



REVISÃO DAS OPORTUNIDADES DE RECICLAGEM DO POLIURETANO RÍGIDO

Carline Fabiane Stalter¹ (carlinestalter@gmail.com), Carlos Alberto Mendes Moraes¹ (cmoraes@unisinis.br), Feliciane Andrade Brehm¹ (felicianeb@unisinis.br)
1 UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS

RESUMO

O aumento das atividades industriais vem atrelado ao aumento do consumo de materiais e consequentemente da geração de resíduos. Desta forma, surge a importância do reaproveitamento dos resíduos gerados durante os processos produtivos. O poliuretano é um polímero amplamente utilizado nos mais diversos setores e aplicações, suas principais formas são como espuma flexível, encontrada em colchões, e espuma rígida, utilizada como vedação em geladeiras, por exemplo. Contudo, por se tratar de um polímero termofixo, pode ser moldado apenas uma vez, o que promove a geração de resíduos de difícil degradação, por isso é de suma importância a busca pelo reaproveitamento destes. Assim, este trabalho visa avaliar a partir de revisão bibliográfica, as principais formas de reciclagem de resíduos de espumas rígidas de poliuretano. Existem, basicamente, quatro tipos de reciclagem para este tipo de material: química, mecânica, energética e por degradação. A reciclagem química ocorre através da glicólise, a mecânica é realizada a partir da redução do tamanho das partículas do resíduo, a energética através da queima e a degradação, por um fungo encontrado na Amazônia. Cada caso deve ser amplamente estudado antes da escolha do método a ser utilizado, porém a reciclagem mecânica mostra-se eficiente, capaz de trazer ganhos econômicos e minimizar os impactos ambientais negativos gerados por estes resíduos. Isso se deve ao fato de que todo resíduo gerado, depois de moído, pode ser reintroduzido no processo promovendo um ciclo fechado, ou seja, o resíduo atua como matéria prima (coproduto), diminuindo assim a utilização de recursos naturais não renováveis.

Palavras-chave: Poliuretano rígido, reciclagem.

REVIEW OF RIGID POLYURETHANE RECYCLING OPPORTUNITIES

ABSTRACT

The increase of industrial activities is linked to material consumption and consequently to waste generation. So the industrial wastes recycling becomes important. The polyurethane is a polymer broadly used for several sectors and applications. Its main applications are as flexible foam on mattresses, and as rigid foam in refrigerator sealing. Although, since it is a thermoset polymer and it can be molded just once, promoting the generation of hard degradation solid wastes, therefore the waste recycling research is so important. Thereby this research aimed to evaluate by a bibliographic review, the main opportunities of rigid polyurethane foam recycling. Basically, there are four opportunities to recycle this material, such as chemical, mechanical, energetic and by its degradation. For example, the chemical recycling occurs by glycolysis, mechanics is realized by reducing the size of the waste particles, the energetic is by burning, and degradation by a fungus found in Amazonia. Each case must be widely studied before choosing the method to be used, however mechanical recycling proves to be efficient, capable to reflect on economic savings and minimize negative environmental impacts, caused by these wastes. This happens due the fact of all created waste, after milled, can be reinserted in the processes which creates a closed cycle, in other words, the waste can acts like a raw material (byproduct) which decreases the use of nonrenewable resources.

Keywords: Rigid polyurethane; recycling.

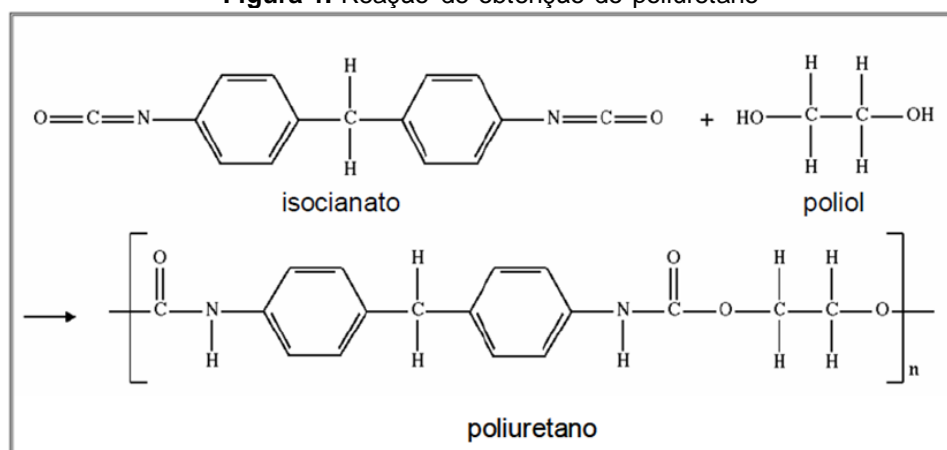


1. INTRODUÇÃO

Faz muitos séculos o homem retira da natureza materiais que vêm auxiliando em seu desenvolvimento, como a lã, a madeira, o algodão, entre outros. Com o passar dos tempos e a busca por novas tecnologias, houve a criação do plástico, um dos polímeros mais utilizados desde então (CANTO, 1995). Em 1937, Otto Bayer e sua equipe criaram um dos plásticos mais importantes: o poliuretano.

Este polímero é obtido basicamente a partir da reação entre um polioli e um isocianato (Figura 1) além de aditivos que proporcionam propriedades específicas como é o caso dos agentes de cura, extensores de cadeia, etc. (DIAS et al., 2004; ABIQUIM, 2015).

Figura 1. Reação de obtenção do poliuretano



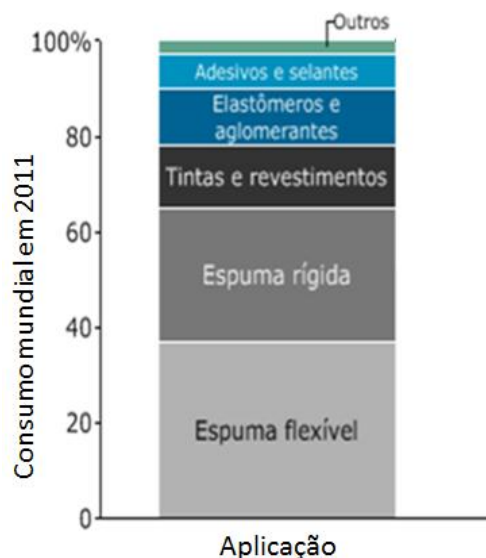
Fonte: Carvalho (2008).

O poliuretano é um polímero amplamente utilizado nas mais diversas aplicações, por se tratar de um material versátil (DIAS et al., 2004). Desta forma pode ser considerado um *commodities* (SINDIPLAST, 2015). Porém, a nomenclatura “poliuretano” engloba uma classe de polímeros onde as unidades formadoras da cadeia polimérica são interligadas por ligações uretânicas (MOTTA, 2011). Assim, há diversos tipos de poliuretanos, como as espumas flexíveis (colchões), as espumas rígidas (isolamento térmico em geladeiras), adesivos (móveis), elastômeros (cilindros de impressão) e selantes (construção civil) (VILAR, 2015).

Segundo Bain & Company (2014), as espumas de poliuretano rígido e flexível, apresentaram o maior consumo mundial em 2011, quando comparadas às demais aplicações, Figura 2.



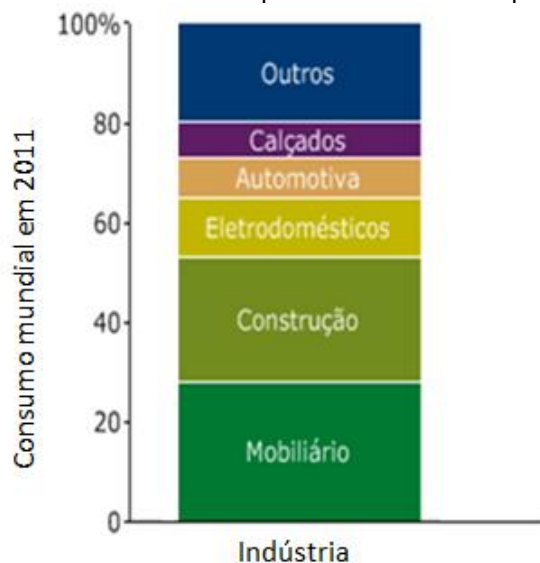
Figura 2. Consumo mundial de poliuretano em 2011 por aplicação



Fonte: Adaptado de Bain & Company (2014).

Em relação à indústria, pode-se observar na Figura 3, que o ramo imobiliário e da construção civil são os maiores consumidores, quando comparados aos demais.

Figura 3. Consumo mundial de poliuretano em 2011 por indústria



Fonte: Adaptado Bain & Company (2014).

O mercado mundial de poliuretanos, em 2011, foi de 14 milhões de toneladas, com estimativa de crescimento de 5% ao ano entre 2011 e 2016 (BAIN&COMPANY, 2014). Contudo, neste contexto, grande parte da produção e consumo resultou também numa grande geração de resíduos. Mesmo com suas variadas aplicações, os poliuretanos podem ser vistos como um problema ambiental. Isso se agrava quando se trabalha com polímeros termofixos, ou seja, aqueles que podem ser moldados apenas uma vez, como é o caso dos poliuretanos.

Motta (2011), afirma que a alta versatilidade dos poliuretanos faz com que aumente o seu consumo e conseqüentemente a geração de resíduos, o que exige processos eficientes de reciclagem.



Segundo Poliuretano Clipping (2015), a geração de resíduos de poliuretano varia de 3 a 5% em processos mais eficientes e de 5 a 15% em processos mais artesanais. Assim, pode-se verificar que as espumas rígidas e as flexíveis compõem grande parte dos resíduos de poliuretano gerados mundialmente. Já para Vilar (2015), a geração de resíduos pode ser da ordem de 40% em certos processos de fabricação de blocos de espuma rígida ou flexível, que são cortados, sobrando pedaços não utilizáveis. Na produção contínua de painéis para isolamento, o desperdício é da ordem de 5%, resultante das aparas das extremidades.

Os resíduos de espuma flexível são mais facilmente reciclados, já que estes podem ser utilizados como flocos prensados em colchões, por exemplo, o que não pode ser feito com as espumas rígidas. Neste sentido, este trabalho tem como objetivo avaliar a partir de revisão bibliográfica, as principais formas de reciclagem de resíduos de poliuretano rígido.

2. OPORTUNIDADES DE RECICLAGEM DO POLIURETANO RÍGIDO

As espumas rígidas de poliuretano apresentam excelente isolamento térmico, baixa densidade, alta resistência específica, boa adesão e resistência ao envelhecimento, por isso apresentam alto desempenho e diversas aplicações (YANG et al., 2015). De acordo com a American Chemistry Council (2015), grande parte dos edifícios já é construída utilizando-se a espuma de poliuretano rígido, como isolante térmico. Este material permite a utilização de paredes finas e telhados baixos, o que possibilita maximizar os espaços e reduzir custos, mantendo o bom isolamento térmico.

Vilar (2015) afirma que as espumas rígidas poliuretano podem apresentar altas e baixas densidades, sendo que as de baixa são as mais utilizadas na vedação térmica. Contudo, para Silva et. al. (2007), a baixa densidade, faz com que esse material acabe se tornando um grande problema ambiental, já que ocupa grandes áreas para ser disposto, diminuindo assim a vida útil dos aterros.

Por apresentar ótimo isolamento térmico e alta resistência estrutural, o poliuretano rígido é amplamente utilizado na vedação de geladeiras e freezers. Desta forma, há também grande geração de resíduos tanto no próprio processo produtivo, quanto pelo sucateamento após o uso dos materiais que o contêm (SILVA et al., 2007). Na figura 3, tem-se a representação do resíduo de poliuretano rígido de um gabinete de refrigerador.

Figura 4. Gabinete isolante de um refrigerador de 440 litros



Fonte: Carvalho (2008).



Na Tabela 1, estão apresentadas as propriedades de isolamento térmico das espumas rígidas de poliuretano, quando comparadas a outros materiais.

Tabela 1. Propriedades de materiais isolantes

Material	Densidade (Kg/m ³)	Condutividade térmica a 24°C (W/mK)	Espessura necessária (mm)
Espuma Rígida de Poliuretano	32	0,017	20
Poliestireno Expandido	16	0,035	44
Lã de Vidro	65 - 160	0,037	49
Lã de Rocha	100 - 300	0,046	46-51
Cortiça	220	0,049	61
Madeira (pinho branco)	350 - 500	0,112	>140

. Fonte: Adaptado de Vilar (2015).

Como observado na Tabela 1, a espuma rígida de poliuretano apresenta-se como uma boa opção de material a ser utilizado no isolamento térmico, uma vez que possui baixa densidade, baixa condutividade térmica e a espessura necessária para que o material seja utilizado como isolante térmico também é baixa.

De acordo com a American Chemistry Council (2015), estas propriedades contribuem positivamente para o desenvolvimento sustentável, já que um bom isolante térmico também auxilia no menor consumo de energia elétrica. Contudo, por outro lado, a baixa densidade gera grande volume de resíduos ocupando assim um espaço considerável nos aterros (CARVALHO, 2008).

A indústria de poliuretano tem trabalhado para encontrar tecnologias viáveis para a recuperação e a reciclagem de seus resíduos, tanto de produtos descartados como de processos (BOLSONI, 2008). Os processos mais estudados para o reaproveitamento dos resíduos de espumas rígidas de poliuretano rígido são a reciclagem mecânica, reciclagem química, recuperação energética e degradação.

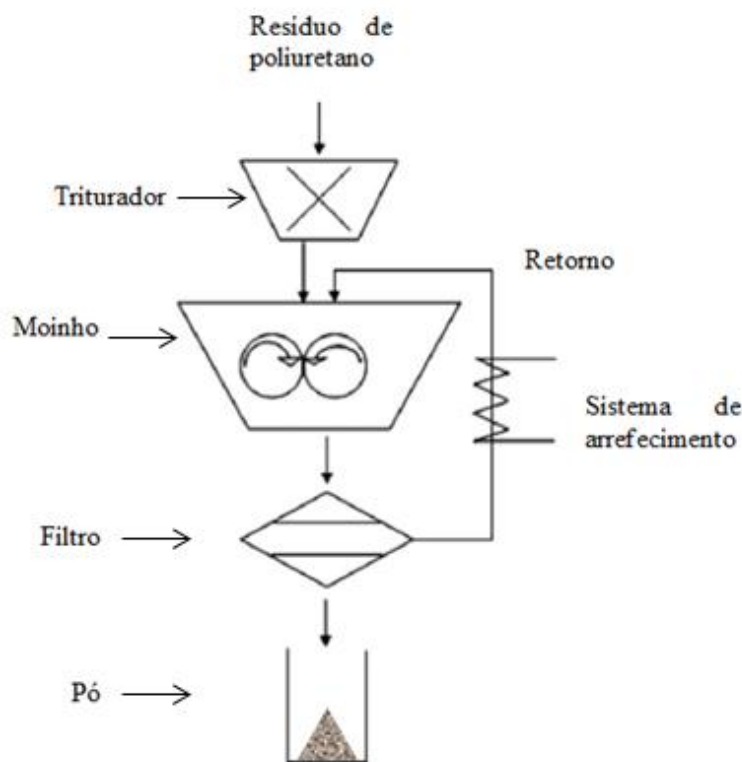
2.1 Reciclagem Mecânica

Zia et al. (2007), afirmam que a reciclagem mecânica é a tecnologia mais eficaz e economicamente viável para a reciclagem de espumas rígidas de poliuretano. Porém, primeiramente é necessário buscar alternativas para a redução do tamanho das partículas de forma que permita seu reprocessamento, geralmente em flocos, pó ou pellets.

Uma alternativa para moagem dos resíduos de poliuretano é a utilização do moinho de dois rolos (Figura 4), onde dois pares de rolos giram em direções opostas e em diferentes velocidades podendo resultar em partículas tão pequenas quanto 85 µm (ZIA et al., 2007).



Figura 5: Moagem por moinho de dois rolos



Fonte: Adaptado de Zia et al., (2007).

Neste contexto, Vilar (2015), mostra que resíduos de espumas rígidas de poliuretano podem ser granulados para absorção de óleo derramado, ou aglutinados com isocianato (uma das principais matérias primas do poliuretano) para formar placas para pisos de ginásios esportivos ou mesmo na construção de navios. Outra opção usada em diferentes processos é a mistura como carga ao componente polioliol, de 5 a 10% (alguns casos até 25%) do poliuretano rígido finamente cortado. A reciclagem mecânica de resíduos de poliuretano também pode ser utilizada no ramo da construção civil. Fraj et al., (2010), afirmam que resíduos de poliuretano podem ser utilizados como agregados de baixa densidade para a fabricação de concretos leves, sua utilização possibilita o aumento da porosidade do concreto o que facilita a troca de umidade com o ambiente e assim acelera a secagem. Já Mounanga et al., (2008), mostram que é possível fabricar concreto leve de consistência plástica utilizando resíduos de poliuretano rígido. Alimena (2009) comprova que é possível a utilização de resíduos de espuma rígida de poliuretano para obtenção de espuma reciclada com até 5% de resíduos incorporados pelo processo de reciclagem química ou mecânica. No Brasil a reciclagem mecânica apresenta baixo custo de implementação e operação quando comparada a outros tratamentos (OLIVEIRA, 2012).

2.2 Reciclagem Química

A reciclagem química é realizada através da glicólise, onde a ligação uretânica existente nas espumas de poliuretano é quebrada resultando em polióis que podem ser utilizados na produção de novas espumas de poliuretano (VILAR, 2015).



Para Motta (2011), a glicólise das espumas de poliuretano é um processo efetivo no tratamento de resíduos de poliuretano rígido, isso porque se trata de um processo rápido e de baixo custo além de resultar em um produto similar aos produtos virgens. Por outro lado, este processo apresenta muitas variáveis que influenciam fortemente no produto final.

Segundo Filinkoski (2014), a partir da reciclagem química, é possível utilizar o resíduo na fabricação de novas espumas. Testes apontaram que o produto final oriundo do processo de reciclagem apresentou características semelhantes ao do produto virgem podendo, desta forma, ser incorporado parcialmente ao processo produtivo com teor de polioli reciclado de até 70%.

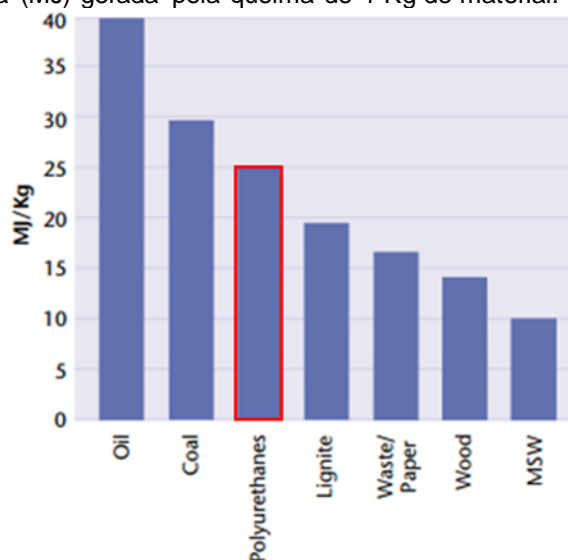
Porém, os custos com coleta e transporte de resíduos de poliuretano podem inviabilizar a reciclagem pelo fato destes materiais apresentarem baixa densidade, ou seja, eles ocupam grandes espaços e pesam pouco, o que acaba encarecendo seu transporte (MOTTA, 2011).

2.3 Reciclagem Energética

A reciclagem energética pode ser a única alternativa de reciclagem quando se tem poliuretano juntamente com outros materiais como madeira, tecidos, couro, etc. Porém, alguns tipos de poliuretano ainda possuem retardantes de chama o que acaba dificultando a incineração (ZIA et al., 2007).

Zia et al. (2007), afirmam que os poliuretanos, por serem derivados do petróleo, tem um valor de energia recuperável que pode até mesmo ser comparada à do carvão e, que, utilizá-los para geração de energia reduz o volume de resíduos sólidos e a dependência de combustíveis fósseis, conservando assim os recursos naturais. Segundo Motta (2012), países como a Suécia, Alemanha e Dinamarca incineram resíduos de poliuretano para a geração de energia elétrica, pelo seu considerável valor energético, como mostrado na Figura 5.

Figura 6. Energia (MJ) gerada pela queima de 1 Kg de material. Fonte: ISOPA (2001)



Fonte: ISOPA (2001).

Em contrapartida, Cregut et al. (2013) afirmam que como o uso de poliuretano aumenta a cada ano, a incineração de resíduos não é uma solução ideal para limitar a poluição gerada por eles. Neste contexto, a Associação Comercial Europeia para os Produtos de Diisocianatos & Polióis (ISOPA), traz a recuperação energética como última alternativa de destinação do poliuretano.



2.4 Degradação

Uma solução para a poluição causada pelos resíduos de poliuretano pode ser o fungo da Amazônia, *Pestalotiopsis microspora*, que degrada esses materiais (VILAR, 2015). Russell et al., (2011) vão ao encontro desta ideia, mostrando que estes organismos apresentam ótimo potencial para degradação de poliuretanos. Mahajan e Gupta (2015), explicam que este fungo é capaz de crescer em um ambiente anaeróbico e conta com o poliuretano como única fonte de carbono, desta forma os organismos acabam degradando o material de difícil degradação.

3. CONCLUSÕES

Os poliuretanos derivam do petróleo, o qual gera grandes impactos negativos ao meio ambiente, tanto na sua extração quanto no seu beneficiamento. Simplesmente dispor estes resíduos em aterro não se trata de uma alternativa adequada, visto que há formas de reaproveitamento.

A reciclagem química mostra-se como uma boa alternativa já que há a recuperação de uma das principais matérias primas, para a produção de novos poliuretanos. Porém, caso a empresa geradora dos resíduos não possa realizar a glicólise dentro das suas instalações, este processo pode ser tornar inviável visto que serão necessários gastos com transporte.

Quanto ao reaproveitamento energético, é necessário que se tenha um ótimo controle das emissões para que a solução não se torne um problema. Contudo, mesmo, assim, não é a melhor alternativa, já que há formas mais nobres de reciclagem.

O fungo da Amazônia trata-se uma grande descoberta, porém a geração de resíduos de poliuretano é tão grande que a população de organismos deveria ser grande o suficiente para degradá-los, o que poderia se tornar inviável.

A utilização da reciclagem mecânica pode trazer ganhos maiores quando comparada aos demais métodos. Isso porque há diversas maneiras de reaproveitar o mesmo resíduo moído. A empresa geradora dos resíduos pode moê-los e reintroduzi-los no processo em pequenos percentuais, desta forma é possível se obter um ciclo fechado onde todo o resíduo gerado servirá de matéria prima para o próprio processo. Assim, é possível diminuir custos com matérias primas virgens e até mesmo com o transporte dos resíduos, já que eles serão tratados dentro da própria empresa.

REFERÊNCIAS

American Chemistry Council. Disponível em: <http://polyurethane.americanchemistry.com/Introduction-to-Polyurethanes/Applications>. Acesso em 12 mar. 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA QUÍMICA. Disponível em: <http://abiquim.org.br/poliuretanos/oqueepoli.asp>. Acesso em: 12 mar. 2016.

Associação Comercial Europeia para os Produtos de Diisocianatos & Polióis (ISOPA). Disponível em <http://www.isopa.org/>. Acesso em: 12 mar. 2016.

BAIN&COMPANY. Potencial de diversificação da indústria química brasileira: Poliuretanos e seus intermediários. 1ª ed. Rio de Janeiro: Bain&Company, 2014.

BOLSONI, E. Estudo do reaproveitamento e reutilização das espumas rígidas de PU pós-consumo. Curitiba, 137 p., 2008. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Paraná.

CANTO, Eduardo Leite do. Plástico: Bem supérfluo ou mal necessário?. 1. ed. São Paulo: Moderna, 1995.



CARVALHO, C. A. Avaliação da reciclagem de poliuretano como carga no processo de injeção. Joinville, 99 p., 2008. Dissertação (Mestrado) - Universidade da Região de Joinville.

CREGUT, M., BEDAS, M., DURAND, J., THOUAND, G. New insights into polyurethane biodegradation and realistic prospects for the development of a sustainable waste recycling process. *Biotechnology Advances* 31, p. 1634 – 1647, 2013.

FILINKOSKI, V. P., Produção de espuma rígida de poliuretano para isolamento térmico a partir da adição de polioli reciclado. CONGRESSO INTERNACIONAL DE TECNOLOGIAS PARA O MEIO AMBIENTE, 4., 2014, Bento Gonçalves. Congresso Internacional de Tecnologias Para o Meio Ambiente. Bento Gonçalves: UNIP, 2015. Disponível em: <<http://www.proamb.com.br/downloads/4snjkd.pdf>>. Acesso em: 12 mar. 2016.

FRAJ, B. A., KISMI, M., MOUNANGA, P. Valorization of coarse rigid polyurethane foam waste in lightweight aggregate concrete. *Construction and Building Materials* 24, p. 1069 -1077, 2010.

MAHAJAN, N., GUPTA, P. New insights into the microbial degradation of polyurethanes. *The Royal Society of Chemistry*. 41839–41854, 2015.

MANO, Eloisa Biasotto; DIAS, Marcos Lopes; OLIVEIRA, Clara Marize Firemand. *Química experimental de polímeros*. São Paulo: E. Blücher, 2004.

MOTTA, B. C. S. Estudo do efeito do uso de polioli reciclado nas propriedades mecânicas da espuma rígida de poliuretano. São Paulo, 137 p., Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

MOUNANGA, P., GBONGBON, W., POUILLAIN, P., TURCRY, P. Proportioning and characterization of lightweight concrete mixtures made with rigid polyurethane foam wastes. *Cement & Concrete Composites*. 30, p. 806–814, 2008.

Poliuretano Clipping 2015. Disponível em: <https://poliuretano.wordpress.com/2008/01/02/poliuretano-ecologico-da-ecopol> Acesso em 12 mar. 2016.

RUSSEL, J. R., HUANG, J., ANAND, P., KUCERA, K., SANDOVAL, A.G., DANTZLER K.W. Biodegradation of polyester polyurethane by endophytic fungi. *Appl Environ Microbiol*. 77, p. 6076–84, 2011.

SILVA, D. D. da, CARVALHO, C. A., PEZZIN, A. P. T. Avaliação da reciclagem de poliuretano como carga no próprio processo de injeção. In: 9º Congresso Brasileiro de Polímeros, Campina Grande.

SINDICATO DA INDUSTRIA DE MATERIAL PLÁSTICO DO ESTADO DE SÃO PAULO. Disponível em: http://file.sindiplast.org.br/download/links14/apresentacao_sobre_materiais_plasticos_sindi.pdf Acesso em: 12 mar. 2016.

VILAR, Walter Dias. *Química e tecnologia dos poliuretanos*. Disponível em: <http://www.poliuretanos.com.br> Acesso em: 12 mar. 2016.

YANG, W., QINGYIN, D., SHILI, L., HENGHUA, X., LILI, L., JINHUI, L. Recycling and disposal methods for polyurethane foam wastes. *Procedia Environmental Sciences*. 16, p. 167 – 175, 2012.

RESÍDUOS SÓLIDOS E MUDANÇAS CLIMÁTICAS



15 a 17
junho de 2016
Porto Alegre, RS



ZIA, K. M., BHATTI, I. A. Methods for polyurethane and polyurethane composites, recycling and recovery: a review. *Reactive & Functional Polymers*. 67, p. 675- 692. 2007.

Apoio acadêmico

ESCOLA
POLITÉCNICA
UNISINOS

UNISINOS

Universidade de Brasília

ilacis | Lab. do Ambiente Construído
Inclusão e Sustentabilidade
FAU | CDS | FGA | UnB

BIMTECH
BIRLA INSTITUTE
OF MANAGEMENT TECHNOLOGY