



REAPROVEITAMENTO DE POLIOL E INCORPORAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DE ESPUMA DE POLIURETANO NA PRODUÇÃO DE AGLOMERADO DE ESPUMA PARA COLCHÃO

Juciana Carlesso¹, Daniela De Conto¹, Tomás Augusto Polidoro¹

¹ Universidade de Caxias do Sul, Rua Francisco Getúlio Vargas 1130, 95070-560, Caxias do Sul-RS, Brasil (tapolido@ucs.br)

Resumo

Uma das premissas da Política Nacional dos Resíduos Sólidos é a minimização da geração de resíduos. Neste trabalho foram utilizadas sobras do processo produtivo da fabricação de colchões, da limpeza de máquinas e formulações onde os mesmos seriam destinados a aterro industrial. No estudo foram preparadas amostras com diferentes percentuais de resíduos, sendo 75%, 50% e 25% do total de poliol virgem, na amostra que apresentou melhores propriedades, foram incorporados 10% de aparas de poliuretano, oriundas do processo produtivo de espumas semirrígidas. Podem-se observar os melhores resultados para o material no qual foram incorporados 25% de resíduos de poliol formulado e consequentemente 10% de aparas de espuma semirrígida. Na análise econômica, observou-se que a incorporação de resíduos de materiais que seriam destinados a aterros reduziu o custo de matéria-prima do bloco de aglomerado, pois, além de eliminar os gastos de transporte e disposição dos resíduos de poliuretano em aterro industrial, ainda agregou-se valor através da utilização na produção de um material considerado nobre e de extrema importância para a qualidade dos colchões.

Palavras-chave: Resíduos. Reaproveitamento. Poliuretano. Aglomerado. Colchões.

Área Temática: 12 - Resíduos Sólidos.

POLYOL AND REUSE OF INCORPORATION OF SOLID WASTE POLYURETHANE FOAM IN CROWDED PRODUCTION OF FOAM MATTRESS

Abstract

One of the premises of the National Solid Waste Policy is to minimize waste generation . In this study, we used leftovers from the production process of the manufacture of mattresses , cleaning machines and formulations where they would go to landfills . In the study samples with different percentage of residues were prepared, 75%, 50% and 25% of virgin polyol in the sample that showed the best properties, were incorporated 10% of polyurethane chips, originating from the production of semi-rigid foams process. They can be seen the best results for material in which 25% were incorporated formulated polyol residues and therefore 10% of semi-rigid foam chips. In economic analysis, it was observed that the incorporation of waste materials that would otherwise go to landfill has reduced the cost of raw materials of the cluster block, because in addition to eliminate transportation costs and disposal of polyurethane waste in landfills, still added-value through the use in the production of a noble material and considered of utmost importance to the quality of mattresses.

Keywords: Waste. Reuse. Polyurethane. Cluster. Mattresses.

Theme Area: 12 - Solid Waste.



1 Introdução

O desenvolvimento de produtos que tenham menor impacto ambiental e que diminuam os custos de matéria-prima e processo vem crescendo ao longo dos anos. Esse fenômeno alocado na cadeia de produção de espumas se manifesta na produção de artigos com capacidade de reciclagem em foco. A proposta é que ao projetar um produto, além de considerar o melhor desempenho dinâmico, considera-se também o fluxo reverso e a reciclagem do material que está no final da vida útil (CONCEIÇÃO; PACHECO, 2009).

O processo de reaproveitamento de polímeros torna-se viável pela possibilidade de salvar combustível fóssil e reduzir as emissões de CO₂, além das facilidades de uso dos resíduos industriais como matéria-prima, muitas vezes sem necessidade de limpeza prévia e separação de componentes aliados ao baixo custo de implantação do sistema (ROSA; GUEDES, 2003).

No processo de destinação de resíduos de poliol e espuma, caracterizados como resíduos sólidos segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) (2004) em sua Norma de Referência (NBR) ABNT NBR 10004:2004, uma alternativa de utilização dos mesmos com ótima relação custo/benefício é o aglomerado de espuma, que mesmo sendo produzido com resíduos é um produto de boa qualidade, com propriedades que se enquadram na norma ABNT NBR 13579-1:2011 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2011). A reutilização da espuma por meio da reciclagem não deixa de ser uma forma de integração da empresa com a nova realidade sustentável do planeta (CONCEIÇÃO; PACHECO, 2009).

Este trabalho tem por objetivo incorporar resíduos de poliol e espuma semirrígida no processo industrial de fabricação de aglomerado de espuma para colchão e avaliar diferentes proporções de resíduos de sobras de poliol formulado e espuma semirrígida de PU em blocos de aglomerados de espuma. Realizar ensaios de homologação e aprovação da espuma desenvolvida através do procedimento descrito na norma NBR 13579-1:2011 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2011).

2 Metodologia

2.1 Materiais

Para a produção do aglomerado de espuma de PU, utilizou-se três materiais principais: os flocos de espuma flexível provenientes do ciclo de fabricação de colchões, aparas de espuma de PU derivadas do processo produtivo de espumas semirrígidas e resíduo de poliol formulado. Utilizou-se também, poliol e tolueno diisocianato (TDI), fornecidos pela DOW Brasil S.A, e um catalisador organometálico, neste caso, o octoato de estanho [Sn(C₈H₁₅O₂)₂] fornecido pela Evonik Brasil.

2.2 Composição das amostras de aglomerado

A composição da quantidade de resíduos de poliol formulado e espuma de PU a ser incorporada nos aglomerados foi determinada aleatoriamente, a partir de testes experimentais com porcentagens diferentes de resíduos.

Inicialmente, foram propostas quatro amostras, sendo a primeira considerada padrão, constituída de flocos de espuma flexível de PU, poliol virgem e aglutinante (combinação de materiais, cuja função é unir os flocos de espuma), e as outras três, com diferentes percentuais de resíduos de poliol formulado. A amostra 5 foi elaborada com a substituição de parte dos flocos de espuma flexível por resíduos de espuma semirrígida, na amostra que apresentou



5º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

Bento Gonçalves – RS, Brasil, 5 a 7 de Abril de 2016

melhores características físico-mecânicas. As respectivas composições estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Composição das amostras de aglomerado de PU

Identificação	Composição
Amostra 1	84,2% de flocos de espuma flexível, 9,5% de poliol virgem e 6,3% de TDI;
Amostra 2	84,2% de flocos de espuma flexível, 7,2% de resíduos de poliol formulado, 2,3% de poliol virgem e 6,3% de TDI;
Amostra 3	84,2% de flocos de espuma flexível, 4,75% de resíduos de poliol formulado, 4,75% de poliol virgem 6,3% de TDI;
Amostra 4	84,2% de flocos de espuma flexível, 2,3% de resíduos de poliol formulado, 7,2% de poliol virgem 6,3% de TDI;
Amostra 5	75,8% de flocos de espuma flexível, 8,4% de aparas de espuma semirrígida, 2,3% de resíduos de poliol formulado, 7,2% de poliol virgem 6,3% de TDI;

Fonte: o autor.

2.3 Caracterização físico-mecânica e morfológica

Para verificar se os aglomerados de espuma obtidos estão adequados para serem utilizados em colchões, foram feitos ensaios físico-mecânicos conforme a norma NBR 13579-1:2011 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2011). Além destes, realizou-se os ensaios de tensão de ruptura, alongamento, resistência ao rasgo, teor de cinzas e verificou-se a morfologia dos aglomerados através do ensaio de microscopia eletrônica de varredura (MEV).

2.3 Determinação da resiliência, da densidade, da força de endentação e fator de conforto, da fadiga dinâmica, da deformação permanente à compressão, da resistência ao rasgamento, resistência a tração e teor de cinzas

Para determinação da resiliência utilizou-se o método de determinação da densidade conforme a NBR 8619: 2003, para a densidade utilizou-se o método de determinação da densidade conforme a NBR 8537: 2003, para a determinação da força de indentação e fator de conforto realizou-se os ensaios com o auxílio de uma máquina universal de ensaios marca EMIC, modelo DL 2000 com capacidade de carga de 20 kN com célula de carga de 500 kgf e dispositivo para execução dos ensaios.

Os métodos de determinação da força de indentação e fator de conforto foram realizados conforme NBR 9176: 2003, para a determinação da fadiga dinâmica utilizou-se um equipamento chamado fadigômetro ou máquina de compressão, marca Schmuziger e modelo deflexionadora, com duplo disco, onde colocou-se as amostras sobre as placas de apoio perfuradas, de modo que as mesmas permanecessem centralizadas sob o indentador circular de base fixa.

O ensaio de determinação da fadiga dinâmica foi realizado conforme descrito na norma NBR 9177:2003, para a determinação da deformação permanente à compressão utilizou-se um dispositivo de compressão com duas placas metálicas rígidas e planas com distâncias previstas pela NBR 8797:2003, comprimiu-se os corpos de prova de aglomerado de dimensões 100 x 100 x 50 mm a 50% do seu tamanho original, colocou-se as amostras em uma estufa marca Quimis de circulação forçada por 22 horas, à temperatura de 70°C, para



5º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

Bento Gonçalves – RS, Brasil, 5 a 7 de Abril de 2016

determinação da resistência ao rasgamento utilizou-se a norma NBR 8516:2003 Utilizou-se uma máquina universal marca EMIC, modelo DL 2000 com capacidade de 20 kN, célula de carga de 20 kgf, extensômetro a 25 mm de distância base de medida e um par de garras de fixação do extensômetro no corpo de prova, para a determinação da resistência à tração utilizou-se moldes de aço e prensa hidráulica, marca Marcon com capacidade de 10 toneladas para o corte das peças com as dimensões estabelecidas na norma NBR 8515:2003 e uma máquina universal marca EMIC, modelo DL 2000 com capacidade de 20 kN, célula de carga de 20 kgf, extensômetro a 25 mm de distância base de medida e um par de garras de fixação do extensômetro no corpo de prova.

Para a determinação do teor de cinzas utilizou-se a norma NBR 14961:2007, os ensaios foram realizados no Laboratório de Polímeros da Universidade de Caxias do Sul, sendo que, realizou-se os testes em três corpos de prova de cada amostra.

2.4 Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

Analisou-se a morfologia por meio de um Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) da marca Shimadzu, modelo SSX-550 Superscan. Realizou-se os ensaios em um corpo de prova de cada amostra no Laboratório de Caracterização de Materiais da Universidade de Caxias do Sul.

3 Resultados e discussão

3.1 Composição de poliol nas amostras

A composição de resíduos de poliol formulado nos aglomerados foi determinada aleatoriamente, sendo que, a amostra 1 foi classificada como amostra padrão ou seja, com 100% de poliol virgem conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 – Amostras e composições de poliol

Amostra	Composição de poliol
Amostra 1	100% de poliol virgem
Amostra 2	25% de poliol virgem e 75% de poliol formulado
Amostra 3	50% de poliol virgem e 50% de poliol formulado
Amostra 4	75% de poliol virgem e 25 % de poliol formulado

Fonte: o autor

A amostra 5 foi elaborada com a substituição de parte dos flocos de espuma flexível por resíduos de espuma semirrígida, na amostra que apresentou melhores características físico-mecânicas com incorporação de poliol formulado.

4.3 Ensaios comparativos

Em uma avaliação nas propriedades das amostras 2, 3 e 4, observou-se que a amostra 4 apresentou melhores características em comparação com as demais amostras.

A fim de alcançar os objetivos iniciais, utilizou-se a porcentagem de 25% de poliol formulado utilizado na amostra 4, para desenvolver a amostra 5 com incorporação de 10% de aparas de espuma semirrígida do total de 80kg de flocos de espuma flexível, posteriormente realizou-se um comparativo entre a amostra 5 e as demais amostras em estudo, conforme apresentado na Tabela 3.



5º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

Bento Gonçalves – RS, Brasil, 5 a 7 de Abril de 2016

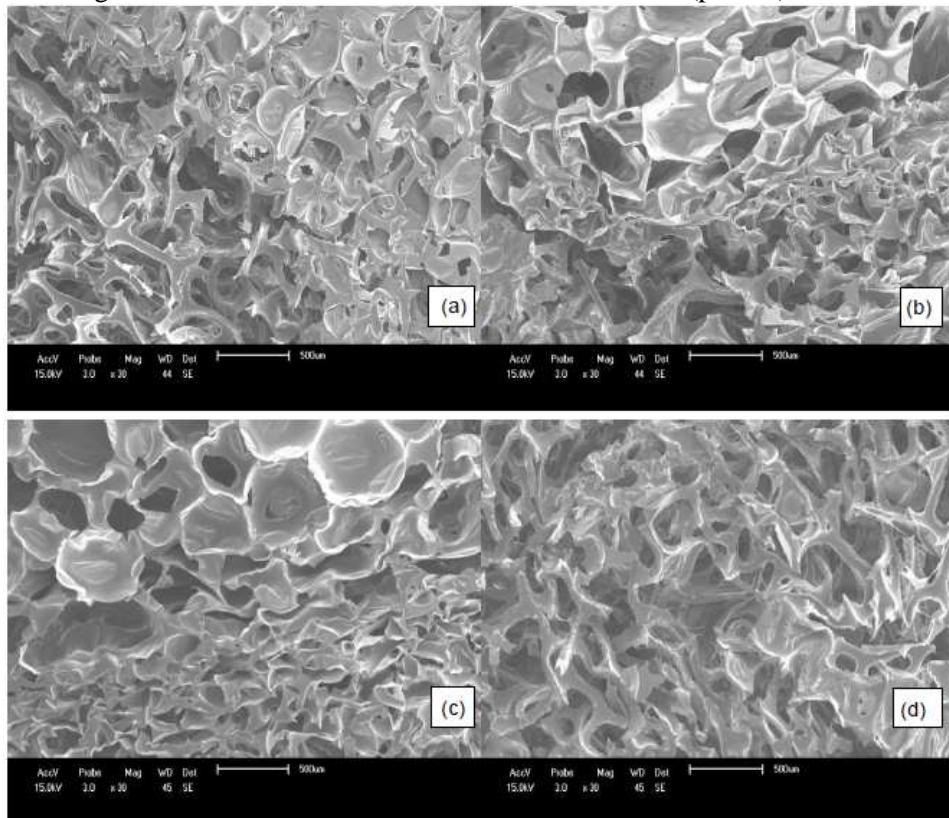
Tabela 3 – Comparativo entre os resultados médios encontrados nas amostras

Ensaios	Amostras				
	1	2	3	4	5
Resiliência, (%)	41,70	39,30	40,00	41,70	40,30
Densidade, (kg/m ³)	79,90	70,40	78,00	81,70	81,50
Força de indentação a 40%, (N)	451,90	336,90	386,30	459,40	334,80
Fator de conforto	7,50	8,20	7,80	7,30	7,40
Fadiga dinâmica - Perda de dureza, (%)	4,80	14,40	9,30	6,30	2,80
Fadiga dinâmica - Perda de espessura, (%)	7,00	5,20	7,50	6,90	5,20
D.P.C (%)	24,60	31,50	31,70	24,90	24,80
Resistência ao rasgo, (N/m)	771,20	193,10	634,40	526,00	762,70
Tensão de ruptura, (kPa)	74,80	21,20	68,80	44,30	69,00
Alongamento de ruptura, (%)	50,90	63,70	54,10	43,30	55,10
Determinação do teor de cinzas (%)	0,30	0,23	0,27	0,20	0,36

Fonte: o autor

Em uma análise dos resultados comparativos da amostra 4 e 5, observou-se que a incorporação das aparas de espumas semirrígidas gerou melhora nas propriedades físico-mecânicas da mesma. Na caracterização morfológica, as duas amostras apresentaram boa interação com os resíduos incorporados, e não houve evidências de má formação da interface em função da incorporação das aparas com densidade aparente maior que as espumas flexíveis conforme apresentado na Figura 1.

Figura 1 – Análise da microestrutura das amostras 1 (padrão), 2, 3 e 4



Fonte: o autor

Nota: (a) amostra 1 (padrão); (b) amostra 2 com 75% de poliol formulado; (c) amostra 3 com 50% de poliol formulado; (d) amostra 4 com 25% de poliol formulado.



5º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

Bento Gonçalves – RS, Brasil, 5 a 7 de Abril de 2016

É importante ressaltar que, os desempenhos alcançados pelas amostras 4 e 5 atendem às especificações para aglomerados de espuma descritas na NBR 13579-1 conforme apresentado na Tabela 1 anteriormente citada (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2011).

4.4 Análise econômica

Cerca de 200 kg de poliol formulado e 1.000 kg de aparas de espuma semirrígida são mensalmente descartados de acordo com os resultados obtidos no estudo, com a produção média mensal de 100 blocos de aglomerado, todos os resíduos de poliol formulado e aparas de espuma semirrígida seriam reintegrados no processo, gerando um produto com qualidade semelhante ao produzido no processo usual, e atendendo a todos os requisitos normatizados.

Tabela 4 – Estimativa de custo de descarte de resíduos

Resíduos	Custo (R\$/kg)	Custo total (R\$)
Poliol formulado (aterro industrial)	0,28	56,00
Aparas de espuma semirrígida	0,28	280,00
Transporte	0,50	600,00
Solidificação (poliol formulado)	0,075	15,00
TOTAL	-	936,00

Fonte: o autor

Um fator importante na avaliação do uso industrial do produto é o custo do aglomerado produzido com o poliol formulado e aparas de espuma semirrígida. A fim de, relacionar os custos das amostras em estudo, são relacionados os preços unitários médios das matérias-primas utilizadas, bem como, o custo total da amostra padrão e um comparativo com as amostras 4 e 5, as quais apresentaram melhores propriedades. Estes valores são sem impostos e foram obtidos através de conhecimentos de mercados atuais.

Na amostra 4, com a incorporação de 25% de poliol formulado, observou-se uma diminuição de 2,2 kg de poliol virgem e na amostra 5 com 25% de poliol formulado e 10% de aparas de espuma semirrígida, observou-se uma redução de 2,2 kg de poliol virgem e 8 kg de flocos de espuma em cada bloco de aglomerado, sendo que, as quantidades de matéria-prima utilizadas equivalem a um bloco de cerca de 1,2 m³. A estimativa dos custos em cada bloco de aglomerado está apresentada na Tabela 5.

Tabela 5 – Estimativa de custo das matérias-primas

Material	Custo (R\$/kg)	Amostra padrão (R\$)	Amostra 4 (R\$)	Amostra 5 (R\$)
Flocos de espuma	5,50	440,00	440,00	396,00
Poliol	8,10	72,9	55,10	55,10
Isocianato (TDI)	8,32	49,92	49,92	49,92
Octoato de estanho	56,27	8,44	8,44	8,44
TOTAL	-	571,26	553,46	509,46

Fonte: o autor

Nota: o custo estimado para os flocos de espuma são relacionados à venda do produto

A análise mostra que o produto é economicamente viável e que os requisitos estão aprovados conforme a norma utilizada no estudo, sendo que quanto maior a quantidade de resíduos utilizados, menor o custo total do aglomerado.



5º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

Bento Gonçalves – RS, Brasil, 5 a 7 de Abril de 2016

Vale ressaltar que os custos estimados não levam em conta a mão-de-obra, tempo de produção, depreciação de equipamentos, entre outros fatores influentes no custo total dos aglomerados, onde serão os mesmos para todas as situações.

A finalidade principal deste trabalho foi avaliar a influência da incorporação de resíduos sólidos no aglomerado de espuma de PU. É importante ressaltar que além dos resíduos não terem custo, ainda terão um valor negativo referente aos valores de transporte e destinação ao aterro industrial.

Com o intuito de manter a confidencialidade, alguns itens não foram apresentados em relação às fórmulas utilizadas.

5 Conclusão

O processo de reaproveitamento de resíduos baseado na incorporação de poliol formulado e aparas de espuma semirrígida em aglomerado de espuma para colchões, mostrou-se efetivo, uma vez que, o produto final apresenta boa qualidade em um comparativo com uma amostra padrão, sendo uma solução para reduzir os impactos ambientais causados pela deposição dos resíduos de PU em aterro industrial.

Nos testes comparativos com uma amostra padrão, as diferentes porcentagens de resíduos incorporados no processo de fabricação do aglomerado apresentaram boas propriedades físico-mecânicas, sendo que se destacaram dentre as amostras desenvolvidas, as amostras 4 com 25% de resíduos de poliol formulado e a amostra 5 com 25% de resíduos de poliol formulado e 10% de aparas de espumas semirrígidas, sendo que, as mesmas atenderam todos os requisitos citados na norma brasileira utilizada para colchões de espuma.

Nas amostras 2 e 3 com incorporação de 75% e 50% de poliol formulado observou-se que no ensaio de deformação permanente, as amostras não obtiveram comportamento conforme descrito na norma citada. Em uma avaliação do processo, observou-se que as elevadas porcentagens de deformação podem ser influenciadas por erros experimentais, ocasionados pela ruptura das membranas das células provocadas pela prensagem dos flocos no processo de produção.

Na análise econômica comprova-se que o estudo, é viável, atrativo e não há necessidade de investimento inicial, obtendo-se uma considerável redução de custo nas matérias-primas. Também deve ser levado em consideração o aspecto ambiental, onde toneladas de resíduos poderão ter uma nova oportunidade de utilização, ao invés de simplesmente serem dispostos em um aterro industrial, destacando-se como um ponto positivo para o desenvolvimento sustentável.

As empresas do ramo de PU, cada vez mais, necessitam contemplar o conceito da sustentabilidade, no entanto, no processo de produção da espuma, importa notar que a seleção do processo tecnológico e o modo de operação do sistema são decisões que devem ser tomadas numa base singular, sem excessivas generalizações, no qual o bom desempenho do processo produtivo é, muito, o resultado de um esforço de melhoria contínua.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA QUÍMICA (ABIQUIM). Comissão setorial de poliuretanos. São Paulo, 2012. Disponível em: <<http://abiquim.org.br/poliuretanos/quimicamente.asp>>. Acesso em: 18 de nov. de 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10004: Resíduos Sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, 2004.



5º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

Bento Gonçalves – RS, Brasil, 5 a 7 de Abril de 2016

- _____. **NBR ISO 9001**: Sistemas de gestão da qualidade – Requisitos. Rio de Janeiro, 2008.
- _____. **NBR ISO 14001**: Sistemas da gestão ambiental – Requisitos com orientações para uso. Rio de Janeiro, 2004.
- _____. **NBR 13579-1**: Colchão e colchonete de espuma flexível de poliuretano e bases – Parte 1: Requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2011.
- _____. **NBR 8619**: Determinação da resiliência. Rio de Janeiro, 2003a.
- _____. **NBR 8537**: Determinação da densidade. Rio de Janeiro, 2003b.
- _____. **NBR 9176**: Determinação da força de indentação. Rio de Janeiro, 2003c.
- _____. **NBR 9177**: Determinação da fadiga dinâmica. Rio de Janeiro, 2003d.
- _____. **NBR 8797**: Determinação da deformação permanente à compressão. Rio de Janeiro, 2003e.
- _____. **NBR 8516**: Determinação da resistência ao rasgamento. Rio de Janeiro, 2003f.
- _____. **NBR 8515**: Determinação da resistência à tração. Rio de Janeiro, 2003g.
- _____. **NBR 14961**: Determinação do teor de cinzas. Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE COMPONENTES PARA COURO, CALÇADOS E ARTEFATOS (ASSINTECAL). **Dados do Setor**. Novo Hamburgo, 2012. Disponível em: <<http://ww3.assintecal.org.br/>>. Acesso em: 23 nov. 2015.

CONCEIÇÃO, R. D. P.; PACHECO, E. B. A. V. Aplicação da Logística Reversa para colchões de espumas de poliuretano: um estudo de caso de uma fábrica de colchões no Rio de Janeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE POLÍMEROS, 10, 2009, Foz do Iguaçu. Anais... RJ: 2009, p. 1-8.

ROSA, D. S.; GUEDES, C. G. F. Desenvolvimento de processo de reciclagem de resíduos industriais de poliuretano e caracterização dos produtos obtidos. **Associação Brasileira de Polímeros**, São Carlos, v. 13, n. 1, p. 64-71, 2003.