

ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICA DO PROCESSAMENTO DE RESÍDUOS DE ESPUMA FLEXÍVEL DE POLIURETANO POR UM MOINHO DE FACAS

STUDY OF THE TECHNICAL VIABILITY OF
FLEXIBLE POLYURETHANE FOAM WASTE
PROCESSING BY A KNIFE MILL

Marcio Eduardo Marquez *marcio100281@gmail.com*

Mestre em Tecnologia de Materiais e Processos Industriais pela Universidade Feevale (Novo Hamburgo/Brasil). Supervisor de Produção da Indústria de Plásticos HERC (Porto Alegre/Brasil).

Fabício Celso *fabriocelso@feevale.br*

Doutor em Ciências dos Materiais pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (Porto Alegre/Brasil). Pesquisador na Universidade Feevale (Novo Hamburgo/Brasil).

RT&T | a. 11 | n. 1 | p. 72-89 | jan./jun. 2020

Recebido em: 12 de agosto de 2019 | Aprovado em: 10 de dezembro de 2019

Sistema de Avaliação: Double Blind Review | DOI: <https://doi.org/10.25112/rtt.v11i1.2292>

RESUMO

A necessidade de encontrar meios para reciclar materiais que até então eram apenas descartados no meio ambiente traz também a necessidade de conhecermos a viabilidade de alguns processos em meio industrial, avaliando-os não apenas financeira, mas também tecnicamente, por meio do uso de equipamentos de fácil acesso, manuseio e manutenção. Pensando nisso, este trabalho busca aplicar o processo de trituração por moinho de facas a espumas flexíveis de poliuretano, nas quais ainda se percebe carência de estudos em se tratando de sua redução de partículas por meio de processos industriais. Com o uso de um moinho de facas, buscou-se moer aparas da fabricação de assentos sanitários, sendo que a capacidade do processo e a granulometria final do material triturado foram quantitativamente avaliados e o fluxo de material bem como a moagem em si, foram avaliados qualitativamente. Com uma capacidade aproximada de 1 kg/h, uma granulometria apresentando 46,3% das partículas com dimensões de 2,01 a 4,00mm, fluxo e moagem insatisfatórios, este processo, tal como estudado neste trabalho, foi considerado ineficiente na busca de trituração da espuma flexível de poliuretano, mantendo a necessidade de buscar ainda, em meio industrial, solucionar um problema de processo de reciclagem deste material.

Palavras-chave: Espuma Flexível de Poliuretano. Moinho de facas. Capacidade. Granulometria.

ABSTRACT

The need of to find ways to recycle materials those only were leave on the environment, brings the need in to know the viability of some processes in industrial scale, evaluating them not just financially form but technically to, by the use of commun, and cheaps, and easily mainteneces equipments. Therefore, this paper aims to apply the grind process by knife mill to flexible polyurethane foams those don't has a great variety of studys about their reduction particle size by processes in industrial scale. Using a knife mill, some foam burrs from the toilet seat fabrication were grinded, and the process capability, as much as the material granulometry, were quantitatively measured. The material flow into the knife mill and the grinder process were qualitatively evaluated. With a capability around 1 kg/h and a granulometry with 46,3% of the particules size around 2,01 to 4,00mm, and flow, and grind unsatisfactory, this process, in that way, was considered inefficient in find a form of to grind flexible polyurethane foam, and it takes necessary, in industrial way, to solve a problem for recicyng these kind of material.

Keywords: Flexible polyurethane foam. Knife mill. Capability. Granulometry.

1 INTRODUÇÃO

A poluição causada por resíduos industriais tem gerado grande impacto ambiental o que leva a frequentes estudos de maneiras diferentes de reaproveitamento e reciclagem dos mesmos. Para tanto, é necessário que além de estudos em meio laboratorial, sejam necessários estudos de viabilidade técnica, uma vez que, o que torna um processo factível, em meio industrial, é sua complexidade, sendo que quanto mais complexo e dispendioso, menor sua probabilidade de ser absorvido pela indústria.

Dentro deste cenário, levanta-se a necessidade de estudos voltados para experimentos que visam as aplicações em meio industrial, focando nos equipamentos que normalmente as empresas possuem em suas áreas de manufatura e a forma como o processo se comportará na busca pela transformação física dos resíduos, habilitando estes para um novo processamento e, finalmente, reduzindo ou até mesmo eliminando um resíduo industrial, potencialmente nocivo para o meio ambiente.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Os poliuretanos foram desenvolvidos primeiramente pelo alemão Otto Bayer em meados da década de 1930, primeiramente com o intuito de substituir a borracha. Hoje, este material é cada vez mais aplicado em soluções diversas para a humanidade, tais como componentes para tintas, peças para a indústria automotiva, brinquedos, equipamentos esportivos, industriais, soluções para construção civil, como isolamentos térmico e/ou acústico e também no segmento de conforto, principalmente como colchões, travesseiros e assentos (VIEIRA *et al.*, 2018).

Segundo Simón *et al.* (2018), o poliuretano hoje é o 6º polímero mais consumido no mundo, com 18 milhões de toneladas produzidas por ano e, segundo Singh *et al.* (2019), pouco mais de 50% desta produção é de espuma flexível.

Os poliuretanos são oriundos da reação entre um polioliol, que pode ser poliéter ou poliéster, como, por exemplo, um monômero contendo hidroxila reativa (um diálcool ou um álcool com mais de dois grupos hidroxilas reativos), como um polipropileno glicol (PPG), politetrametileno glicol (PTMG); com diisocianato ou um isocianato polimérico, como, por exemplo, diisocianato difenilmetano (MDI) ou tolueno diisocianato (TDI), na presença de catalisadores e aditivos, especialmente prolongadores de cadeia (NIKJE *et al.*, 2011).

Devido a estas características de obtenção do poliuretano, ele torna-se um polímero termofixo, o que lhe confere a impossibilidade de ser reciclado por meio de transformações que envolvam uma nova fusão, como os meios utilizados para os termoplásticos (CARMO *et al.*, 2020).

Conforme Suleman *et al.* (2014), as espumas de poliuretano se classificam em dois tipos, as espumas rígidas e as flexíveis, que se diferenciam primeiramente pela estrutura de suas células, que são abertas nas

flexíveis e fechadas nas rígidas, sua apresentação mecânica, em termos de rigidez e, conseqüentemente, suas aplicações, onde as espumas flexíveis são para aplicações em colchões, assentos e traveseiros e a espuma rígida para isolamentos tanto térmicos quanto acústicos.

No processo para obtenção de espumas de poliuretano, os resíduos fazem-se presentes de maneira praticamente inevitável, uma vez que a reação gera uma expansão do material, e se pretende que ele preencha espaços vazios (moldes ou peças ocas) que contêm apenas o ar interno, que vai sendo pressionado com o avanço da espuma. Para promover um bom preenchimento, alguns pontos geralmente permanecem abertos, permitindo um vazamento da espuma para posterior fechamento. Mesmo processos eficientes apresentam um índice de resíduo de 3% a 5%, sendo que os processos mais artesanais podem apresentar 5% a 15% de resíduos (FÓRUM INTERNACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS, 2016).

Estes resíduos do processo que, de alguma forma são descartados pelas empresas, geram um grande problema ambiental que traz consigo questões regulatórias, as quais, todos os países devem obedecer acerca de seus resíduos e que se não obedecidos em conformidade impactam também nos custos de fabricação, seja através de adequações ambientais ou até sanções aplicadas por órgãos responsáveis, e que tem origem, basicamente, no esgotamento dos aterros (ZIA *et al.*, 2007).

Sendo assim, novas soluções em reciclagem estão sendo buscadas para solucionar este problema que cresce assim como o consumo do poliuretano. Segundo Post *et al.* (2019) os termofixos, como o poliuretano, apesar de terem suas ligações cruzadas que limitam sua reciclabilidade, podem ser reciclados de forma mecânica, térmica ou química. Porém, de forma geral, isto requer muita energia e não se chega a matéria prima de origem, sendo então recomendado que esta família de materiais, no pós consumo, seja aplicado como carga, fibra ou substrato, como forma de reciclagem ou reaproveitamento.

Dentro de um contexto geral, o método mais comum de reciclagem de polímeros é a reciclagem mecânica (SANTOS, 2019; YANG *et al.*, 2012), que consiste basicamente na granulação em partículas passíveis de reprocessamento, sendo que moinhos são os equipamentos mais comuns e também aplicados com maior frequência.

Na tabela 1, é apresentada a literatura encontrada nesta pesquisa, que serviu como base de conhecimento sobre a reciclagem de espumas de poliuretano assim como comparações de resultados.

Tabela 1 - Autores, tipos de espuma, reciclagem e equipamentos utilizados.

Autores	Tipo de espuma	Tipo de recicla- gem	Equipamento
REVJAKIN <i>et al.</i> , 2000	Rígida	Mecânica	Não informa
BECKER, 2002	Rígida	Mecânica	Moinho analítico
ROSA <i>et al.</i> , 2003	Elastômero	Mecânica	Moinho
LUCKMANN, 2005	Rígida	Mecânica	Trado
PAGLICAWAN <i>et al.</i> , 2007	Rígida	Mecânica	Moagem criogênica
BOM, 2008	Rígida	Mecânica	Não informa
MOUNANGA <i>et al.</i> , 2008	Rígida	Mecânica	Não informa
FRAJ <i>et al.</i> , 2010	Rígida	Mecânica	Não informa
DATTA <i>et al.</i> , 2011	Não informa	Mecânica	Não informa
LOPES; BECKER, 2012	Rígida	Química	Lixa
PEREIRA, 2012	Rígida	Mecânica	Não informa
FERNANDES, 2013	Flexível	Mecânica	Aglutinador
PARK <i>et al.</i> , 2015	Não informa	Química	Não informa
FÓRUM INTERNACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS, 2016	Rígida	Mecânica	Moinho de duplo rolo
PINTO <i>et at.</i> , 2017	Rígida	Mecânica	Moinho
STELLER <i>et al.</i> , 2017	Rígida	Mecânica	Moinho de duplo rolo
ULIANA, 2018	Não informa	Química	Moinho
VIEIRA <i>et al.</i> , 2018	Não informa	Mecânica	Esmeril
CARMO <i>et al.</i> , 2020	Rígida	Mecânica	Não informa

Fonte: Elaborado pelo autor (2020)

Como granular o material é de suma importância para seguimento dos processos de reciclagem, cabe salientar que a característica física dos materiais a serem moídos é extremamente relevante, isto se mostra por meio dos estudos publicados sobre reciclagem de poliuretanos, sendo que se encontra na literatura, uma grande quantidade de trabalhos com reciclagem de espumas rígidas de poliuretano (FÓRUM INTERNACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS, 2016; BOM, 2008; BECKER, 2002; LUCKMANN, 2005; CARMO *et al.*, 2020; PEREIRA, 2012; PINTO *et at.*, 2017) ou então perfis extrusados de poliuretanos (ROSA *et al.*, 2003) que são flexíveis mas não espumas.

Sendo assim torna-se importante uma análise sobre eficientes formas de granulação de espumas flexíveis de poliuretano, uma vez que este tipo de espuma não apresenta características mecânicas favoráveis para granulação e acabam sendo trituradas de forma experimental para reciclagem química (LOPES; BECKER, 2012; ULIANA, 2018; SPIANCÉ; PAOLI, 2004) ou por meio de equipamentos menos comuns, como aglutinador (FERNANDES, 2013) ou trado (BECKER, 2002).

Portanto, o objetivo deste trabalho é utilizar resíduos de processo de fabricação de assentos sanitários, que são classificados dentro dos tipos de poliuretano como espumas flexíveis, em um processo de granulação por meio de moinho de facas e analisar quantitativa e qualitativamente o resultado deste processo por meio de sua capacidade, granulometria do material pós moagem, fluxo do material e a moagem em si, para posteriormente possibilitar futuras aplicações, como por exemplo, carga em materiais termoplásticos para processos de injeção ou sopro.

O interesse pela capacidade do processo de moagem do poliuretano justifica-se pela possibilidade de industrialização do mesmo, onde a viabilidade técnica é de suma importância para a concretização deste. Diversos autores (LUCKMANN, 2005; CARMO *et al.*, 2020; PARK *et al.*, 2015; VIEIRA *et al.*, 2018; BOM, 2008; REVJAKIN *et al.*, 2000; PINTO *et al.*, 2017) apresentam, em seus trabalhos, como o processo de moagem ocorreu, porém sem explicações detalhadas sobre o resultado particular deste processo.

Já alguns outros autores abordam, em seus trabalhos, a trituração dos resíduos de poliuretano, porém com processos distintos ao proposto neste trabalho, como, por exemplo, o processo de aglutinação (FERNANDES, 2013), moagem com moinho analítico (LOPES; BECKER, 2012), uso de esmeril (VIEIRA *et al.*, 2018) onde a espuma foi lixada, reduzindo a pó, e moagem criogênica (PAGLICAWAN *et al.*, 2007) mas ainda assim tratando a capacidade do processo como um assunto não relevante, até mesmo porque os objetivos destes trabalhos não vislumbravam viabilização técnica industrial.

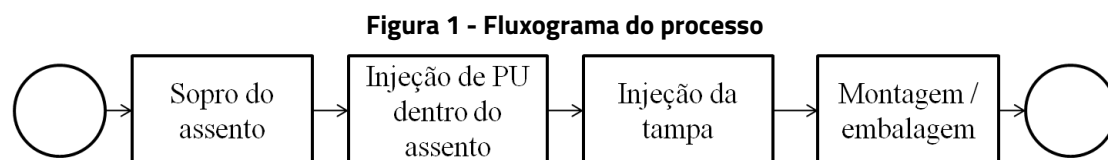
Com pouco mais de relevância, mas sem um consenso encontrado, a granulometria é poucas vezes relatada como uma característica do poliuretano moído, oscilando na literatura pesquisada de 0,10mm a 2,00mm (BOM, 2008; LOPES, BECKER, 2012).

Nas questões qualitativas, que abordam fluxo de material e a moagem, nenhuma destas variáveis é contemplada nos trabalhos pesquisados, demonstrando assim uma contribuição deste artigo para o ramo acadêmico bem como para o ramo organizacional, trazendo a possibilidade de avaliar a industrialização deste processo, trazendo para uma escala industrial o início do ciclo de reciclagem deste material termofixo.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O resíduo de espuma flexível de poliuretano utilizado neste trabalho é originado na fabricação de assentos para vasos sanitários.

O processo consiste em fabricar um assento vazio pelo processo de sopro e posteriormente injetar, sob pressão de um cabeçote, uma mistura de poliálcool poliéter, fornecido pela empresa Purcom, modelo TB 180 TR e um isocianato difenilmetano, de mesmo fornecedor e modelo TB 250 TF, através do mesmo orifício ao qual a peça foi anteriormente soprada. Esquema do processo pode ser visto no fluxograma da figura 1.



Fonte: Elaborado pelo autor (2020)

A reação entre os dois materiais, dentro do assento vazio, produz uma espuma flexível que para completar os espaços vazios, necessita que o operador do processo permita vaziar uma porção desta espuma para o exterior da peça. Este material espumado externamente gera o resíduo do processo assim como outros vazamentos decorrentes de algumas falhas que o processo está exposto. Na figura 2 pode ser visto uma amostra dos resíduos do processo supracitado.

Figura 2 - Foto dos resíduos



Fonte: Elaborado pelo autor (2020)

Para moer estes resíduos, foi utilizado um moinho de facas do fabricante Mecanofar modelo MF160, com capacidade de moagem de 30 a 60 kg/h e peneira de orifícios com 8 mm de diâmetro, conforme figura 3.

Figura 3 - Foto do moinho de facas utilizado para moer o resíduo



Fonte: Elaborado pelo autor (2020)

O procedimento de alimentação do moinho é manual, onde na parte superior do equipamento existe uma entrada em forma de rampa que permite que o material a ser moído desça por gravidade até o compartimento de moagem.

Assim que o material vai sofrendo cortes, ocasionados pelas facas fixas e móveis, a peneira permite a passagem de materiais com granulometria inferior ao seu diâmetro e é disposto em um recipiente de onde pode ser removido manualmente.

Portanto, a principal variável quantitativa do processo trata-se da capacidade do moinho, que é expresso em quilogramas por hora (kg/h). Posteriormente, a granulometria, em milímetros, será avaliada por peneiras granulométricas de malhas 0,30mm (48 mesh), 0,50mm (32 mesh), 2,00mm (9 mesh) e 4,00mm (5 mesh), todas com 203,20mm (8 polegadas) de diâmetro, e com um agitador de peneiras marca Bertel atuando por 5 minutos a 10Hz de frequência.

Qualitativamente, serão analisadas outras duas variáveis que são o fluxo de material até o compartimento de moagem e o comportamento do material ao ser submetido a moagem, sendo que o resultado deverá ser considerado satisfatório ou insatisfatório, uma vez que pela característica física do

material que é de baixa densidade e elevada compressibilidade, pode ocorrer deficiência de descida do material por gravidade e ao invés de moer pode ser compactado.

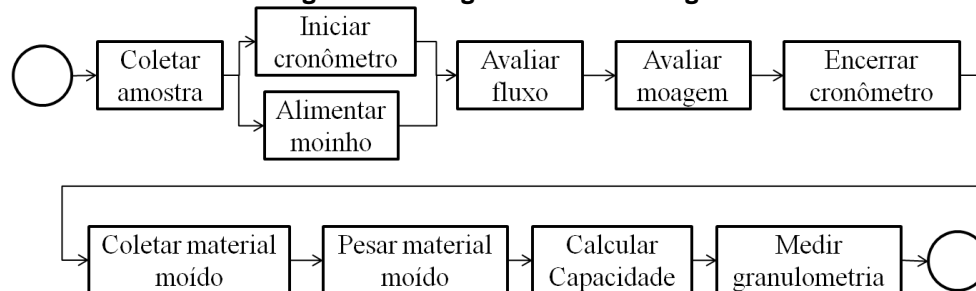
Tabela 2 - Variáveis, características e medidas para análise

Variável	Característica	Medida
Capacidade	Quantitativa	Kg/h
Granulometria	Quantitativa	Mm
Fluxo de descida	Qualitativa	Satisfatório / Insatisfatório
Moagem	Qualitativa	Satisfatório / Insatisfatório

Fonte: Elaborado pelo autor (2020)

Resumidamente o método é explicado no fluxograma da figura 4, onde pode ser notado que as etapas de alimentar o moinho e iniciar o cronômetro são simultâneas. Isto foi possível devido ao fato de o processo de alimentação ser feita pelo operador de moinho e o controle do cronômetro feito pelo observador/analista do processo, o qual é responsável por esta pesquisa. A avaliação do fluxo e da moagem, também ficaram a critério do operador do moinho que com aproximadamente 10 anos de experiência ficou responsável por indicar qualquer irregularidade no processo. O restante das tarefas foi realizado pelo observador/analista.

Figura 4 - Fluxograma da metodologia



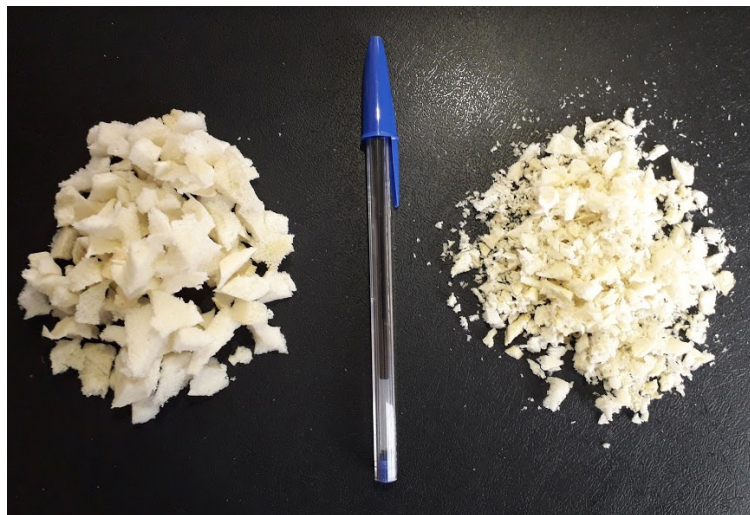
Fonte: Elaborado pelo autor (2020)

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A quantidade de amostra de resíduos coletada para o teste apresentava 1,66 kg e estava armazenada em uma caixa de papelão quando retiradas e expostas ao processo normal de alimentação manual do moinho.

Ao mesmo tempo em que o processo iniciou, o tempo de processamento começou a ser contado por um cronômetro para fins de cálculo de capacidade, porém ao atingir 49 segundos de processamento houve uma interrupção por parte do operador ao perceber que o material não fluía por gravidade em direção ao compartimento de moagem. Sendo assim, o material até então moído foi recolhido sendo considerado resultado da produção destes 49 segundos e apenas 0,62 kg da amostra foi colocada no moinho.

Figura 5 - Aspecto granulométrico da espuma que ficou em suspensão e não passou pela peneira (esquerda) e a que passou pela peneira (direita)

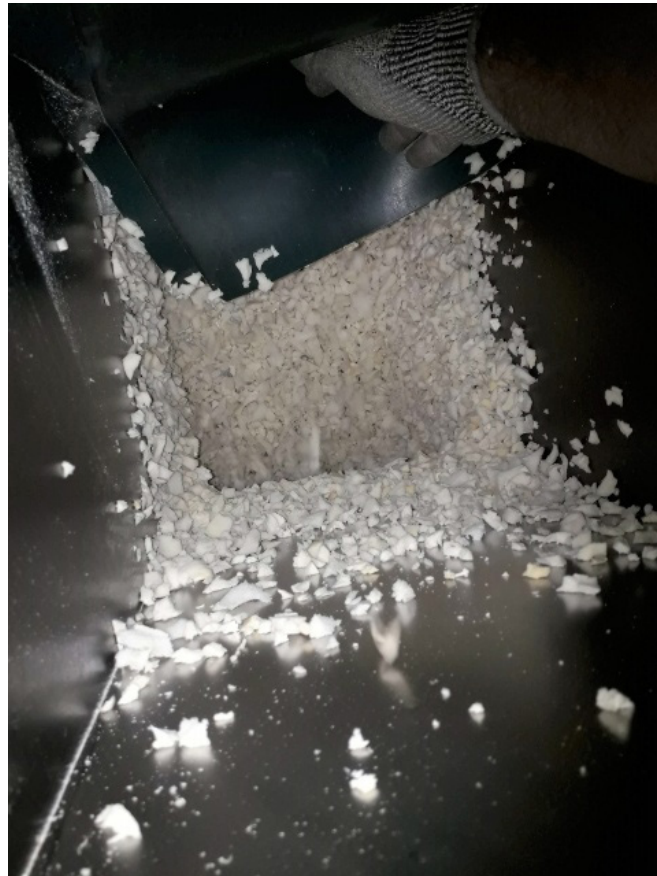


Fonte: Elaborado pelo autor (2020)

Observando o ocorrido destacado pelo operador do processo se pode perceber que as aparas do resíduo sofreram uma primeira ação das navalhas do moinho, onde parte desta ação chegou a um tamanho de partícula suficiente para passar pela peneira, porém, a grande maioria não ficou suficientemente pequena para passar pela mesma (figura 5).

Esta redução parcial do tamanho das partículas permitiu que a massa de cada uma destas se tornasse tão insignificante que a própria corrente de ar, gerada pela rotação das navalhas, as mantivessem em suspensão e aderidas por uma pequena carga estática proveniente do atrito do processo, como pode ser observado na figura 6.

Figura 6 - partículas do resíduo em suspensão dentro do moinho



Fonte: Elaborado pelo autor (2020)

Conseqüentemente, a porção de material moído foi muito pequena dentro do intervalo de tempo em que o processo decorreu. Na figura 7 é mostrada a rampa de descarga do equipamento, onde o material resultante da moagem pode ser recolhido por um recipiente.

Figura 7 - Descarga de espuma de poliuretano flexível moída



Fonte: Elaborado pelo autor (2020)

Esta quantidade recolhida foi de 0,014 kg o que representa apenas 2,26% do que foi colocado pelo operador até que este percebesse a irregularidade no processo, que poderia causar danos ao equipamento, e parou de alimentar o mesmo. Como o tempo utilizado para obter esta quantidade foi de 49 segundos, tem-se então a capacidade do processo apresentada na equação 1.

Equação 1 - Capacidade do processo de moagem da espuma flexível de poliuretano

$$\text{Capacidade} = \frac{\text{Quantidade de material moído (kg)}}{\text{Tempo de processo (h)}}$$

$$\text{Capacidade} = \frac{0,0140 \text{ kg}}{0,0136 \text{ h}}$$

$$\text{Capacidade} = 1,0294 \text{ kg/h} \quad (1)$$

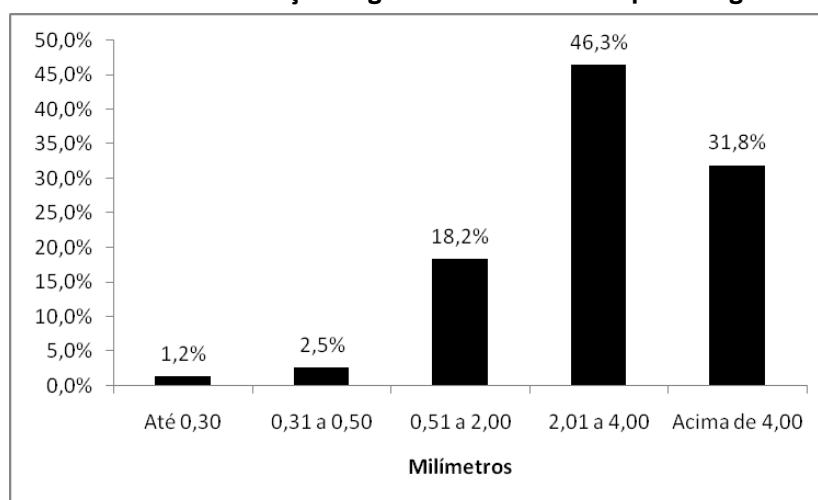
Fonte: Elaborado pelo autor (2020)

Como são poucas as informações quantitativas de processos de trituração de espuma flexível de poliuretano (tabela 1), não foi possível realizar muitas comparações. Apenas Fernandes (2013) informa que para obter 10kg deste material em pó, por meio de um aglutinador, foram necessárias 4 horas. Usando estas informações como base de cálculo, de mesma forma como apresentado anteriormente, chega-se a uma capacidade de processo de 2,5kg/h o que representa aproximadamente 143% a mais

do processo de moagem aqui testado. Lembrando que o equipamento utilizado não foi o mesmo, foi utilizado um aglutinador ao invés do moinho de facas.

A granulometria dos 0,014kg de material que passaram pela peneira do moinho, ficaram distribuídas da seguinte forma, conforme gráfico 1.

Gráfico 1 - Distribuição da granulometria obtida após moagem



Fonte: Elaborado pelo autor (2020)

Analisando a granulometria obtida com base na literatura, onde ocorreu alguma forma de trituração de espuma flexível de poliuretano, apenas Fernandes (2013), com auxílio de um aglutinador remete a esta variável, porém a descreve apenas como pó e não especifica a granulometria atingida de fato.

Segundo Datta *et al.* (2018), algumas tecnologias de processamento são indicadas para obtenção de granulometrias específicas para espumas flexíveis de poliuretano, conforme tabela 3.

Tabela 3 - Tamanhos de partículas obtidos por alguns tipos de processos

Tamanho da partícula	Processo
< 0,30 mm	Moagem com facas de precisão
< 0,30 mm	Peletizador
< 0,20 mm	Extrusão e cisalhamento em estado sólido
< 0,20 mm	Moagem criogênica
< 0,20 mm	Mistura de alto cisalhamento
< 0,10 mm	Moinho de rolo duplo

Fonte: Adaptado de Datta et al. (2018)

Ainda, segundo este autor, alguns pesquisadores demonstraram trabalhos com espuma de poliuretano moída (DATTA *et al.*, 2011; FRAJ *et al.*, 2010; MOUNANGA *et al.*, 2008; PARK *et al.*, 2015; STELLER *et al.*, 2017), porém todas as citadas, assim como todas as anteriormente citadas neste trabalho, utilizaram a espuma rígida, corroborando para a deficiência de literatura para poder realizar comparações dos resultados obtidos.

Sendo assim, a tabela 4 apresenta os resultados gerais, quantitativos e qualitativos, deste trabalho.

Tabela 4 - Resultados da moagem de espuma flexível de poliuretano

Variável	Característica	Medida
Capacidade	Quantitativa	1,0294 kg/h
		Até 0,30mm – 1,2%
		0,31 a 0,50mm – 2,5%
Granulometria	Quantitativa	0,51 a 2,00mm – 18,2%
		2,01 a 4,00mm – 46,3%
		Acima de 4,00mm – 31,8%
Fluxo de descida	Qualitativa	Insatisfatório
Moagem	Qualitativa	Insatisfatório

Fonte: Elaborado pelo autor (2020)

Com os resultados resumidos na tabela 4, todas as variáveis propostas, apresentadas na tabela 2, foram preenchidas e apresentam-se de forma absoluta, tendo-se anteriormente sido comparadas e discutidas tendo-se em vista que apenas uma literatura apresentou semelhança suficiente para tal, conforme apresentado, também anteriormente. No capítulo seguinte, a conclusão apresenta o fechamento geral de todo material aqui apresentado.

4 CONCLUSÃO

Por meio do uso de um moinho de facas, os resíduos de poliuretano flexível, oriundos de aparas de fabricação de assentos sanitários, foram expostos a granulação por um moinho de facas, mas o resultado se demonstrou insatisfatório qualitativamente e em termos quantitativos pode ser medido em capacidade do processo e granulometria, sendo que a capacidade obtida se mostra muito aquém do que o equipamento pode oferecer, mas suficiente o bastante para analisar em laboratório a granulometria.

A pouca literatura disponível sobre o tema não demonstrou base muito sólida para concluir se as variáveis quantitativas são aplicáveis para futuros processos, tais como carga ou mistura para formação de blendas com polímeros termoplásticos, como o polipropileno, por exemplo. Esta escassez de material bibliográfico sobre a reciclagem da espuma flexível também corrobora o quão complexo é a redução dos tamanhos das partículas deste material devido a suas propriedades mecânicas listadas anteriormente, sendo necessário continuar a pesquisa por soluções viáveis tecnicamente, incentivando, assim, a indústria a implementar processos de reciclagem e reduzir os impactos ambientais que tal resíduo gera atualmente e, como demonstrado anteriormente, com grande potencial de aumento.

REFERÊNCIAS

BECKER, Daniela. **Blendas PP/PU: estudo do efeito do agente compatibilizante e reciclagem de resíduos de pu.** 2002. 71 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

BOM, R. P. Alternativa de reciclagem de resíduos de espuma rígida de poliuretano com ABS. **Revista Matéria**, Joinville, v. 13, n. 2, p.388-397, maio 2008.

CARMO, Kerciely Martins do *et al.* Reaproveitamento de resíduo de espuma rígida de poliuretano em uma matriz termoplástica de poliuretano. **Research, Society And Development**, [s.l.], v. 9, n. 3, p. 1-16, 27 fev. 2020. Research, Society and Development. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i3.2695>.

DATTA, Janusz *et al.* Effect of polyurethane foam recycle on the mechanical properties of rubber vulcanizates plasticized with glycolyzates. **Przemysl Chemiczny**, Seoul, v. 90, n. 9, p. 1758-1761, out. 2011.

DATTA, Janusz *et al.* Mechanical Recycling via Regrinding, Rebonding, Adhesive Pressing, and Molding. **Recycling Of Polyurethane Foams**, [s.l.], p. 57-65, 2018. Elsevier. <http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-323-51133-9.00005-x>.

FERNANDES, Marcelo Vicente Forestieri. **Produção de composto polimérico a partir de polímeros reciclados: resíduos de espuma flexível de poliuretano, e polímero reciclado.** 2013. 57 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Materiais, Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2013.

FÓRUM INTERNACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS, 7. 2016. Porto Alegre. **Revisão das oportunidades de reciclagem do poliuretano rígido.** Porto Alegre: Escola Politécnica Unisinos, 2016. 10 p.

FRAJ, Amor Ben *et al.* Valorization of coarse rigid polyurethane foam waste in lightweight aggregate concrete. **Construction And Building Materials**, [s.l.], v. 24, n. 6, p. 1069-1077, jun. 2010. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2009.11.010>.

LOPES, Elio; BECKER, Daniela. Influência do uso do polioli reciclado obtido pela glicólise na preparação da espuma rígida de poliuretano. **Polímeros**, [s.l.], v. 22, n. 2, p. 200-205, 13 mar. 2012. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0104-14282012005000014>.

LUCKMANN, Luciano. **Reciclagem de resíduos de espuma rígida de poliuretano através da incorporação em polímeros termoplásticos, abs, psai e ps.** 2005. 171 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência e Engenharia de Materiais, Centro de Ciências Tecnológicas, Universidade do Estado de Santa Catarina, Joinville, 2005.

MOUNANGA, P. *et al.* Proportioning and characterization of lightweight concrete mixtures made with rigid polyurethane foam wastes. **Cement And Concrete Composites**, [s.l.], v. 30, n. 9, p. 806-814, out. 2008. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2008.06.007>.

NIKJE, Mir Mohammad Alavi *et al.* Polyurethane Waste Reduction and Recycling: from bench to pilot scales. : From Bench to Pilot Scales. **Designed Monomers And Polymers**, [s.l.], v. 14, n. 5, p. 395-421, jan. 2011. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1163/138577211x587618>.

PAGLICAWAN, Marissa A. *et al.* Waste PU/PP Blends with Improved Technological Properties. **Polymer-plastics Technology And Engineering**, [s.l.], v. 47, n. 1, p. 47-52, 26 dez. 2007. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/03602550701580896>.

PARK, Jong-seok *et al.* Preparation of High Density Polyethylene/Waste Polyurethane Blends Compatibilized with Polyethylene-Graft-Maleic Anhydride by Radiation. **Materials**, [s.l.], v. 8, n. 4, p. 1626-1635, 8 abr. 2015. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/ma8041626>.

PEREIRA, Simone Fontana. **Efeitos da incorporação de resíduos de espuma rígida de poliuretano em compostos poliméricos a base de polipropileno.** 2012. 97 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência e Engenharia de Materiais, Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2013.

PINTO, Augusto G. *et al.* UTILIZAÇÃO DE REJEITO DE POLIURETANO NA PRODUÇÃO DE CONCRETO LEVE. **Revista de Iniciação Científica da Ulbra**, Canoas, v. 1, n. 15, p. 129-140, nov. 2017. Anual.

POST, Wouter *et al.* A Review on the Potential and Limitations of Recyclable Thermosets for Structural Applications. **Polymer Reviews**, [s.l.], v. 60, n. 2, p. 359-388, 8 out. 2019. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/15583724.2019.1673406>.

ROSA, Derval S. *et al.* Desenvolvimento de Processo de Reciclagem de Resíduos Industriais de Poliuretano e Caracterização dos Produtos Obtidos. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, [s.l.], v. 13, n. 1, p. 64-71, 2003.

REVJAKIN, O *et al.* Properties of compositions based on post-consumer rigid polyurethane foams and low-density thermoplastic resins. **Polymer International**, [s.l.], v. 49, n. 9, p. 917-920, 2000. Wiley. [http://dx.doi.org/10.1002/1097-0126\(200009\)49:93.0.co;2-m](http://dx.doi.org/10.1002/1097-0126(200009)49:93.0.co;2-m)

SANTOS, Ana Carolina. **Estudo e avaliação da reciclagem de polímeros**. 2019. 54 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Materiais, Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2019.

SIMÓN, D. *et al.* Recycling of polyurethanes from laboratory to industry, a journey towards the sustainability. **Waste Management**, [s.l.], v. 76, p. 147-171, jun. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2018.03.041>.

SINGH, Indrajeet *et al.* Recent Advancement in Plant Oil Derived Polyol Based Polyurethane Foam for Future Perspective: a review. : A Review. **European Journal Of Lipid Science And Technology**, [s.l.], v. 122, n. 3, p. 1-43, 26 dez. 2019. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/ejlt.201900225>.

SPIANCÉ, Márcia Aparecida da Silva; PAOLI, Marco Aurelio de. A TECNOLOGIA DE RECICLAGEM DE POLÍMEROS. **Quím. Nova**, Campinas, v. 28, n. 1, p. 65-72, nov. 2004.

STELLER, R *et al.* Polyolefins filled with waste rigid polyurethane foam and compatibilized by solid-state shear pulverization during extrusion. **Polimery**, [s.l.], v. 62, n. 3, p. 181-195, mar. 2011.

SULEMAN, Shoaib *et al.* A Comprehensive Short Review on Polyurethane Foam. **International Journal Of Innovation And Scientific Research**. Lahore, Pakistan, p. 165-169. nov. 2014.

ULIANA, Fabrício. **Estudo teórico e experimental da despolimerização de poliuretanos**: uma nova visão para reciclagem química. 2018. 74 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Química, Centro de Ciências Exatas, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2018

VIEIRA, Carla da C. *et al.* Estudo sobre o Tratamento e Destinação de Rejeitos de Poliuretano. **Revista de Ciências Exatas e Tecnologia**, [s.l.], v. 12, n. 12, p. 31-34, 22 fev. 2018. Editora e Distribuidora Educacional. <http://dx.doi.org/10.17921/1890-1793.2017v12n12p31-34>.

YANG, Wenqing *et al.* Recycling and Disposal Methods for Polyurethane Foam Wastes. **Procedia Environmental Sciences**, [s.l.], v. 16, p. 167-175, 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.proenv.2012.10.023>.

ZIA, Khalid Mahmood *et al.* Methods for polyurethane and polyurethane composites, recycling and recovery: a review. : A review. **Reactive And Functional Polymers**, [s.l.], v. 67, n. 8, p. 675-692, ago. 2007. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.reactfunctpolym.2007.05.004>.