

Compósitos de Poliuretano com Resíduos Industriais

Polyurethane Composites with Industrial Residues

Victor Leibnitz Hipólito, graduando, UNISUL.

victorhipolito_@hotmail.com

Edivandro Giroto, Dr, UFSC.

girottoedi@hotmail.com

Rachel Faverzani Magnago, Dr, UNISUL.

Rachel.magnago@unisul.br

Resumo

O poliuretano (PU) é frequentemente utilizado como isolamento térmico e acústico em telhados, paredes e pisos de edificações. No entanto, o PU não exibe resistência ao fogo e sua combustão pode liberar gases tóxicos e letais. Neste estudo, foram desenvolvidos painéis de compósitos de PU utilizando resíduos industriais, onde os espécimes de PU contendo lodo de vidro, lodo da anodização de alumínio e politereftalato de etileno (PET) foram obtidas pela policondensação entre isocianato e polioli. O espécime foi comparado com compósitos de retardantes de chama comerciais (MDH e ATH) e com PU quanto aos requisitos de inflamabilidade. Também foi realizada a análise termogravimétrica, microscopia eletrônica de varredura após teste de inflamabilidade e resistência à compressão dos espécimes desenvolvidos. O melhor resultado foi obtido quando associando lodo de vidro, PET e lodo de alumínio. O sinergismo dos mecanismos de degradação induziu desaceleração da combustão e extinção da chama, a amostra manteve a estrutura de alvéolos depois do teste de inflamabilidade e a estabilidade termogravimétrica foi semelhante ao PU. Os compósitos apresentaram resistência à compressão adequada para ser utilizado como compósito estruturado em sanduíche nas paredes.

Palavras-chave: Resíduos industriais; Poliuretano (PU); Retardador de chama

Abstract

Polyurethane (PU) is often used as thermal and acoustic insulation on roofs, walls and floors of buildings. However, PU does not exhibit fire resistance and its combustion can release toxic and lethal gases. In this study, PU composite panels were developed using industrial waste, where PU sludge containing glass sludge, aluminum anodizing slurry and polyethylene terephthalate (PET)

were obtained by polycondensation between isocyanate and polyol. The specimen was compared with commercial flame retardant composites (MDH and ATH) and PU with regard to flammability requirements. Also, thermogravimetric analysis, scanning electron microscopy after flammability test and compressive strength of the developed specimens were performed. The best result was obtained when associating glass sludge, PET and aluminum sludge. The synergism of the degradation mechanisms induced combustion deceleration and flame extinction, the sample maintained the alveoli structure after the flammability test and the thermogravimetric stability was similar to the PU. The composites presented adequate compressive strength to be used as a sandwich composite on the walls.

Keywords: Industrial residues; Polyurethane (PU); Flame retardant

1. Introdução

O uso de materiais poliméricos em estruturas de edificações é cada vez mais comum por possuírem excelente capacidade de isolamento acústico e térmico utilizados entre alvenarias, telhas e estruturas de wood e steel frame. Devido a ocorrência de casos de incêndios, têm-se estabelecido através de normas regulamentadoras, orientação e controle quanto ao uso de polímeros com a finalidade de minimizar riscos, tendo em vista que a combustão desses materiais pode formar gases tóxicos e letais (VLADIMIROV, 2011; ABNT NBR 9178:2015). Um trágico incêndio ocorreu no ano de 2013 na boate Kiss na cidade de Santa Maria (RS) reforçando a necessidade de soluções seguras para isolamento de ambientes (MENDONÇA, 2014; WANG, 2014).

Existem diferentes maneiras de reduzir a inflamabilidade de polímeros, porém a introdução física de substâncias retardantes de chama é a mais usual e apresenta vantagens em relação aos custos de matéria-prima e incorporação. Os principais retardantes de chama são divididos em compostos halogenados e não halogenados. Os retardantes halogenados são mais eficientes, porém geram gases tóxicos no momento da combustão. Por sua vez, os retardantes não halogenados não produzem tais gases e dentre esses o trihidróxido de alumínio (ATH) e o dihidróxido de magnésio (MDH) se destacam (GUO et al., 2015).

Uma alternativa economicamente responsável está no uso de resíduos ou subprodutos de processos industriais como retardante de chamas incorporando como insumo secundário, quando possuem propriedades antichama, assim apresentando vantagem em relação ao custo e proporcionando novo ciclo de vida.

Neste trabalho foram escolhidos os resíduos de lodo da anodização do alumínio, lodo da lapidação de vidro e descartes de politereftalato de etileno. Os lodos apresentam nas suas constituições, material inerte ao fogo, principalmente os óxidos metálicos, imprimindo um caráter inflamável no produto que o compõem (ABAL, 2018). Enquanto que o politereftalato de etileno apresenta ponto de fulgor superior ao do PU, podendo retardar o início da ignição do material (PLASTICSINSIGHT, 2018; ABIPET, 2018; REBEHY et al., 2017; NALINI et al., 2016; PLASTICS EUROPE, 2015; KREIGER et al., 2014). Portanto, o desafio é converter os resíduos em produtos úteis, considerando os aspectos ambientais, econômicos e sociais que permitiriam seu uso e contribuir para a proteção dos recursos naturais (REBEHY et al., 2017; TEUBER et al., 2016; TONET; GORNINSKI, 2013; NAGEL, 2013).

A construção civil é uma indústria com grande potencial para o uso de resíduos em suas formulações (MACHADO et al., 2018; MYMRIN et al., 2018; D'AMORE et al., 2017;

PIVNENKO et al., 2016; SALESA et al., 2016). Machado et al. (2018) demonstraram que os resíduos de poliuretano (PU) podem ser reciclados para produzir painéis aglomerados com um retardador de chama. Além disso, Mymrin e colaboradores (2018) desenvolveram compósitos de resíduos de concreto, lodo de anodização de alumínio e resíduos da produção de cal que poderiam ser utilizados como matéria-prima para a produção de produtos de construção, como tijolos e blocos não queimados, cujas propriedades mecânicas excedem as exigências das normas brasileiras. Em nosso grupo de pesquisa desenvolveu-se painéis isolantes para construção civil que reciclaram PET, PVC e PU (MARQUES et al., 2018; BARCELOS et al., 2016; MAGNAGO et al., 2017). No entanto, não existe nenhum estudo que examine o uso de resíduos de PET, lodo da lapidação de vidro e lodo de anodização de alumínio em compósitos de PU para melhorar a inflamabilidade. O uso desses resíduos como insumos evita seu descarte em aterros em todo mundo e resulta na produção de compósitos úteis e economicamente convenientes. O objetivo deste estudo foi desenvolver novo compósito com parte dos insumo de descartes de PET, lodo de vidro e lodo de anodização de alumínio e comparar com compósitos de retardantes de chama comerciais quanto aos requisitos de inflamabilidade de padrões internacionais e estabilidade térmica, verificando a estrutura interna do material por microscopia eletrônica de varredura após teste de inflamabilidade e a resistência à compressão dos espécimes desenvolvidos.

2. Materiais e Métodos

Para confecção dos espécimes foram usados os reagentes polioliolpoliéter e tolueno-2,6-diisocianato (Arinos), trihidróxido de alumínio (ATH, Huber), dihidróxido de magnésio (MDH, Huber), lodo de anodização de alumínio (AAS, Hydro), lodo de vidro (Glass, Personal Glass) e descartes de politereftalato de etileno (PET, Água Mineral Santa Catarina).

Os reagentes foram usados como recebidos e seguindo normas de segurança. Os lodos de vidro e alumínio foram lavados, secos a 100° C em estufa com circulação de ar por 24 h e tamisado em peneira inox com malha de 0,3 mm. O PET pós-industrial foi lavado, seco e utilizado com granulometria entre 1,4-1,0 mm.

2.1 Espécimes

Os corpos de prova foram obtidos através da mistura do polioliol com carga por 0,5 min e, então, foi adicionado isocianato e misturado por mais 0,5 min. Os moldes foram previamente revestidos com plástico para facilitar a retirada dos corpos de prova. A mistura foi vertida para molde com dimensões respectivas para cada teste. Os corpos de prova foram preparados com a incorporação de 40% de cada carga em relação a uma massa fixa de razão de 1:2 de polioliol:isocianato assim a amostra PU-GPA possui 40% de vidro, 40% de PET e 40% de lodo de alumínio. Deste modo foram desenvolvidos espécimes de PU, PU-GPA, PU-ATH e PU-MDH, sendo ATH e MDH retardantes de chama não halogenados de uso industrial.

2.2 Inflamabilidade e Estabilidade Térmica

Os corpos de prova foram recortados de uma placa com dimensões de 180 mm de comprimento, 100 mm de largura e 20 mm de espessura, seguindo a norma UL-94 para dois ensaios, inflamabilidade horizontal (Figura 1A) e inflamabilidade vertical (Figura 1B). Após a operação de corte, foi eliminado o pó da superfície da amostra. Os corpos de prova foram secos em estufa por 168 h a 70 °C, então foram transferidos para um dessecador com sílica gel e permaneceram por 4 h (MARQUES et al., 2018; UL94, 2017).

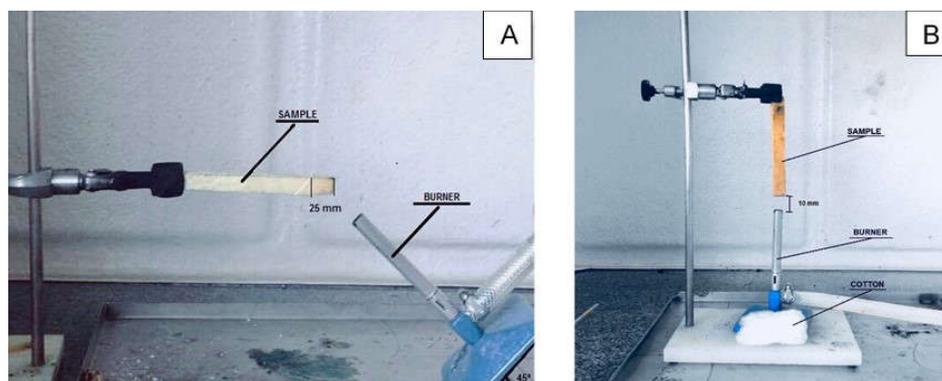


Figura 1: Montagem de testes de queima horizontal (A) e vertical (B). Fonte: elaborado pelos autores.

No teste de queima horizontal (Figura 1A), em três corpos de prova nas dimensões de 125 mm de comprimento, 13 mm de largura e 10 mm de espessura, fez-se incidir uma chama de altura de 20 ± 1 mm, a 45° durante 30 s. Foram registrados o comprimento da amostra consumida durante a combustão (ABNT NBR 9178-15, ASTM D635-14 e UL-94).

No teste de queima vertical (Figura 1B), para cinco corpos de prova nas dimensões de 125 mm de comprimento, 13 mm de largura e 10 mm de espessura, foram realizadas as etapas: (1) a chama foi colocada sob a extremidade do corpo de prova, e mantida por 10 s; (2) quando o corpo de prova parou de queimar, a amostra foi novamente exposta a chama por mais 10 s. As seguintes observações foram anotadas: t_1 , duração da chama no corpo de prova, após a primeira aplicação; t_2 , duração da chama no corpo de prova, após a segunda aplicação; t_3 , duração da chama mais a incandescência, após a segunda aplicação. Então, aplicou-se os critérios para classificação do material como V-0, V-1 e V-2 (ABNT NBR 9178-15, ASTM D635-14, UL-94).

O teste termogravimétrico dos espécimes foi realizado em atmosfera de nitrogênio e a uma taxa de aquecimento de $10^\circ \text{C}/\text{min}$ entre 20°C e 900°C , utilizando um instrumento TGA Q5000 (TA Instruments).

2.3 Microscopia Eletrônica de Varredura

A morfologia do compósito PU-GPA foi caracterizada por microscopia eletrônica de varredura (JEOL JSM-6390LV), com uma tensão de 15 kV. A amostra foi fraturada em nitrogênio líquido e revestida com ouro.

2.4 Resistência mecânica a compressão

Para o teste de resistência mecânica foram confeccionados quatro corpos de prova de cada espécime nas dimensões de 5 mm de diâmetro da base e 10 mm de altura. Os ensaios mecânicos foram realizados por compressão em um equipamento universal de ensaios, EMIC modelo DL 30000, com célula de carga de 5 kN. Os corpos de provas foram submetidos a incrementos de pressão até a deformação plástica do material a temperatura ambiente (ABNT NBR 5739:2007; ASTM D 638).

3. Resultados

Durante a reação de policondensação entre o polioli e o isocianato foi incorporado diferentes cargas para obtenção de compósitos retardantes de chama, na Figura 2 pode ser observado o espécime PU-GPA, que possui lodo de vidro, lodo de alumínio e PET.



Figura 2: Espécime PU-GPA para teste de inflamabilidade horizontal, com 40% de lodo de vidro, 40% de lodo de alumínio e 40% de PET com relação a massa inicial do PU. Fonte: elabora do pelos autores.

Em geral, os aditivos retardadores de chama são usados para minimizar o risco de iniciação do fogo e limitar sua propagação, ou seja, impedir ou dificultar a degradação térmica oxidante (combustão) do material. A Figura 3 mostra os espécimes após o teste de queima horizontal.

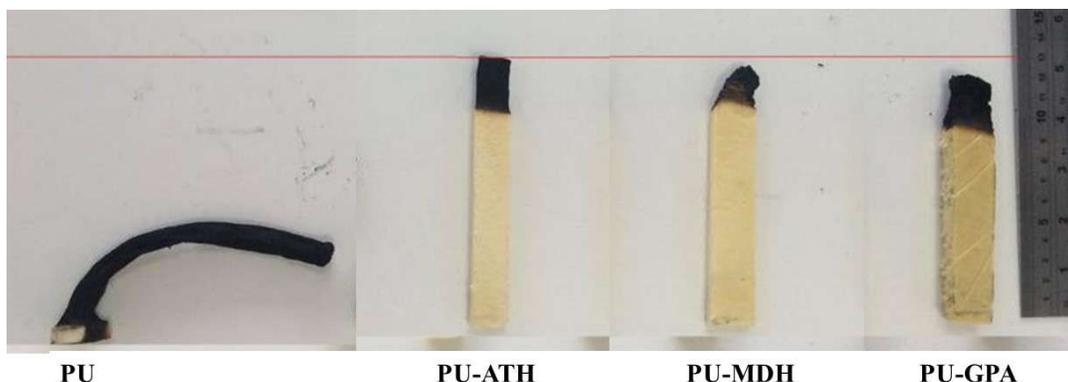


Figura 3: Amostras submetidas ao teste de queima horizontal, tem-se PU, PU-ATH (ATH, retardante de chama comercial), PU-MDH (MDH, retardante de chama comercial) e PU-GPA (lodo de vidro, lodo de alumínio e PET). Fonte: elaborado pelos autores.

As imagens do espécime PU-GPA da Figura 3 foram capturadas após o teste de queima horizontal, ou seja, após o bico de Bunsen ter sido removido e a chama autossustentada extinta. Os compósitos (PU-ATH, PU-MDH e PU-GPA) não propagaram a chama, enquanto que a amostra de PU foi consumida pelo fogo. Para o teste de inflamabilidade horizontal tem-se que a distância média percorrida pela chama não deve ser superior a 25 mm, sendo que foram registrados os valores de 125 mm para PU, 31,4 mm para PU-ATH, 30,6 mm para PU-MDH e 30,6 mm PU-GPA. O PU apresentou combustão completa com velocidade de queima de 165 mm/min, enquanto as velocidades de queima da PU-ATH, PU-MDH e PU-GPA foram de 73,2 mm/min, 108 mm/min e 129 mm/min, respectivamente. Os espécimes PU-ATH e PU-MDH, são hidróxido de alumínio e hidróxido de magnésio respectivamente. Os hidróxidos metálicos decompõem-se com o calor para os óxidos metálicos, formando uma camada vitrificada na superfície da amostra, dificultando a propagação da chama, além de eliminar água durante este processo que também auxilia no processo de extinção da

chama. O PU-GPA, apresenta na composição lodo de vidro, lodo de alumínio e PET, sendo que o lodo de vidro e de alumínio possuem óxidos metálicos, que não são inflamáveis, e que deram características de retardadores de chama para os compósitos (ELBASUNEY, S., 2017; THIRUMAL et al., 2010; ZHANG et al., 2005). Enquanto que o PET ajudou a desacelerar a combustão do compósito, provavelmente porque sua temperatura de decomposição é maior que a da PU, de modo que o aumento da viscosidade da fusão durante a pirólise pode ter retardado a volatilização e evolução dos produtos de degradação. O compósito PU-GPA, com 40% de lodo de vidro, 40% de lodo de alumínio e 40% PET apresentou bom resultado quando comparado aos compósitos PU-ATH e PU-MDH, com retardante de chama comercial, mas não de acordo com a UL94, a taxa de queima para PU-GPA foi superior a 40 mm por minuto num intervalo de 75 mm. Comparando as distâncias do teste de queima horizontal, observa-se que o PU-GPA tem um resultado similar com os retardantes comerciais enquanto o PU foi completamente consumido pelas chamas (MAEQUES et al., 2018).

Os resultados do teste de inflamabilidade vertical estão na Tabela 1, tem-se o tempo duração da chama mais a incandescência, após a segunda aplicação de chama, se amostra queimou até o prendedor, se queimou o algodão e a classificação segundo UL94.

Tabela 1. Resultados do teste de queima horizontal, tempo, queima até prendedor, queima do algodão e classificação UL94.

Amostra	Tempo (s)	Queima até o prendedor	Queimou o algodão	Classificação
PU	20*	Sim	Não	Não
PU-ATH	19	Não	Não	V-1
PU-MDH	17*	Sim	Sim	Não
PU-GPA	29	Não	Não	V-1

* PU e PU-MDH foram totalmente consumidos na primeira aplicação.

Os espécimes PU e PU-MDH mostraram combustão autossustentada até a carbonização com a primeira aplicação da chama e queimada até a prendedor, além disto o PU-MDH apresentou gotejamento durante a combustão e queimou o algodão durante o ensaio. O efeito retardador de chama não foi eficaz com 40% de MDH (TANG et al., 2015; WANG et al., 2015; THIRUMAL et al., 2010). Os espécimes PU-ATH e PU-GPA, não sustentaram chama na segunda aplicação, foram classificados como V1 segundo teste de queima vertical. Para atingir a classificação V1, nenhum corpo-de-prova, do grupo de 5 corpo-de-prova, pode sustentar chamas (chamejamento) por período superior à 30 segundos após a aplicação do queimador; o tempo total de chamejamento (1ª + 2ª aplicação de chama) não deve exceder 250 segundos para cada grupo de 5 corpos-de-prova; nenhum corpo-de-prova pode ser consumido totalmente (até atingir o grampo de sustentação); não deve ocorrer ignição do algodão, oriunda do gotejamento do material, localizado a 305 mm sob o corpo-de-prova; e nenhum dos corpos-de-prova pode sustentar abrasamento por período superior a 60 segundos após a remoção da segunda aplicação do queimador.

Em um incêndio, parte do material sofre degradação térmica oxidante (combustão), e parte pode sofrer decomposição térmica não oxidante. Reações de degradação térmica não oxidantes foram relatadas em temperaturas superiores a 300 °C para PU e PET, e as amostras testadas neste estudo indicaram um comportamento similar (LAOUTID et al., 2009;

MONTAUDO et al., 1993; SAMPERI et al., 2004). A Figura 4 mostra as curvas termogravimétricas para o lodo de alumínio, lodo de vidro, PU, PET e PU-GPA.

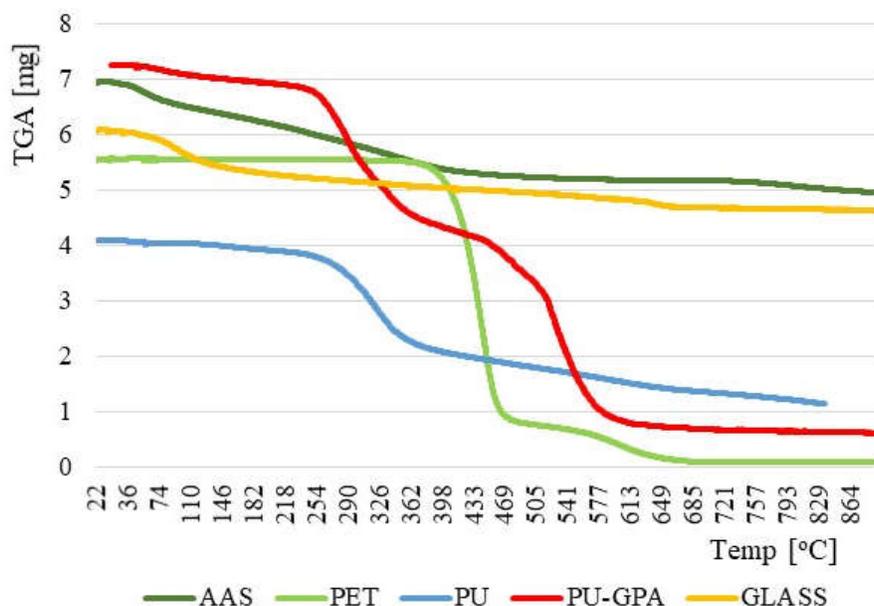


Figura 4: Curvas termogravimétricas de lodo de alumínio (AAS), lodo de vidro (GLASS), PET, PU e PU-GPA (lodo de vidro, lodo de alumínio e PET). Fonte: elaborado pelos autores.

O primeiro passo na decomposição endotérmica do PU correspondeu à quebra do segmento rígido de uretano a uma temperatura inicial de 299 °C, com um pico a uma temperatura de 355 °C e uma perda de massa de 34,46%. A segunda fase da degradação da PU correspondeu à decomposição térmica do segmento flexível, o polioli, que ocorreu no pico de temperatura de 446 °C com uma perda de massa de 39,43% (YANG et al., 2015; LAOUTID et al., 2009). No caso do PET, o processo de degradação endotérmica tornou-se significativo após 436 °C, com um pico de decomposição a 444 °C e uma perda de massa de 85,70%, correspondente à quebra das ligações éster; o segundo estágio ocorreu a 610 °C (BANNACH et al., 2011; MONTAUDO et al., 1993). A decomposição do compósito PU-GPA iniciou-se a 255 °C, com três patamares de decomposição endotérmica a 313 °C, 477 °C e 542 °C com perdas de 32%, 18% e 34%, respectivamente. Todas as temperaturas de decomposição dos compósitos foram ligeiramente inferiores às dos polímeros puros, e a incorporação do lodo de alumínio, lodo de vidro e PET não contribuiu para um aumento na estabilidade térmica do PU-GPA. As curvas TGA do lodo de vidro (GLASS) e do lodo de alumínio (AAS) (Figura 4) revelou a perda de massa na temperatura, provavelmente sendo, da perda de água das amostras.

Na Figura 5 é possível visualizar o interior do espécime PU-GPA após teste de inflamabilidade vertical, bem como a MEV do interior da amostra, região A (Figura 5A) e de uma extremidade, região B (Figura 5B).

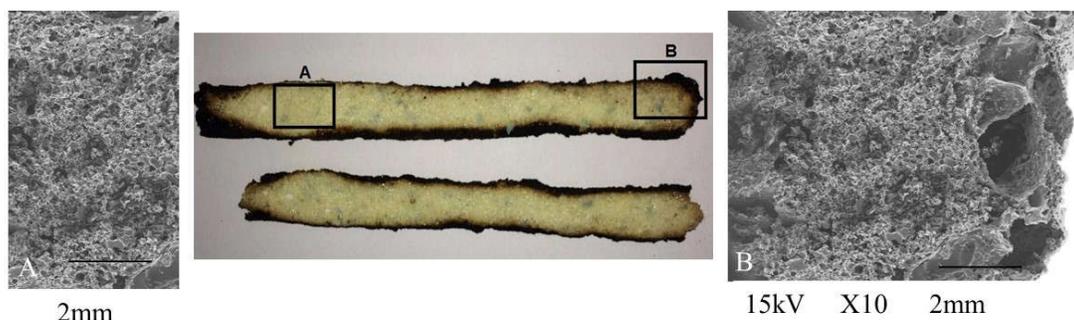


Figura 5: Corte longitudinal do espécime PU-GPA e MEV com aumento de 10 X do interior da amostra (A) e da extremidade (B). Fonte: elaborado pelos autores.

Na Figura 5 pode ser verificado que apesar da amostra de PU-GPA ter sido superficialmente carbonizada, a estrutura com poros foi mantida no interior da amostra. A microscopia eletrônica de varredura do PU-GPA (Figura 5) apresentou estrutura celular com alvéolos predominantemente fechados (WANG et al., 2017; ZHANG et al., 2005; ZHANG et al., 2015). Este exibiu retardamento de chama e supressão de fumaça durante o teste de queima vertical. As alterações da microestrutura celular ocorreram em toda a extensão do espécime, formando bolsões de gás, abaixo da camada de carbono/cerâmica na superfície do compósito, evitando assim a propagação da combustão (LAOUTID et al., 2009).

Pode ser observado na Tabela 1 a força aplicada nos espécimes PU, PU-ATH, PU-MDH e PU-GPA e os resultados da resistência mecânica a compressão com desvio padrão e coeficiente de variação e elasticidade para quatro corpos de prova.

Tabela 2. Força aplicada, resistência mecânica a compressão com desvio padrão e coeficiente de variação e elasticidade dos espécimes PU, PU-ATH, PU-MDH e PU-GPA.

Amostra	Força Máxima (kN)	Resistência Compressão (MPa)	Desvio Padrão	Coef Var (%)	Elasticidade (N/m)
PU	0,99	0,5	0,01188	2,33	15,5
PU_GPA	1,31	0,67	0,07181	10,72	106,1
PU_MDH	1,11	0,56	0,07131	12,63	92
PU_ATH	0,99	0,5	0,02167	4,272	215,4

O melhor resultado foi obtido para PU-GPA de 0,67 MPa de resistência mecânica a compressão, sendo que todos os espécimes preparados apresentaram resistência mecânica igual ou superior a 0,5 Mpa sendo este o valor de resistência para a utilização como isolante térmico e acústico segundo a ABNT NBR 8082 para espumas rígidas de PU.

CONCLUSÕES

No teste de queima horizontal o compósito desenvolvido (PU-GPA) retardou a chama semelhante aos retardantes comerciais, enquanto o PU foi consumido pelas chamas. O compósito também foi classificado segundo teste de queima vertical (UL94). O compósito,

PU-GPA, apresentou superfície carbonizada, mas a estrutura com poros foi mantida no interior da amostra, após testes de inflamabilidade.

A microscopia eletrônica de varredura do PU-GPA exibe estrutura celular, com poros predominantemente fechados.

Na ausência de chama, mas em altas temperaturas o material iniciou a decomposição iniciou-se a 255 °C, mantendo a estabilidade térmica do PU observada na análise termogravimétrica.

A resistência mecânica do material para ser empregado como isolante térmico e acústico atingiu ao estabelecido pela ABNT NBR 8082 para espumas rígidas de PU.

Agradecimento

Agradecemos à HUBER Raw Material (SP), Água Mineral Natural de Santa Catarina (SC), Hydro (SC) e Personal Glass (SC) pela doação de ATH/MDH, PET, lodo de alumínio e lodo de vidro respectivamente. O meu muito obrigada ao Dr. Hugo Gallardo, da Universidade Federal de Santa Catarina.

Referências

- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, D638: Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics. West Conshohocken, 2014.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, D635: Standard Test Method for Rate of Burning and/or Extent and Time of Burning of Plastics in a Horizontal Position. West Conshohocken, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DO PET NO BRASIL (Abipet), 2018. Disponível em: <www.abipet.org.br/index.html?method=mostrarDownloads&categoria.id=3>. Acesso em: 14 Jun. 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ALUMÍNIO (Abal), 2018. Disponível em: <<http://abal.org.br/estatisticas/>>. Acesso em: 14 Jun. 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5739: Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8082: Espuma rígida de poliuretano para fins de isolamento térmica - Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9178: Espuma flexível de poliuretano - Determinação das características de queima. Rio de Janeiro, 2015.
- BANNACH, G., PERPÉTUO, G.L., CAVALHEIRO, E.T.G., CAVALHEIRO, C.C.S., ROCHA, R.R. Effects of the thermal history on thermal properties of polymers: an experiment for thermal analysis education. **Quim. Nova**. v. 34, p. 1825-1829, 2011.
- BARCELOS, R.L. CUBAS, A.L.V., DUTRA, A.R.A., SILVA, L., LERIPIO, A.A., MAGNAGO, R.F. Preparation of Polyurethane Sheets Using Surfboard Manufacturing

Waste and Evaluation of Their Properties to Use in Brazil's Construction Industry. **J. Biol. Chem. Res.** v. 2, p. 30-37, 2016.

D'AMORE, G.K.O., CANIATO, M., TRAVAN, A., TURCO, G., MARSICH, L., FERLUGA, A., SCHMID, C. Innovative thermal and acoustic insulation foam from recycled waste glass powder. **J. Clean. Prod.** v. 165, p. 1306-1315, 2017.

ELBASUNEY, S. Novel multi-component flame retardant system based on nanoscopic aluminium-trihydroxide (ATH). **Adv. Powder Technol.** v. 305, p. 538-545, 2017.

EUROPE PLASTICS. Plastics Recycling, European Association Of. Plastics - the Facts 2014/2015: An analysis of European plastics production, demand and waste data.

Disponível em:

<issuu.com/plasticseuropeebook/docs/final_plastics_the_facts_2014_19122> . Acesso em: 24 Jun. 2018.

GUO, H., GAO, Q., OUYANG, C., ZHENG, K., XU, W. Research on Properties of Rigid Polyurethane Foam with Heteroaromatic And Brominated Benzyl Polyols. **J. Appl. Polym. Sci.** v. 132, p. 423-449, 2015.

KREIGER, M.A., MULDER, M.L., GLOVER, A.G., PEARCE, J.M. Life cycle analysis of distributed recycling of post-consumer high density polyethylene for 3-D printing filament. **J. Clean. Prod.** v. 70, p. 90-96, 2014.

LAOUTID, F., BONNAUD, L., ALEXANDRE, M., LOPEZ-CUESTA, J.M., DUBOIS, P. New prospects in flame retardant polymer materials: From fundamentals to nanocomposites. **Mater. Sci. Eng. R.** v. 63, p. 100-125, 2009.

MACHADO, A.O, DUARTE, J., OLIVEIRA, M.F., GRISA, A.M.C., ZENI, M. Agglomerated Boards Evaluation with Waste of Polyurethane Skin and Non-halogenated Flame Retardants. **J. Mater. Sci. Eng. B.** v. 8, p. 21-27, 2018.

MAGNAGO, R.F.; MULLER, N.D.; MARTINS, M.; SILVA, H.R.T.; EGERT, P.; SILVA, L. Investigating the influence of conduit residues on polyurethane plates. **Polimeros.** 27 v. 3, p. 23-37, 2017.

MARQUES, D.V., BARCELOS, R. L. SILVA, H.R.T., EGERT, P., PARMA, G.O.C., GIROTTI, E., CONSONI, D., BENAVIDES, R., SILVA, L., MAGNAGO, R.F. Recycled Polyethylene Terephthalate-Based Boards For Thermal-Acoustic Insulation. **J. Clean Prod.** v. 189, p. 251-252, 2018.

MARQUES, D.V., BARCELOS, R. L. SILVA, H.R.T., EGERT, P., PARMA, G.O.C., GIROTTI, E., CONSONI, D., BENAVIDES, R., SILVA, L., MAGNAGO, R.F. Recycled Polyethylene Terephthalate-Based Boards For Thermal-Acoustic Insulation. **J. Clean. Prod.** v. 189, p. 251-252, 2018.

MENDONÇA, H.T.T. Edificações civis em situação de incêndio: estudo de caso da boate Kiss e do edifício Joelma; Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Civil; UNIFOR-MG, Formiga, 2014.

MONTAUDO, G., PUGLISI, C., SAMPER, F. Primary thermal degradation mechanisms of PET and PBT. **Polym. Degrad. Stab.** v. 42, p. 13-28, 1993.

MYMRIN, V., PEDROSO, D.E., PEDROSO, C., ALEKSEEV, K., AVANCI, M.A., WINTER, JR.E., CECHIN, L., ROLIM, P.H.B., IAROSZINSKI, A., CATAI, R.E.

Environmentally clean composites with hazardous aluminum anodizing sludge, concrete waste, and lime production waste. **J. Clean. Prod.** v. 174, p. 380-388, 2018.

NAGEL, M.H. Managing the environmental performance of production facilities in the electronics industry: more than application of the concept of cleaner production. **J. Clean. Prod.** v. 11, p. 11-26, 2013.

NALINI, J.E. Mercado de reciclagem do lixo no Brasil: entraves ao desenvolvimento. **Novas Edições Acadêmicas**, São Paulo, 2016.

PIVNENKO, K., ERIKSEN, M., FERNÁNDEZ, E.M, EERNEST, A., TRUFT, F. Recycling of plastic waste: Presence of phthalates in plastics from households and industry. **Waste Manage.** v. 54, p. 44–52, 2016.

PLASTICSINSIGHT, Global pet resin production capacity. 2018. Disponível em: <<https://www.plasticsinsight.com/global-pet-resin-production-capacity>> . Acesso em: 24 Jun. 2018.

REBEHY, P.C.P.W., COSTA, A.L., CAMPELLO, C., ESPINOZA, D.F., NETO, M.J. Innovative social business of selective waste collection in Brazil: Cleaner production and poverty reduction. **J. Clean. Prod.** v. 154, p. 462-473, 2017.

SALESA, A. PEREZ-BENEDICTO, J.A., COLORADO-ARANGUREN, D., LOPEZ-JULIAN, P.L., ESTEBAN, L.M., SANZ-BALDÚZ, L.J., SAEZ-HOSTALED, J.L., RAMIS, J., OLIVARES, D. Physico-mechanical properties of multi - recycled concrete from precast concrete industry. **J. Clean. Prod.** v. 141, p. 248-255, 2017.

SAMPERI, F., PUGLISIA, C., ALICATAB, R., MONTAUDO, G. Thermal degradation of poly(ethylene terephthalate) at the processing temperature. **Polym. Degrad. Stab.** v. 83, p. 3-10, 2004.

TANG, W., GU, X., JIANG, Y., ZHAO, J., MA, W., JIANG, P., ZHANG, S. Flammability and thermal behaviors of polypropylene composite containing modified kaolinite. **J. Appl. Polym. Sci.** v. 132, p. 41761-41768, 2015.

TEUBER, L., OSBURG, V.S., TOPOROWSKI, W., MILITZ, H., KRAUSE, A. Wood polymer composites and their contribution to cascading utilisation. **J. Clean. Prod.** v. 110, p. 9-15, 2016.

THIRUMAL, M., KHASTGIR, D., SINGHA, N.K., MANJUNATH, B.S., NAIK, Y.P. Halogenfree flame-retardant rigid polyurethane foams: Effect of alumina trihydrate and triphenylphosphate on the properties of polyurethane foams. **J. Appl. Polym. Sci.** v. 116, p. 2260-2268, 2010.

TONET, K.G., GORNINSKI, J.P. Polymer concrete with recycled PET: The influence of the addition of industrial waste on flammability. **Constr. Build. Mater.** v. 40, p. 378-389, 2013.

UNDERWRITERS LABORATORIES. Test for Flammability of Plastic Materials for Parts in Devices and Appliances. UL 94, 2017.

VLADIMIROV, V.S.; LUKIN, E.S.; POPOYA, N.A.; ILYUKHIN, A.; MOIZIS, S.E.; ARTAMONOV, M.A. New types of light-weight refractory and heat-insulation materials for long-term use at extremely high temperatures. **Glass and Ceramics**, 68, v. 3, p. 116-122, 2011.

WANG, B., SHENG, H., SHI, Y., HU, W., HONG, N., ZENG, W., GE, H., YU, X., SONG, L., HU, Y. Recent advances for microencapsulation of flame retardant. **Polym. Degrad. Stabil.** v. 113, p. 96-109, 2015.

WANG, Y., WANG, F., DONG, Q., XIE, M., LIU, P., DING, Y., ZHANG, S., YANG, M., ZHENG, G. Core-shell expandable graphite@aluminum hydroxide as a flame-retardant for rigid polyurethane foams. **Polym. Degrad. Stabil.** v. 146, p. 267-276, 2017.

YANG, R., HU, W., XU, L., SONG, Y., LI, J. Synthesis, mechanical properties and fire behaviors of rigid polyurethane foam with a reactive flame retardant containing phosphazene and phosphate. **Polym. Degrad. Stabil.** v. 122, p. 102-109, 2015.

ZHANG, X., GUO, F., CHEN, J., WANG, G., LIU, H. Investigation of interfacial modification for flame retardant ethylene vinyl acetate copolymer/alumina trihydrate nanocomposites. **Polym. Degrad. Stabil.** v. 87, p. 411-418, 2005.

ZHANG, X.L., DUAN, H.J., YAN, D.X., KANG, L.Q., ZHANG, W.Q., TANG, J.-H., LI, Z.-M. A facile strategy to fabricate microencapsulated expandable graphite as a flameretardant for rigid polyurethane foams. **J. Appl. Polym. Sci.** v. 42364, p. 1-9, 2015.