

ANÁLISE EXPERIMENTAL DA VAZÃO VOLUMÉTRICA EM SISTEMA DE MANUFATURA ADITIVA POR EXTRUSÃO DE MATERIAL POR ÊMBOLO COM GRANULADOS DE POLIPROPILENOS

Paulo André Canedo da Silva, pauloandrecanedo@gmail.com¹

Neri Volpato, nvolpato@utfpr.edu.br¹

¹ Departamento Acadêmico de Mecânica (DAMEC) – UTFPR, Núcleo de Manufatura Aditiva e Ferramental (NUFER), Rua Deputado Heitor Alencar Furtado 5000, Ecoville, CEP 81280-340, Curitiba - PR – Brasil.

Resumo: No processo de fabricação por Manufatura Aditiva (AM) destaca-se o interesse sobre o princípio de extrusão de material, onde uma alternativa para aumentar a gama de matéria-prima é o uso de material na forma de granulado. No entanto, um sistema de extrusão de material granulado por êmbolo (em desenvolvimento) tem gerado filamentos com variação de sua geometria ao longo da extrusão de uma carga de material. Este fenômeno está associado à variação da vazão volumétrica. Este trabalho tem como objetivo inicial procurar entender o(s) motivo(s) da variação da vazão volumétrica de forma experimental. Este entendimento permitirá a verificação de uma possível solução para o problema identificado. Para se analisar esta variação foram realizados testes experimentais com diferentes polipropilenos (PP), medindo-se de forma indireta a vazão e a pressão de extrusão. Os experimentos foram conduzidos para caracterizar as dimensões dos filamentos gerados com os granulados de PP com índices de fluidez (IF): baixo (PPH 503), médio (PPH 301) e alto (PPCP 204). Os resultados mostraram que a análise foi capaz de identificar o problema da variação da vazão volumétrica e da pressão, podendo contribuir para a avaliação de novos materiais. No entanto, estes não foram conclusivos em relação à influência do índice de fluidez na variação da vazão, indicando que novos estudos devem ser realizados.

Palavras-chave: Manufatura Aditiva, extrusão de material, granulado de polipropileno, índice de fluidez.

1. INTRODUÇÃO

As empresas sempre procuram novas tecnologias e matérias-primas para redução de tempo e custo de fabricação. Uma das tecnologias que tem colaborado neste sentido é a Manufatura Aditiva (AM). A AM é um processo de fabricação por adição de material, camada a camada, a partir de um modelo geométrico tridimensional (ISO/ASTM 52900, 2015). Essa técnica não utiliza molde ou ferramental moldante e se contrapõe aos tradicionais processos de fabricação por remoção de material (Chua et al, 2010; Gibson et al., 2010).

Em particular, o princípio de AM por Extrusão de Material consiste em forçar o material a passar através de um pequeno orifício ou bico calibrado formando um filamento que é adicionado seletivamente camada a camada (ISO/ASTM, 2015). A forma mais conhecida de se alimentar um sistema de extrusão de material é através de um filamento contínuo (Fig. 1a). Este princípio é utilizado pela tecnologia comercial denominada de modelagem por fusão e deposição (FDM) e pela grande maioria das impressoras 3D de bancada. Contudo, existem alternativas de alimentação, como o uso de material granulado. O uso de granulado na AM elimina uma etapa do processamento da matéria-prima, necessária para produzir o filamento e pode aumentar o portfólio de materiais disponíveis. O material pode ser alimentado por roscas, por pistão pneumático ou por êmbolo (Turner et al, 2014; Kretschek, 2012). A Figura 1(b) ilustra uma seringa, tendo a fonte de pressão por inserção de ar comprimido sobre o material. A Figura 1 (c) permite o uso de granulados ou pó, sendo que a rosca irá misturar e plastificar o material com a pressão necessária para a extrusão (Turner et al., 2014).

A extrusão por rosca necessita grande atenção na geometria da rosca, em função do tamanho reduzido torna-se complexa e de elevado custo. A alimentação por pistão pneumático é geralmente pouco utilizada. Já o uso de extrusão por êmbolo garante um aparato simples (Kretschek, 2012 e Volpato et al, 2015). No entanto, observa-se um problema que deriva do fato de que a matéria-prima deve sofrer a fusão (somente em uma região localizada próxima ao bico calibrado), enquanto o êmbolo avança os granulados com duas ou mais fases separadas. O conhecimento dos fenômenos associados a este problema é a base para o avanço tecnológico deste princípio de alimentação.

O objetivo principal deste estudo foi buscar um melhor entendimento do fenômeno da fusão dos granulados (*pellets*), neste caso de Polipropileno (PP), e identificar a influência do índice de fluidez com a variação da vazão volumétrica. Tem-se a expectativa que, futuramente, este estudo auxilie no processo de testar novas matérias-primas.

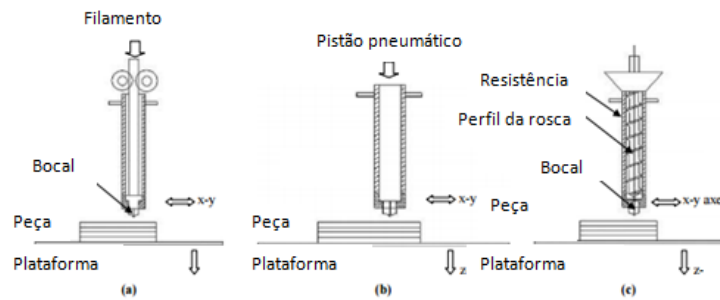


Figura 1. Processos típicos de AM por extrusão de material (Gilson et al, 2009).

2. ALTERNATIVAS DE ALIMENTAÇÃO NOS PRCESSOS DE EXTRUSÃO DE MATERIAL

Os sistemas AM comerciais, apesar de serem bem inseridos em ambientes industriais, são caros, possuem projetos fechados, e utilizam poucos materiais, os quais têm alto valor e são obrigatoriamente fornecidos por alguns fornecedores, limitando os avanços da tecnologia. Assim, com base nestes equipamentos, alguns autores desenvolveram seus próprios sistemas baseados em AM por extrusão de material. Em todos os estudos, a obtenção de um fluxo constante de material é um importante fator para a determinação da qualidade das peças (Agarwala et al, 1996).

Domingos et al, (2009) desenvolveram um equipamento para extrusão de polímeros biocompatível e biodegradável, utilizando a matéria-prima policaprolactona. Este aparato é constituído de quatro reservatórios que podem ter diferentes materiais. Os reservatórios são acionados de maneira pneumática. O autor não relata divergências e as peças produzidas em análise visual, são de boa qualidade. O diâmetro do filamento é em torno de 0,3 mm. Os autores não citam informações técnicas do equipamento e nem citam análises sobre o filamento gerado.

Silveira et al (2013) desenvolveram um equipamento de extrusão de material por mini-rosca aquecida, que não degrada o polímero nas etapas de processamento e é capaz de produzir filamentos contínuos com o uso de matéria-prima na forma de pellets. Os testes preliminares apresentaram a continuidade nos filamentos de Nylon 12 sem variação considerável no diâmetro, produzindo filamentos com $\varnothing$ 0,75 mm. Neste mesmo grupo de pesquisa tem-se que a média de variação do diâmetro do filamento deste equipamento foi informada como sendo 0,73 mm, porém os autores não revelam o desvio padrão (INFORÇATTI et al (2014).

Woodfield et al. (2003) construíram um dispositivo semelhante a uma seringa de aço inoxidável para extrusão de um copolímero, o qual é fundido pela fonte de calor provindo da resistência elétrica a uma temperatura de 350°C. A matéria-prima polietileno glicol tereftalato (PEGT), poli tereftalato de butileno (PBT) na forma de pellets é depositada no interior da seringa, para ser extrudados por uma agulha acoplada ao bico. A pressão para a extrusão do material foi gerada pela movimentação do pistão acionado pelo motor de passo e controlada usando-se uma célula de carga. Os autores relatam que a relação de controle de velocidade e de força foi monitorada, porém não informam estes dados.

As impressoras Fab@Home também utilizam seringas para depositar o material de construção tipicamente no estado pastoso. Nixon e Tan (2007) construíram um cabeçote de extrusão utilizando um equipamento Fab@Home. Os autores processaram no cabeçote o material copolímero etileno-acetato de vinila (EVA). Nesta pesquisa, os autores aqueceram a matéria-prima a 123°C sendo conduzida por gravidade para o fundo da câmara onde uma rosca transporta a massa da fusão e gera a pressão suficiente para iniciar a passagem pelo bico de 1 mm de diâmetro. Os autores não relataram problemas de processamento e não analisam quantitativamente os filamentos.

Kretschek (2012) projetou um cabeçote de alumínio com êmbolo metálico. Para o projeto desse cabeçote, o autor se preocupou com o tempo de permanência do material fundido, para que não haja degradação térmica do material.

Na região dos grânulos a temperatura está abaixo da T_m e na região de calor a temperatura está a T_m , como modelado na Fig. 2. Nesta figura são ilustrados alguns parâmetros do processo de AM por extrusão de material granulado, a temperatura de processamento (T_p), a velocidade de extrusão de filamento (V_f), a velocidade do êmbolo (V_e), a velocidade do deslocamento do cabeçote (V_d) e a altura da camada (h).

Kretschek (2012) relatou que a velocidade de extrusão é uma função da velocidade do êmbolo e dos fenômenos de compressão da massa polimérica bifásica. O autor analisou a fusão do PPH 301 ao longo do cilindro; verificou o perfil de temperatura em quatro posições ao longo do cilindro a 8 mm, 20 mm, 32 mm e a 56 mm; realizou o teste de degradação do material; definiu a janela de processamento visando estudar o comportamento dimensional e geométrico do filamento com comprimento de 4000 mm.

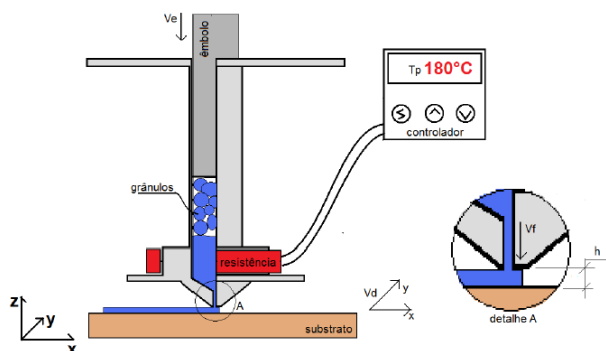


Figura 2. Cabeçote de extrusão de grânulos (pellets) (Kretschek, 2012).

Kretschek (2012) finaliza seu trabalho experimental relatando que a área do filamento apresentou um comportamento crescente até em torno de 1550 mm de extrusão a partir de onde praticamente se estabilizou. A Figura 3 ilustra a variação da área do filamento (vazão volumétrica) encontrada neste estudo (Volpato et al, 2015).

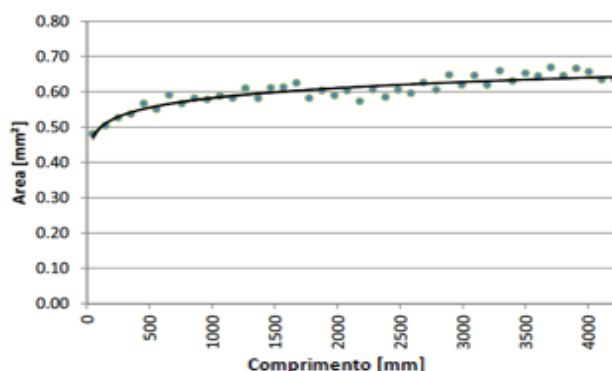


Figura 3. Variação da área do filamento ao longo do seu comprimento (Volpato et al, 2015).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

A complexidade do estudo da fusão de granulados deve-se às interações entre as estruturas das fases envolvidas, particularmente na transformação física do grão em filamento, que são dependentes das condições operacionais (temperatura, velocidades, pressão e vazão), das propriedades físicas da matéria-prima, da configuração geométrica da cabeça de extrusão e do bico calibrado. Durante a extrusão de materiais, vários fenômenos ocorrem: transporte de material sólido, transferência de energia, mudança de fase e escoamento de material não newtoniano. Para contribuir nesta direção, buscou-se experimentalmente realizar a análise descrita a seguir.

3.1 Polipropilenos granulados

Neste trabalho foram utilizados os granulados de polipropilenos com diferentes índices de fluidez, sendo dois homopolímeros PPH 503, PPH 301 e um copolímero heterofásico PPCP 204 (Tab. 1). A utilização de mais de um tipo de PP ocorreu com o intuito de melhorar o entendimento do fenômeno observado e analisar, se mudando os índices de fluidez da matéria-prima haverá variações do diâmetro do filamento (correspondendo a vazão). O PPH 503 é um polipropileno isotático homopolímero, com baixo índice de fluidez. O PPH 301 é um polipropileno de médio índice de fluidez. O PPCP 204 é um copolímero heterofásico de propeno e eteno, de alto índice de fluidez (Braskem, 2014).

Tabela 1. Propriedades típicas dos polipropilenos PPH 503, PPH 301 e PPCP 204 (Braskem, 2014).

Propriedade segundo a fabricante	PPH 503	PPH 301	PPCP 204
Índice de fluidez a 230 °C e 2,16 kg	3,5 g/10 min	10 g/10 min	22 g/10 min
Densidade a 23 °C	0,905 g/cm³	0,905 g/cm³	0,900 g/cm³
Temperatura de amolecimento	155 °C	153 °C	152 °C
Resistência à tração	35 MPa	34 MPa	28 MPa
Dureza Rockwell Escala R	97	98	92

3.2. Cabeça de extrusão

Com base em algumas dificuldades relatadas por Kretschek (2012), algumas alterações no sistema tiveram que ser realizadas. A primeira foi a substituição da resistência elétrica utilizada por uma resistência elétrica comercial. Alterou-se o projeto do cabeçote que tinha o bico incorporado ao cilindro, para um que permitisse a inserção de um bico calibrado comercial (Fig. 4a). Houve também o aumento da espessura da parede do cilindro, pois era muito fina e provocava rachaduras caso a pressão fosse excedida. A Figura 4(b) apresenta o cabeçote completo montado no equipamento.

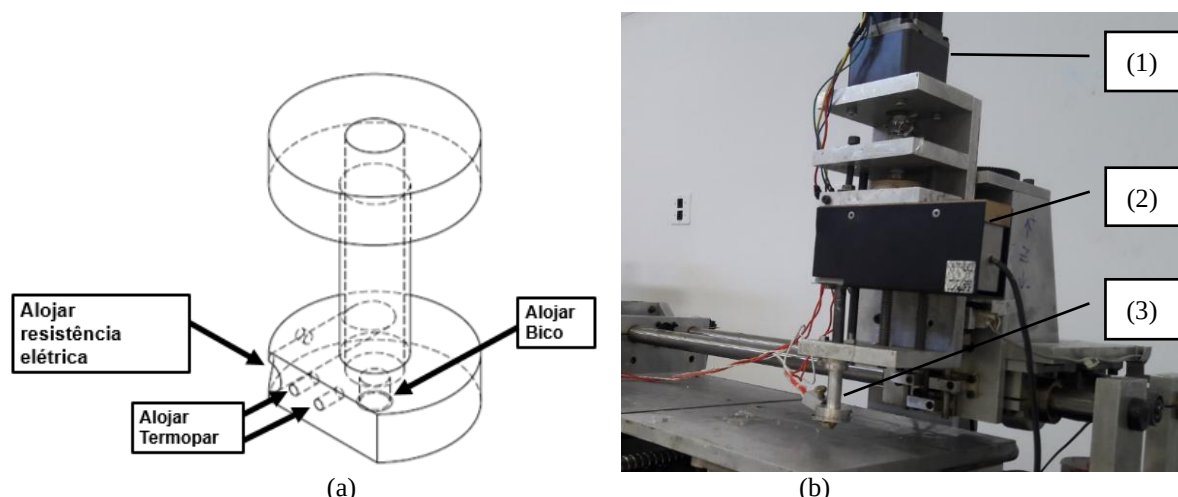


Figura 4. Detalhe do corpo do cilindro de extrusão (a) e cabeçote completo (b): motor (1); célula de carga (2) e cabeça de extrusão (êmbolo, cilindro e bico de extrusão) (3).

3.3 Método para medição indireta da vazão volumétrica

Para a realização dos experimentos definiu-se inicialmente uma janela de processamento para cada PP com as seguintes variáveis: temperatura de extrusão, velocidade do êmbolo (V_e) no plano z e a velocidade de deslocamento do bico no plano x-y (velocidade da trajetória V_d). As corretas definições destas variáveis formam um filamento satisfatório. Os critérios de elegibilidade de escolha dos parâmetros foram: repetibilidade do processo e obtenção de filamento contínuo e uniforme. Os parâmetros de deposição encontrados como satisfatórios estão apresentados na Tab. 2.

Tabela 2. Definição dos parâmetros para geração do filamento: PPH 503, PPH 301 e PPCP 204.

	T (°C)	V_e (micropasso/s)	V_d (mm/min)
PPH503	235	2000	227
PPH301	215	1500	98
PPCP204	205	2000	98

Após a definição dos parâmetros para cada um dos polipropilenos estudados, realizou-se a deposição de material em uma trajetória ao longo de 4.000 mm, em um padrão zigue-zague de 100 mm de comprimento, correspondendo a um cabeçote cheio com o granulado. Estes ensaios foram repetidos 3 vezes para cada material. O procedimento de início de ensaio foi o de encher o volume do cilindro de extrusão, aguardar 10 min para criar um colchão de material fundido próxima à região do bico e acionar o deslocamento do êmbolo para iniciar a extrusão. Este tempo de 10 min iniciais foi determinado experimentalmente e é necessário, pois caso contrário o êmbolo iniciaria o deslocamento do granulado sem o material próximo ao bico ainda ter atingido a temperatura de fusão.

A obtenção da vazão volumétrica ao longo dos 4000 mm foi medida de forma indireta, através da medição da altura do filamento gerado. Para reduzir o erro da seção circular do filamento, a solução encontrada consistiu em depositar o material a uma distância de 5 mm entre o bico e a plataforma de construção (distância h na Fig. 2). A Figura 5 ilustra o traçador de altura digital HDS, da marca Mitutoyo, com resolução 0,01 mm utilizado para medir o perfil de altura do filamento (a seta aponta o filamento sendo medido). A medição foi realizada sobre a trajetória do filamento, fixando-o ao longo de uma mesa de granito. Para a coleta de dados foi estabelecido um procedimento para medir a cada 100 mm até os 4000 mm finais.



Figura 5. Medição da vazão volumétrica de forma indireta pelo diâmetro do filamento.

3.4 Método para medição indireta da pressão de extrusão

Na literatura disponível não foi encontrado métodos de medição da pressão de extrusão que atenda aos requisitos de arquitetura aberta e de baixo custo. Assim adaptou-se uma célula de carga desenvolvida por Gasoto (2012), a qual foi inserida no êmbolo do cabeçote da máquina de AM de extrusão por material granulado (Fig. 4b).

Esta célula de carga utiliza um extensômetro (*strain gages*) para medir a torção, tração ou compressão. O dispositivo eletrônico adquire os sinais gerados pelo extensômetro, que são disponibilizados para análise. O extensômetro de folha é um elemento sensor e o sinal gerado é filtrado, amplificado, convertido para digital e em seguida enviado para o computador pelo conversor RS485/USB, utilizando o protocolo ModBus, por um microcontrolador PIC16F1782 (GASOTO, 2012). A célula utilizada possui uma limitação na capacidade de realizar leituras de até 20 kgf (20.000 gf).

A calibração da célula de carga se deu com a inserção de massas conhecidas sobre a mesma e registrando os valores medidos. Os resultados destas leituras foram estáveis e lineares. A questão de ruído eletrônico e ruídos mecânicos não interferiram nos ensaios. Uma última aferição foi realizada registrando-se a carga em vazio (sem material) ao longo de todo o percurso do êmbolo. Isso serviu para se certificar que o mecanismo de acionamento do êmbolo não oferecia alguma resistência diferenciada ao seu deslocamento ao longo de todo o percurso.

Este aparato foi utilizado para registrar a carga necessária para extrudar o material ao longo dos 4000 mm.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 6 apresenta os resultados da altura do filamento (correspondendo a vazão volumétrica) (a) e da força de extrusão (correspondendo a pressão de extrusão) (b) para o PPH 503. Os mesmos resultados são apresentados na Fig. 7 e 8 para o PPH 301 e PPCP 204, respectivamente.

A altura média do filamento para o PPH 503 demonstrou um leve crescimento ao longo do percurso, apresentando uma variação de aproximadamente 0,10 mm, entre o início e final dos 4000 mm. O desvio padrão deste material foi o mais baixo em relação aos outros dois. A variação da força de extrusão foi crescente ao longo do curso do êmbolo, mas não parece ter se refletido claramente na altura do filamento (vazão).

Já o material PPH 301 apresentou o maior desvio padrão da altura do filamento. A variação foi de aproximadamente 0,15 mm. A média da altura do filamento apresentaram algumas oscilações consideráveis ao longo dos 4000 mm. Observando o resultado da força de extrusão, observa-se também alguns picos de carga que podem ser correlacionados com a variação das alturas do filamento (vazão). Exemplos disso é o pico de carga um pouco acima dos 2500 mm e uma queda logo na sequência, que se refletem num pico e queda da altura do filamento (Fig. 7a e 7b). Estes picos podem estar relacionados a movimentos de acomodação dos granulados ao se moverem, liberando-se de algum ancoramento momentâneo.

O PPCP 204 foi o único que apresentou uma leve redução na média das alturas do filamento no início do processo. Uma possibilidade para este comportamento é que o material do colchão junto ao bico calibrado esteja a uma temperatura maior que o material logo acima e, por ter um maior índice de fluidez, o seu escoamento seja facilitado (maior vazão), mesmo com uma baixa força de extrusão.

Um comportamento que chama a atenção para todos os materiais é o aumento progressivo da força de extrusão até em torno de 1000 mm de filamento. Este efeito pode ser atribuído ao volume inicial do colchão de material que se encontra fundido ao iniciar a extrusão. Assim que este volume inicial é consumido, o sistema tende a entrar em regime. Neste estágio, entende-se que a maior parte da energia fornecida pela resistência elétrica do bico seja gasta para elevar a temperatura do material ao um ponto que seja possível o seu escoamento. Neste sentido, é de se esperar que os materiais que apresentam um maior índice de fluidez, este regime seja alcançado antes, exigindo também uma força menor para o

seu escoamento. Isto ficou evidente nos resultados, pois a força de extrusão para o PPCP 204 ficou em torno de 10 kgf, enquanto para os outros dois ficou entre 12,5 e 15 kgf (com alguns picos acima disso).

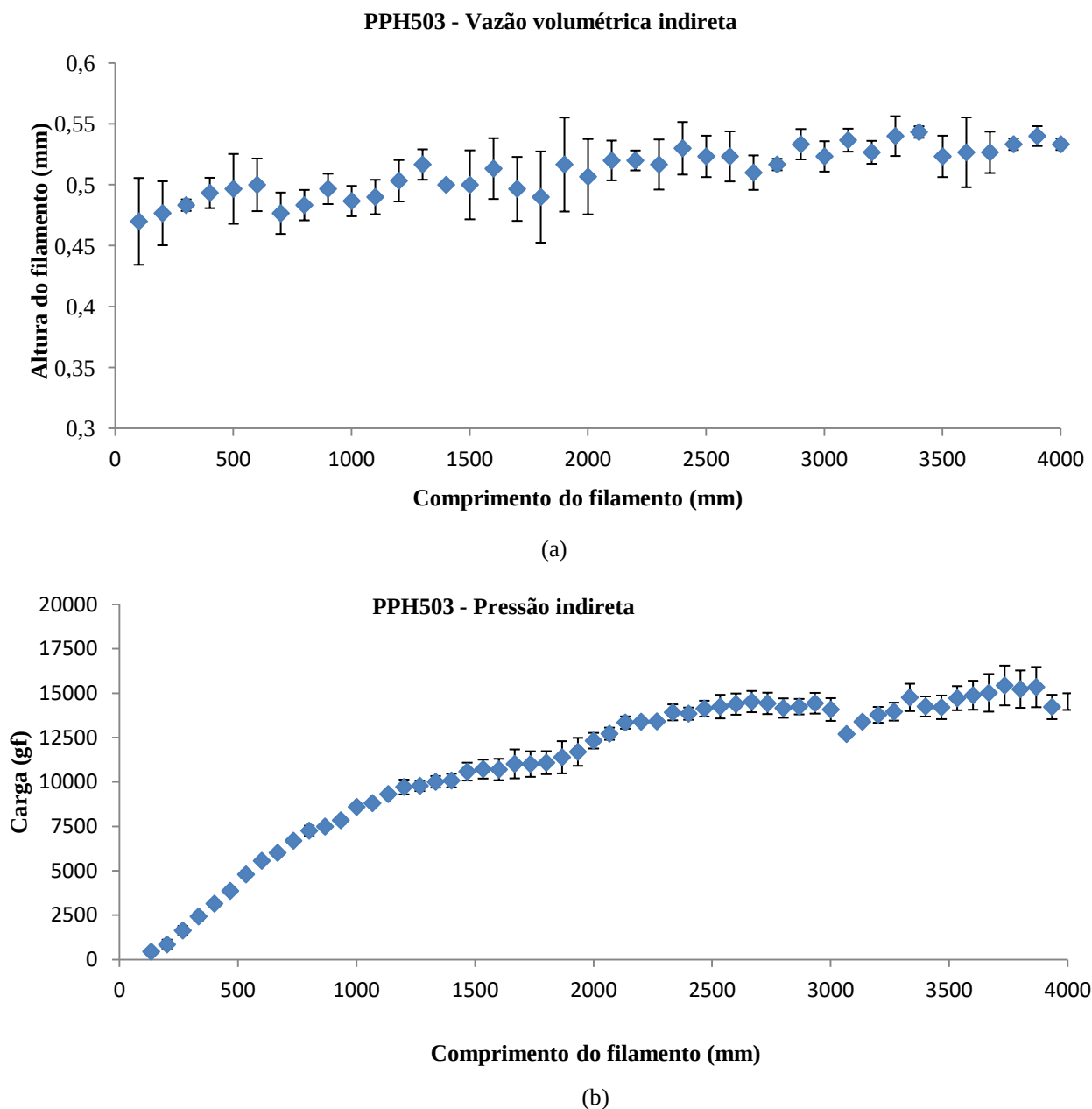


Figura 6. Resultados da altura do filamento (vazão volumétrica) (a) e da força de extrusão (pressão) (b) para o PPH 503.

Uma alternativa para minimizar o efeito do colchão na variação da vazão no início do escoamento seria analisar uma forma de reduzir o volume do mesmo. Isto também seria necessário futuramente ao se pensar em equipamento de AM que deve trabalhar de forma ininterrupta por várias horas. É possível pensar em um sistema automático de recarga do granulado, mas aguardar um tempo longo para formar este colchão não seria muito produtivo.

Comparando as variações da altura do filamento (vazão volumétrica) e da força de extrusão (pressão), nota-se que as características do material utilizado afetam de forma considerável os resultados. No entanto, não é possível atribuir estas variações somente ao índice de fluidez do material. Outras características dos materiais precisam ser levantadas para auxiliar neste entendimento.

Para se pensar em alguma forma de correção da variação da vazão, seria necessário um tratamento específico do sistema de controle do equipamento para cada material. Os fenômenos que ocorrem no interior do cilindro envolvem processos de mudança de fase com transferência de calor em escoamento de materiais multifásicos. Por ser muito específico e complexo, não foi encontrado na literatura nenhum modelo matemático que represente o processo. A criação de um modelo deste tipo poderia auxiliar neste entendimento.

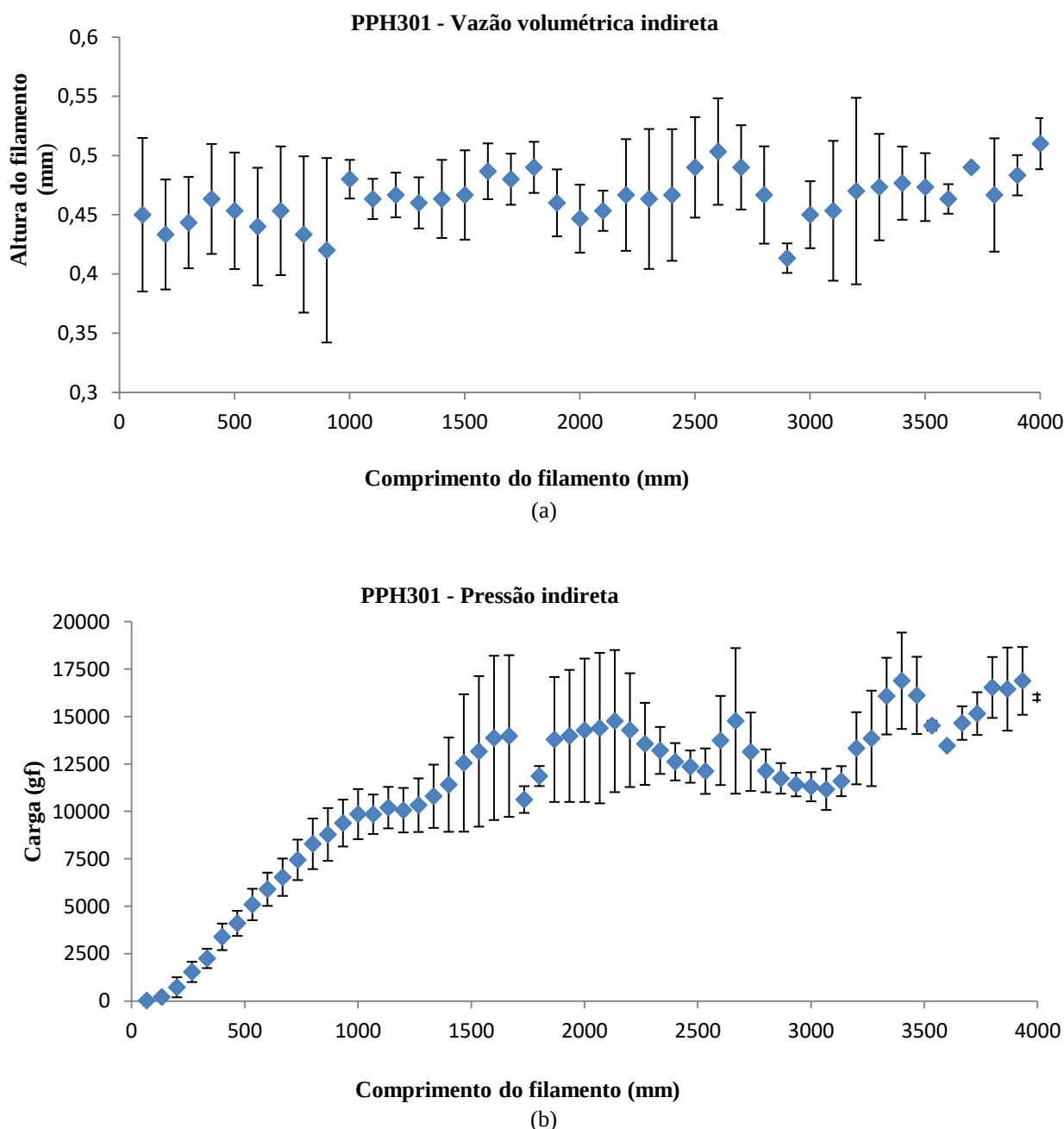


Figura 7. Resultados da altura do filamento (vazão volumétrica) (a) e da força de extrusão (pressão) (b) para o PPH 301.

5. CONCLUSÕES

A alternativa para utilização de matéria-prima na forma de granulado no processo de extrusão de material com êmbolo foi analisada em mais detalhes. As medições da vazão volumétrica e da pressão foram feitas de forma indiretas. Os resultados mostraram, no entanto, que os a vazão volumétrica apresenta variações ao longo do curso de extrusão de uma carga. Esta variação tem relação com o índice de fluidez e com o tipo de polipropileno utilizado. Porém, não foi possível correlacionar este comportamento somente com esta característica do material. Um estudo mais aprofundado dos materiais precisa ser realizado.

Um dos efeitos sobre a variação da vazão observado no início do processo, em todos os materiais analisados, foi decorrente do volume do colchão inicial formado. Ficou evidente que este volume deve ser minimizado para cada material. Além de reduzir a variação da vazão no início do processo, facilitaria o processo de recarga de material em um equipamento de AM.

Apesar de não serem conclusivos, os resultados deste estudo podem ser úteis para uma futura proposta de controle do filamento. Adicionalmente, pode contribuir como um referencial experimental para um futuro modelo matemático que inclua transferência de calor em escoamento com mudança de fase para outros polímeros granulado.

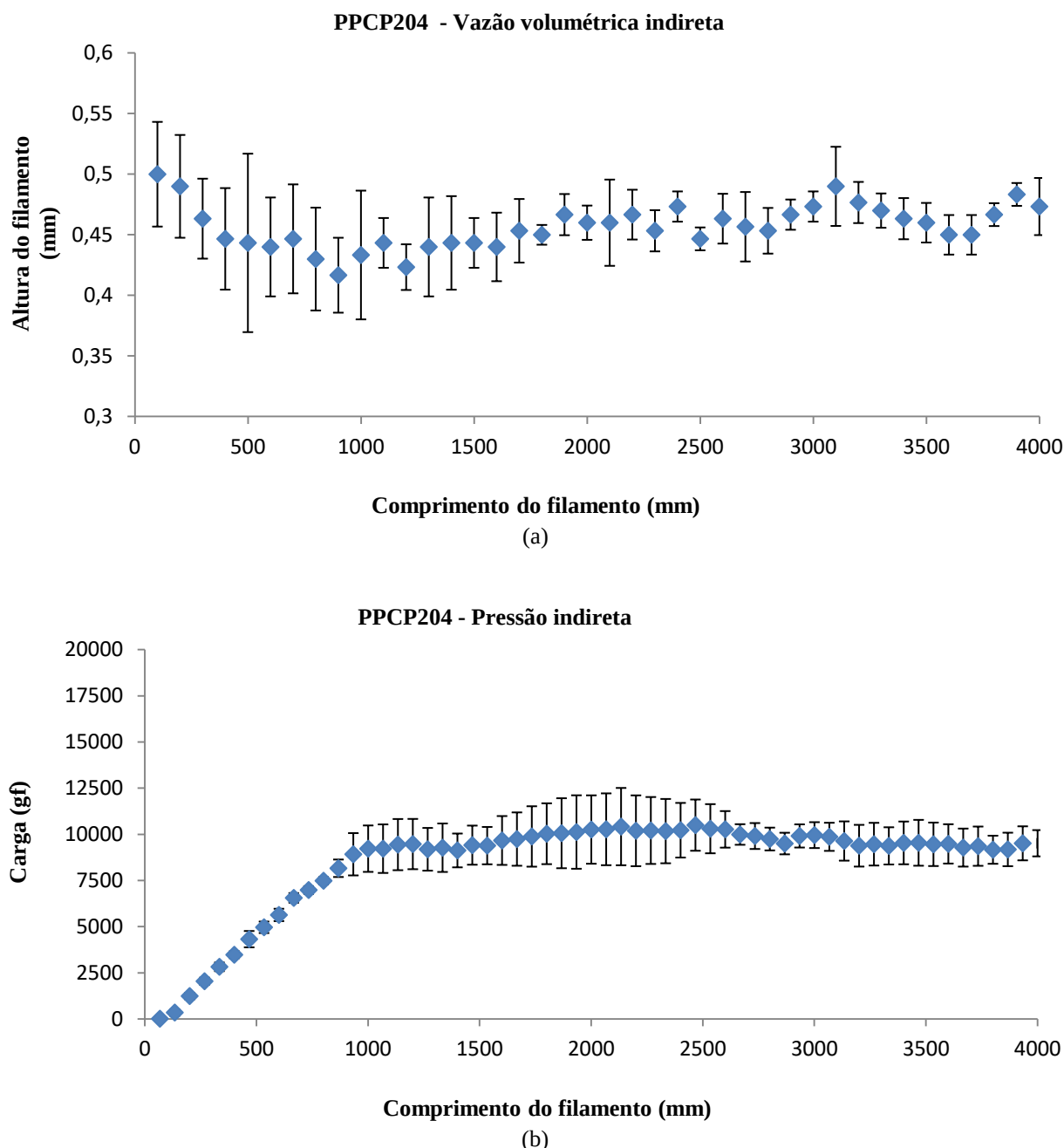


Figura 8. Resultados da altura do filamento (vazão volumétrica) (a) e da força de extrusão (pressão) (b) para o PPCP 204.

6. REFERÊNCIAS

- AGARWALA, M. K.; JAMALABAD, V. R.; LANGRANA, N. A.; SAFARI, A.; WHALEN, P. J.; DANFORTH, S. C. 1996. "Structural quality of parts processed by fused deposition" Rapid Prototyping J., Vol. 2 Issue: 4, pp. 4-19.
- _____. BRASKEM, Disponível em: http://www.braskem.com.br/Portal/Braskem/files/braskem_RA_2014_Final.pdf.
- CHUA, C. K. LEONG, K. F. LIM, C. S. 2010. "Rapid prototyping: principles and applications" Word Scientific Singapore.
- DOMINGOS, M. DINUCCI, D. COMETA, S. ALDERIGHI, M. BARTOLO, P. J. CHIELLINI, F. 2009. "Polycaprolactone scaffolds fabricated via bioextrusion for tissue engineering applications" Int. J. of Biomaterials, Vol. 2009, Article ID 239643, pp. 9

- GASOTO, S. 2012. “Sistema de aquisição de dados para sensores do tipo extensômetro.” 80f. Graduação em Engenharia de Controle e Automação – Mecatrônica – da PUC, Curitiba.
- GIBSON, I., SAVALANI, M. M., LAM, C. X. F., OLKWSKI, R. EKAPUTRA, A. K., TAN, K. C. and H. D. W. 2009. “Towards a medium/high load bearing scaffold fabrication system” Tsinghua Science & Technology, Vol. 14, Supplement 1, pp. 13-19.
- GIBSON, I., Rosen, D. W., Stucker, B. 2010. “Additive manufacturing technologies. Springer, New York. USA.
- ISO/ASTM 52900, 2015. “International Committee F42 on Additive Manufacturing Technologies”. West Conshohocken, PA, USA.
- INFORÇATTI, N. Estudo da viabilidade técnica e projeto de um mini-cabeçote de extrusão com rosca para impressoras tridimensionais portáteis Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo – USP. Escola de Engenharia de São Carlos - EESC – São Carlos, SP. 2014.
- KRETSCHKEK, David. 2012. “Desenvolvimento de um Cabeçote de Extrusão por Êmbolo para Polipropileno Granulado Visando a Manufatura Aditiva”. 131f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba.
- VOLPATO, N. Kretschkek, D. Foggatto, J. A. Cruz, C. M. G. S. 2015 “Experimental analysis of extrusion system for additive manufacturing based on polymer pellets.” The international journal of advanced manufacturing technology. Vol. 81, Issue 9, pp 1519-1531..
- SILVEIRA, Z. C., Freitas, M. S. Neto, P. I. Noritomi, P. Y. Silva, J. V. L. 2012. “Design development and functional validation of a interchangeable head based on mini screw extrusion applied in a experimental desktop 3D printer. Int. J. Rapid Manufacturing, 2012.
- TURNER, B. N.; STRONG, R; GOLD, S. A. 2014. “A review of melt extrusion additive manufacturing process: I Process. Rapid Prototyping Journal, Vol. 20, Issue 3, pp. 192-203.
- desing and modeling”. 15 f. Rapid Prototyping. Journal.
- WOODFIELD, T. B. F., Malda, J., Wijn, J., Péters, F., Riesle, J., van Blitterswijk, C. A. Design of porous scaffolds for cartilage tissue engineering using a three dimensional fiber deposition technique. Biomaterials 25, Netherlands, 2003.

7. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluídos no seu trabalho.

EXPERIMENTAL ANALYSIS OF VOLUMETRIC FLOW IN ADDITIVE MANUFACTURING SYSTEM BASED ON MATERIAL EXTRUSION USING GRANULATES OF POLYPROPYLENES

Paulo André Canedo da Silva, pauloandrecanedo@gmail.com¹
Neri Volpato, nvolpato@utfpr.edu.br¹

¹ Additive Manufacturing and Tooling Group (NUFER), Federal University of Technology - Paraná (UTFPR), R. Dep. Heitor Alencar Furtado, 5000 - Campo Comprido, Curitiba - PR, Zip Code: 81280-340

Abstract: In the Additive Manufacturing (AM) process based on the material extrusion principle, an alternative to increase the range of raw material is the use of material in the granulate form (pellets). However, a plunger-granulated extrusion system (in development) has generated filament with variation in the geometry along the material extrusion process. This phenomenon is associated to a volumetric flow variation. This work aims to understand the volumetric flow variation in an experimental way. This understanding might allow finding a possible solution to this problem. To analyse this variation, experimental tests with different polypropylenes (PP) were performed, where the volumetric flow and extrusion pressure were indirectly measured. The experiments were conducted to characterize the size of the filaments generated with PP with flow indexes varying from: low (PPH 503), medium (PPH 301) to high (PPCP 204). The results showed that the analysis was able to identify the problem of volumetric flow variation and could contribute to the evaluation of new materials. However, the results were not conclusive in relation to the influence of the flow index in the volumetric flow variation. This indicates that further studies are necessary.

Keywords: Additive Manufacturing, material extrusion, polypropylene granulate, flow index.