, por combinar a processabilidade de um termoplástico, capaz de fundir sob aquecimento, com o comportamento mecânico de um elastômero, devido a sua estrutura composta por segmentos rígidos e flexíveis. Eles são obtidos a partir de diisocianatos e polióis difuncionais. As propriedades dessa classe de PU podem ser drasticamente melhoradas pela adição de um extensor de cadeia, que são moléculas difuncionais com baixa massa molar ou pré-polímeros capazes de reagir com os grupos isocianatos ou hidroxilas terminais da cadeia de PU (Szycher, 1999).

A espuma rígida de poliuretano é obtida a partir de um MDI, com funcionalidade entre 2,7-3,0, e um polioliol com funcionalidade maior ou igual a 3. A funcionalidade de ambos se refere ao número de grupos isocianato ou hidroxila que o composto possui por molécula. Devido a essas funcionalidades a espuma de poliuretano forma uma estrutura polimérica tridimensionalmente reticulada. Entretanto, a formulação de uma espuma rígida contém também um agente reticulador de cadeia de baixa massa molar, com funcionalidade maior que 3, para melhorar a estabilidade dimensional, resistência química e mecânica. O exemplo mais comum de agente de reticulação usado no preparo dessa espuma é o glicerol.

Figura 2: Estrutura de um poliuretano com os segmentos flexível e rígido.



Fonte: Ecco (2011) e Oertel (1993)

As espumas termorrígidas de poliuretano são materiais duráveis, porém não biodegradáveis. Dessa forma, a reciclagem e o estudo de formas de reutilização desse material têm recebido atenção especial em todo o mundo devido a questões regulatórias e ambientais. Os resíduos são normalmente dispostos em aterros sanitários, não retornando ao processo produtivo. Entretanto, o aumento dos custos e a diminuição do espaço do aterro estão forçando a consideração de opções alternativas para o descarte e reaproveitamento de poliuretanos (Vermette, 2001). A espuma de poliuretano termorrígido pode ser reciclada por hidrólise, alcoólise, aminólise e glicólise. Nesses métodos de reciclagem química o resíduo de PU termorrígido é submetido a reações químicas e processos de separação visando obter monômeros ou oligômeros do polioliol, que podem ser utilizados para a produção de novos poliuretanos. Entretanto, esse tipo de reciclagem não se mostra economicamente competitivo, dado a sua complexidade e alto custo em contraste com o baixo custo do polioliol virgem.

Segundo a estimativa de Zia *et al.*, (2007), o consumo de espuma rígida de PU utilizada principalmente nos mercados de construção e refrigeração aumentaria a uma taxa anual média de cerca de 3,5% de acordo com os níveis de PIB, durante o período de 2015-2020. Torna-se, então, necessária a criação de mecanismos de reaproveitamento desse material.

As espumas de termorrígidos tiveram boa aceitação quando reaproveitadas como substitutos parciais de agregados finos na produção de concretos e argamassas. O emprego dessas espumas mostrou-se como um método viável e não modificou consideravelmente a resistência do concreto e da argamassa (Wypych, 2016). Tentativas quanto à incorporação de

resíduos dessas espumas pulverizadas na fabricação de espumas flexíveis não apresentaram resultados satisfatórios, uma vez que houve piora das propriedades das espumas flexíveis resultantes quando comparadas ao desempenho das espumas flexíveis comerciais.

O presente trabalho visou o aproveitamento de resíduo de espuma rígida de poliuretano como carga em uma matriz de poliuretano termoplástico através de processos utilizados em larga escala pela indústria de transformação de polímeros, como extrusão e termoprensagem. Para tanto, composições com diferentes teores de carga foram preparadas e tiveram suas propriedades mecânicas, térmicas e morfológicas caracterizadas.

## 2. Metodologia

No trabalho foi utilizado como matriz o poliuretano termoplástico 90 shore A (TPU 5127/A90) da Fotiprene (FCC). O resíduo de espuma rígida de poliuretano foi gentilmente doado pela empresa Polyurethane Ind. e Com. Ltda, de Ibirité/MG. O resíduo foi obtido a partir da cominuição das rebarbas do processo de produção das espumas rígidas, com partículas de diâmetro da ordem de 100-1700  $\mu\text{m}$ . Para a elaboração dos compósitos foram utilizadas partículas do resíduo com tamanhos inferiores a 300  $\mu\text{m}$ , separadas através de uma peneira vibratória da BerTel.

O resíduo de espuma e o poliuretano termoplástico (TPU) foram primeiramente secos em estufa de circulação de ar da Quimis a 100°C por 4h. Foram preparados compósitos com três teores de carga de poliuretano termorrígido (PUR), em massa: 10% (TPU/PUR10%), 20% (TPU/PUR20%) e 30% (TPU/PUR30%). Os compósitos foram extrudados em extrusora monorroscas da Seibt ES25 utilizando o seguinte perfil de temperaturas, do funil de alimentação até a matriz: 160, 170, 180, 180°C. Com o intuito de se melhorar a dispersão e a distribuição da carga de PUR na matriz de TPU, cada amostra foi processada duas vezes na extrusora monorroscas, sob as mesmas condições.

O TPU extrudado e os compósitos foram termoprensados utilizando uma prensa hidráulica da Solab. Para confecção das chapas foi utilizado um molde metálico de zinco, com região central vazada quadrangular de 11 cm x 11 cm e espessura de 0,85 mm. As amostras

foram prensadas na temperatura de 210°C em dois passos: por 10 min com uma pressão de 4t e durante 5 min com pressão de 5t.

O equipamento utilizado na análise termogravimétrica foi o Simultaneous Thermal Analyzer (STA) 6000/8000 da PerkinElmer. As amostras foram submetidas à análise na faixa de temperatura de 35°C a 750°C, com taxa de aquecimento de 10°C·min<sup>-1</sup> em atmosfera de ar sintético, com um fluxo de 20 mL·min<sup>-1</sup>. O ensaio de tração foi realizado no equipamento universal de ensaios EMIC 23-100, à temperatura ambiente, seguindo a norma ASTM D882. Foram ensaiadas amostras de 1,5 cm de largura, comprimento médio de 10 cm e espessura de 1,6 mm.

A caracterização morfológica das amostras dos compósitos de TPU/PUR de 10%, 20% e 30% foram realizadas em um microscópio eletrônico de varredura (MEV) modelo Vega3 da Tescan, operando em tensão de aceleração de 5kV. As amostras foram submetidas à metalização com ouro. As micrografias, no modo SE, das amostras foram obtidas da seção transversal dos corpos de prova.

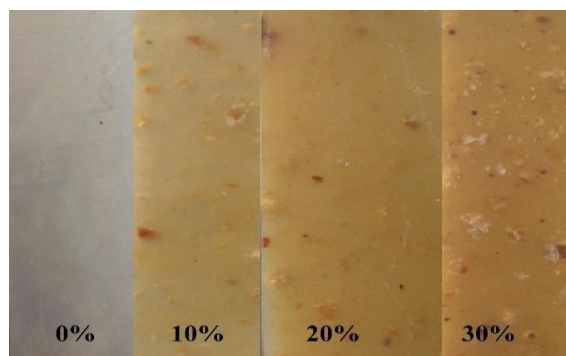
### 3. Resultados

Fotografias dos compósitos extrudados e termoprensados de TPU com 0%, 10%, 20% e 30% em peso de PUR estão apresentadas na Figura 3. A matriz pura de TPU (0%) manteve sua cor transparente após a extrusão e a termoprensagem, indicando que não houve indício de degradação térmica do material nas condições de processo, o que foi comprovado pela análise termogravimétrica, conforme será apresentado adiante.

Em se tratando dos compósitos com PUR, é possível notar uma coloração amarronzada, que é decorrente da cor original do resíduo de espuma de poliuretano (já amarelado), além da possível contribuição da degradação térmica do polímero induzida pela presença de cerca de 10% de isocianato livre que normalmente integram a formulação de poliuretanos. Em adição, a partir de 238°C a degradação térmica do PUR já se acentua, conforme será apresentado na análise termogravimétrica (Figura 4). Esse valor é próximo da provável temperatura máxima real de extrusão, considerando o aquecimento viscoso adicional gerado por cisalhamento (temperatura nominal máxima de 180°C), e próximo da temperatura usada na termoprensagem (210°C).

O fato dos filmes prensados terem saído uniformemente amarronzados é um indicativo que a carga foi distribuída na matriz de TPU. Entretanto, a dispersão da carga decorrente da utilização da extrusora monorroscas não foi ideal, mesmo após duas extrusões, uma vez que ainda é possível visualizar pontos de aglomerados de carga nos compósitos (Figura 3). A quantidade de agregados visíveis é ainda maior na composição com 30% de PUR (Figura 3), dada a maior dificuldade de dispersão e distribuição de maiores teores de carga. A dispersão e a distribuição dessa carga nos compósitos poderiam ser melhoradas através da utilização de uma extrusora dupla-rosca co-rotacional.

**Figura 3:** Aparência dos filmes dos compósitos termoprensados: matriz de TPU pura (0%) e os compósitos de TPU com diferentes teores de PUR em massa (10%, 20% e 30%).



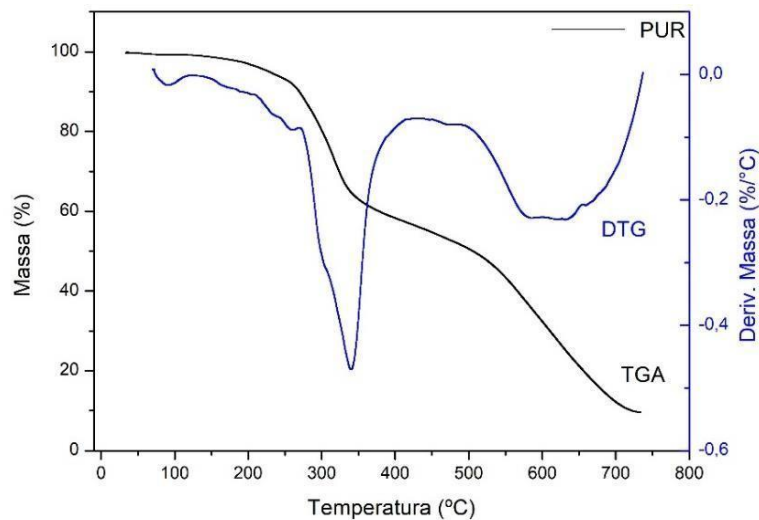
Fonte: Autores

### 3.1 Termogravimetria

A análise termogravimétrica do resíduo de espuma rígida de poliuretano mostrou que ocorreram três eventos de perda de massa (Figura 4). Entre 37 e 100°C há perda de massa que pode estar relacionada a umidade ou monômeros livres. A segunda perda de massa, a aproximadamente 238°C, está relacionada à degradação da estrutura polimérica do PUR, que é uma estrutura não segmentada, conforme descrito por Bolsoni (2008). Isto é, sua estrutura não é constituída de duas ou mais fases (blocos poliméricos de segmentos rígidos e flexíveis). A terceira perda de massa ocorre a partir de 515°C e corresponde à combustão dos produtos degradados na etapa anterior (Howard, 2002).

**Figura 4:** Curva termogravimétrica e sua derivada (DTG) do resíduo de espuma rígida de poliuretano (PUR).

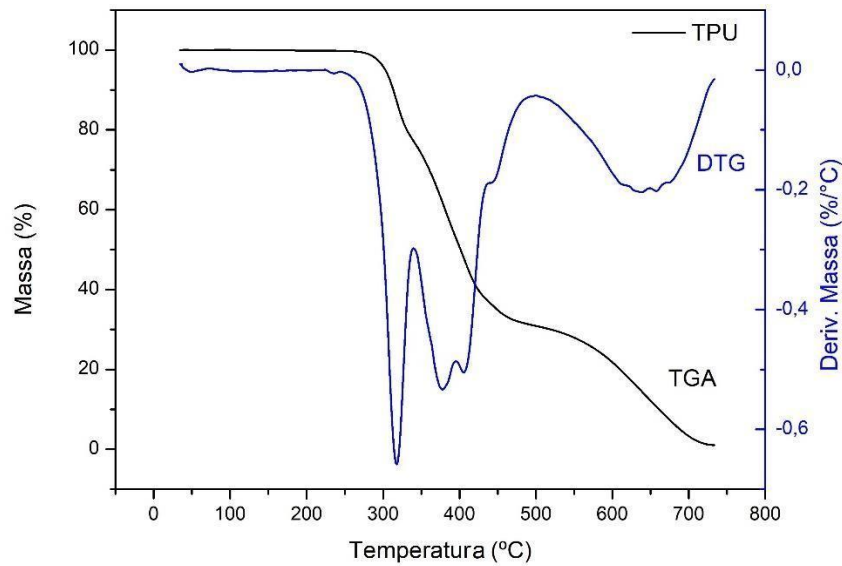




Fonte: Autores

Na degradação do TPU há formação de uma variedade de produtos gasosos justificando as várias etapas encontradas, conforme apresentado na curva termogravimétrica e sua derivada (DTG), na Figura 5. O primeiro evento de perda de massa, com temperatura de início ( $T_{\text{onset}}$ ) de  $297^{\circ}\text{C}$ , corresponde à degradação da fase rígida, que resulta na dissociação de álcoois e grupos isocianatos, com formação de aminas primárias e secundárias, olefinas e dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ). Depois da primeira etapa de decomposição, quando as ligações mais fracas já foram quebradas, a segunda e terceira etapas de perda de massa são mais lentas, com  $T_{\text{onset}}$  de  $363^{\circ}\text{C}$  e  $412^{\circ}\text{C}$  respectivamente, e correspondem à degradação da estrutura do segmento flexível (Herrera, 2002). O terceiro evento de perda de massa ocorreu em duas etapas (dois picos na curva DTG).

**Figura 5:** Curva termogravimétrica e sua derivada (DTG) do poliuretano termoplástico não processado (TPU).

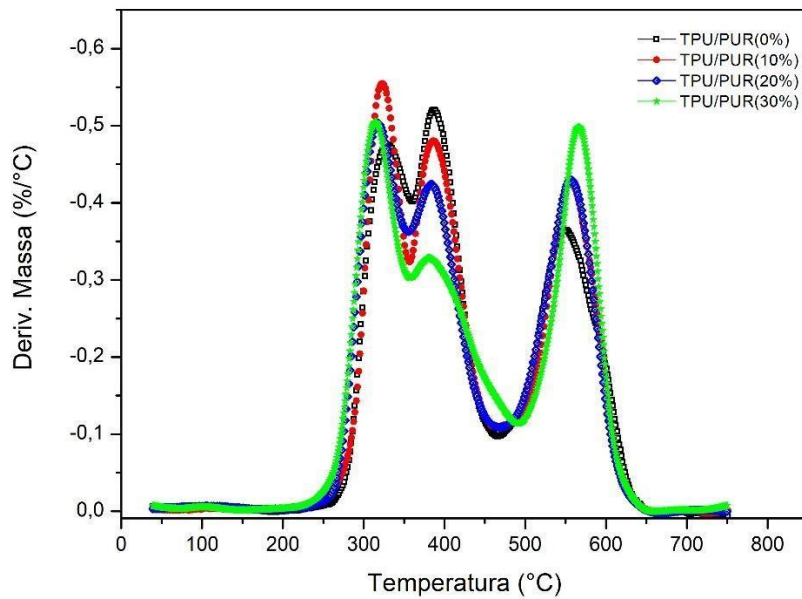


Fonte: Autores

As curvas DTG, derivadas das curvas termogravimétricas das amostras extrudadas e termoprensadas (TPU puro e compósitos), podem ser observadas na Figura 6. As amostras apresentaram três principais eventos de perda de massa (três picos na curva DTG). O primeiro evento de perda de massa é referente à degradação da fase rígida e o segundo evento refere-se à degradação da fase flexível, como explicado anteriormente na análise do TPU não processado (Figura 5).

No entanto, diferentemente do observado para o TPU não processado, o segundo evento de degradação da amostra do filme extrudado e termoprensado ocorreu em apenas uma etapa (com apenas um pico na curva DTG), como pode ser visto na Figura 6. Isso é um indicativo de que a extrusão pode ter promovido a mistura dentro do próprio domínio flexível. O terceiro evento de perda de massa (terceiro pico da curva DTG), assim como supracitado, refere-se à combustão dos produtos das etapas anteriores.

**Figura 6:** Curva DTG dos filmes extrudados e termoprensagem: TPU puro (TPU/PUR(0%)) e compósitos de TPU com 10, 20 e 30% de PUR.



Fonte: Autores

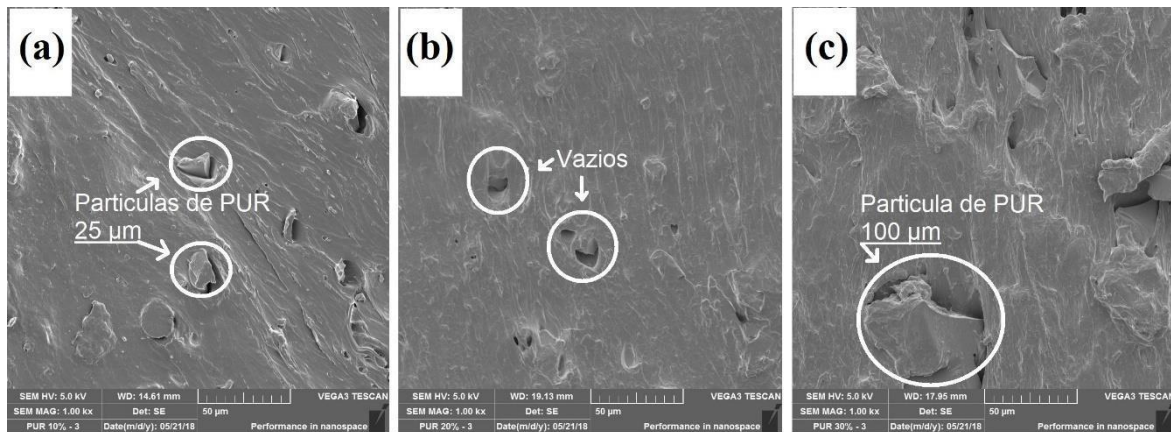
Observa-se a partir da Figura 6 que a perda de massa associada à degradação da fase rígida dos compósitos foi maior do que a observada para a matriz pura (TPU/PUR0%), o que pode ser verificado através da análise comparativa da intensidade dos primeiros picos nas curvas DTG das amostras. Isso era esperado, uma vez que a carga de poliuretano termorrígido contribui com mais grupos rígidos e ligações cruzadas para a estrutura do compósito.

Os compósitos com PUR tiveram uma temperatura de início de degradação térmica, em média, cerca de 10°C menor do que a observada para o TPU puro devido à menor estabilidade térmica da carga. No entanto, essa diferença não compromete a estabilidade térmica do TPU requerida na maior parte de suas aplicações.

### 3.2 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

A Microscopia Eletrônica de Varredura foi realizada nos compósitos de TPU/PUR10%, TPU/PUR20% e TPU/PUR30% para avaliar a distribuição das partículas e a interação entre elas e a matriz termoplástica. As micrografias resultantes são mostradas na Figura 7.

**Figura 7:** Micrografias de MEV dos compósitos com teores de PUR de 10% (a), 20% (b) e 30% (c). As partículas de PUR e os vazios formados pela remoção das mesmas no momento do corte foram sinalizados nas micrografias.



Fonte: Autores

Nessa análise foi possível notar que os compósitos com 10% e 20% em massa de PUR, representados nas figuras 7a e 7b, respectivamente, apresentaram melhor dispersão e distribuição da carga do que o compósito com 30% de PUR, exposto na Figura 7c. Durante o corte algumas micropartículas foram arrancadas formando-se vazios na matriz, como exposto na Figura 7b. Os vazios e os tamanhos das partículas foram medidos nos compósitos e estão na faixa entre 25 µm e 150 µm. Essa medida indica que o cisalhamento durante o processo de dupla extrusão com monorroscas conseguiu promover, em certa escala, uma diminuição do tamanho das partículas, que inicialmente era de 300 µm. No entanto, algumas partículas grandes ainda foram observadas nos compósitos, principalmente no compósito com maior teor de carga, de 30%.

### 3.3 Ensaio de Tração

A adição das partículas rígidas de PUR aumentou o módulo de elasticidade em comparação ao TPU puro (TPU/PUR0%), conforme apresentado na Tabela 1 e na Figura 8. No compósito com 20% de carga (amostra TPU/PUR20%) o aumento no módulo elástico foi de mais de duas vezes (117%). É interessante notar que esse aumento expressivo ocorreu sem comprometer a deformação no escoamento, uma vez que não houve variação significativa considerando-se os desvios-padrão envolvidos. Ou seja, o comportamento elastomérico do

TPU, desejável em inúmeras aplicações, não foi deteriorado, tendo-se ainda o ganho de aumento da rigidez.

A tensão de escoamento do TPU também aumentou com o acréscimo das partículas de poliuretano termorrígido, chegando a ser até 79% maior no caso da amostra com 20% de PUR. Esse é um indicativo de boa interação carga/matriz, conforme observado na análise das micrografias de MEV. O reforço resulta principalmente do alargamento do espectro de relaxamento, aumentando a capacidade de dissipação de energia de deformação na presença de cargas. As partículas de enchimento podem retardar ou parar uma fissura de crescimento lento.

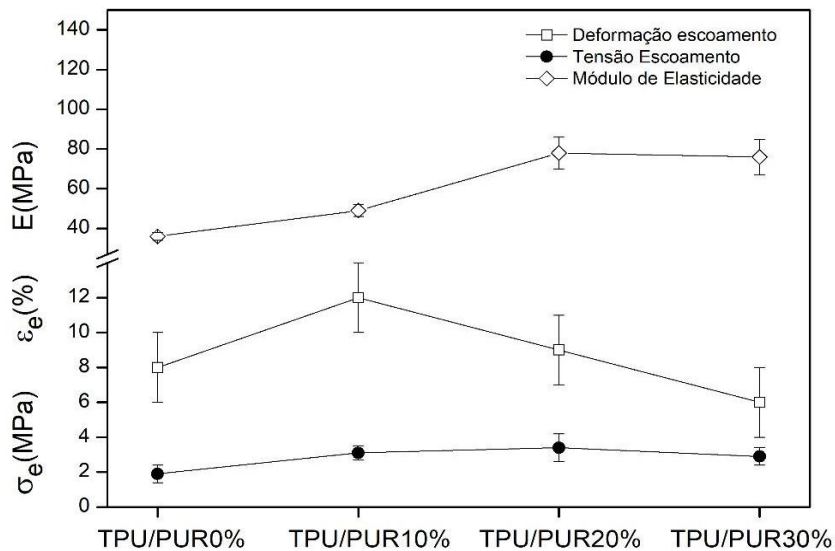
**Tabela 1:** Valores do módulo de elasticidade, tensão e deformação no escoamento da matriz pura e dos compósitos termoprensados.

Composição	Módulo de Elasticidade	Tensão no Escoamento	Deformação no Escoamento
	E (MPa)	$\sigma_e$ (MPa)	$\epsilon_e$ (%)
TPU/PUR0%	36±2	1,9±0,5	8±2
TPU/PUR10%	49±3	3,1±0,4	12±2
TPU/PUR20%	78±8	3,4±0,8	9±2
TPU/PUR30%	76±9	2,9±0,5	6±2

Fonte: Autores

O aumento do teor de carga de 20 para 30% não resultou em incremento adicional das propriedades mecânicas, devido à maior dificuldade de dispersão das partículas em extrusora monorroscas.

**Figura 8:** Deformação no escoamento ( $\epsilon_e$ ), tensão no escoamento ( $\sigma_e$ ) e módulo elástico (E) dos compósitos termoprensados



Fonte: Autores

#### 4. Conclusões

A incorporação de resíduo de espuma termorrígida em uma matriz de poliuretano termoplástico por extrusão mostrou ser uma alternativa viável e eficaz para o reaproveitamento e agregação de valor desse resíduo, minimizando seu impacto ambiental. A carga de poliuretano termorrígido (PUR) não comprometeu a estabilidade térmica do poliuretano termoplástico. Em adição, a carga aumentou significativamente o módulo elástico e a tensão de escoamento do poliuretano termoplástico, sem deteriorar sua elasticidade. Os melhores resultados foram obtidos com o teor de 20% em massa de PUR, com o qual houve um aumento de 117% no módulo elástico e de 79% na tensão de escoamento da matriz pura. Não foi observado um incremento adicional nas propriedades com o teor de 30% de PUR, devido à dificuldade de dispersão da carga na extrusora monorroscas. No entanto, acredita-se que com o uso de uma extrusora dupla-roscas co-rotacional maiores teores de PUR poderiam ser incorporados.

## 5. Agradecimentos

Os autores agradecem à empresa *Polyurethane* (Ibirité-MG) por disponibilizar os resíduos de espuma rígida de poliuretano.

## Referências

Bolsoni, E. (2008). Estudo do reaproveitamento e reutilização das espumas rígidas de poliuretano pós-consumo. Tese de Doutorado em Engenharia e Ciência de Materiais, Universidade Federal do Paraná, Paraná, Curitiba. Disponível em: <http://www.pipe.ufpr.br/portal/defesas/tese/027.pdf>

Brains, P.F. (1969). *Polyurethanes Technology*. Hoboken: John Wiley & Sons.

Callister, J. R. (2002). *Ciência e Engenharia de Materiais – uma Introdução*. 5. ed., São Paulo: LTC Editora.

Ecco L. G. (2011). Efeito do surfactante nas propriedades físicoquímicas de blendas TPU/PPy. Dissertação de Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, Florianópolis. Disponível em: <http://www.tede.ufsc.br/teses/PCEM0247-D.pdf>

Hepburn, C. (1992). Polyurethane elastomer chemistry. In: *Polyurethane Elastomers*. Dordrecht: Springer, 29-50.

Herrera, M.; Matuschek, G.; Kettrup, A. (2002). Thermal degradation of thermoplastic polyurethane elastomers (TPU) based on MDI. *Polymer degradation and stability*, 78 (2), 323-331. doi: 10.1016/S0141-3910(02)00181-7

Howard, T. G. (2002). Polyurethane Biodegradation: a review. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 49 (4), 245-252. doi: 10.1016/S0964-8305(02)00051-3

Oertel, G. (1993). *Polyurethane Handbook: Chemistry, Raw Materials, Processing, Application, Properties*. 2ed. New York: Hanser Publishers, 23.

Szycher, M. (1999). *Szycher's Handbook of Polyurethanes*. Boca Raton (FL): CRC Press.

Vermette, P. (2001). *Biomedical applications of polyurethanes*. Gergetown: Landes Bioscience, 273.

Vilar, W. (2004). *Química e Tecnologia de Poliuretanos*. 3ªed. Rio de Janeiro: Vilar Consultoria.

Wypych, G. (2016). *Handbook of polymers*. Toronto: ChemTec Publishing.

Zia, K. M.; Bhatti, H. N.; Bhatti, L. A. (2007). Methods for polyurethane and polyurethane composites, recycling and recovery: A review. *Reactive and functional polymers*, 67(8), 675-692. doi: 10.1016/j.reactfunctpolym.2007.05.004

#### **Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito**

Kerciely Martins do Carmo – 60%

Mercês Coelho da Silva – 10%

Carolina Lipparelli Morelli – 30%