

## Aspectos reológicos do *feedstock* para utilização no processo MIM: revisão

E. K. Kerstner\*, L. Schaeffer, M. S. de Lorenzi, D. M. Mergutti, C. C. Rosado

Laboratório de Transformação Mecânica - Departamento de Metalurgia – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Avenida Bento Gonçalves, 9500, CEP 91501-970, Porto Alegre – RS

(Recebido em 19/10/2009; revisado em 07/12/2010; aceito em 08/12/2010)

(Todas as informações contidas neste artigo são de responsabilidade dos autores)

### Resumo:

Moldagem por Injeção de Pós Metálicos (MIM – Metal Injection Molding) é um processo usado para fabricação em escala de micros e pequenos componentes metálicos para uma ampla faixa de aplicação. Com o desenvolvimento deste se tornou possível a obtenção de um processo com alta produtividade, alta reprodutibilidade, produção em série e uniforme de peças metálicas com geometrias complexas na ordem de micrômetros. Este estudo apresenta a caracterização de pós metálicos e da carga de injeção ambos utilizados no processo MIM. Também é discutida a importância do estudo do comportamento reológico da carga de injeção e quais fatores relevantes são utilizados para estabelecer a otimização do processo e a qualidade do produto final.

**Palavras-chave:** Moldagem por injeção de pós metálicos; reologia da carga; caracterização do pó.

### Abstract:

Metal Injection Molding (MIM) is a process used to manufacture in scale of micro and small metal components for a wide range of applications. The development of this process allowed obtaining mechanical components with high productivity, high reproducibility, series production and uniform of metal parts with complex geometries in the order of micrometers. This study presents the characterization of metal powders and injection loading both used in the MIM process. It is also discussed the importance of studying the rheological behavior of injection loading and that relevant factors are used to establish the process optimization and final product quality.

**Keywords:** Metal Injection Molding, loading rheology, powder characterization.

## 1. Introdução

O processo de Moldagem por Injeção de Pós Metálicos (MIM – *Metal Injection Molding*) é baseado em uma modificação do processo convencional de moldagem por injeção de plásticos, na qual uma fração significativa do volume é substituída por um pó metálico fino [1]. Tal processo combina a versatilidade e alta produtividade dos processos de moldagem por injeção de plásticos com a técnica de metalurgia do pó de sinterização [2]. Esse processo é destinado à produção de grandes quantidades de micros e pequenas peças metálicas com geometrias complexas.

Nos últimos anos o processo MIM sofreu um desenvolvimento tecnológico acelerado, devido ao crescimento do mercado de fabricação de micro peças em todos os setores.

Uma variante do processo MIM que vem apresentado elevado desenvolvimento e demanda é o processo de fabricação de micro peças, tal processo é denominado Micro Moldagem por Injeção de Pós Metálicos ( $\mu$ MIM – *Micro*

*Metal Injection Molding*). Os produtos relacionados a esta tecnologia de micro-peças podem ser aplicados nas mais diversas áreas da indústria (metalúrgica, mecânica, automotiva, informática, etc.) e também nos setores da comunicação, saúde e biotecnologia. Alguns exemplos clássicos dessas aplicações merecem destaques e são apresentados na Figura 1.

Através do processo  $\mu$ MIM tornou-se possível a produção de micro peças metálicas na ordem de micrômetros, além disso, o processo apresenta grandes vantagens como: alta produtividade, produção em série, alta reprodutibilidade, obtenção de microestruturas uniformes e sem a necessidade de uma etapa de acabamento.

O processo MIM (e conseqüentemente o  $\mu$ MIM) consiste basicamente de quatro etapas: a mistura do pó metálico com o aglutinante para preparar a matéria-prima (carga de injeção), moldagem por injeção da carga para replicar os dados geométricos do molde, “*debinding*” para remover os componentes aglutinantes e a sinterização para consolidação da peça [4].

\*Email: [estela.kerstner@ufrgs.br](mailto:estela.kerstner@ufrgs.br) (E. K. Kerstner)



Figura 1: Exemplos clássicos de peças produzidas através da tecnologia MIM [3]

A mistura da matéria-prima consiste em um pó metálico muito fino, normalmente inferior a 20  $\mu\text{m}$ , e um aglutinante de multicomponentes constituído de polímeros e outros aditivos [5]. Espera-se que cada partícula de pó metálico seja envolvida por uma película muito fina de aglutinante, para que ao mesmo tempo, todos os poros entre as partículas do pó sejam preenchidos com aglutinante. A relação volumétrica de pó metálico e aglutinante é definida como a carga de injeção, essa deve ser bem definida antes do processo, pois um grande excesso de aglutinante (pequena quantidade de pó) separa o pó metálico durante a moldagem, resultando em heterogeneidades nas peças moldadas, além de ocorrer dificuldades para a remoção do aglutinante durante a etapa de *debinding*. Por outro lado, uma carga de pó muito alta também é inaceitável, uma vez que se obtém uma matéria-prima com viscosidade muito alta, o que resultará em falhas e defeitos após a injeção [3].

Durante a moldagem, a matéria-prima flui e preenche um molde sob calor e pressão para formar a peça desejada. Essa peça moldada em seguida, passa por uma etapa “*debinding*” onde o aglutinante é extraído, e após, o pó metálico é sintetizado para se obter a densificação da peça. Nesta última etapa é que serão fornecidas as propriedades mecânicas para a peça moldada [6].

Para a fabricação de peças sem defeitos, rachaduras e distorções, o estudo do comportamento reológico da carga de injeção é muito importante e é claramente influenciado pelas

características do pó metálico e das propriedades carga. Pequenas partículas de pó metálico permitem uma rápida sinterização e apresentam menores defeitos na moldagem. A reologia e o empacotamento das partículas dependem de fatores relevantes, tais como tamanho de partícula e a distribuição granulométrica [6]. Sendo assim, a análise reológica da carga de injeção é um dos aspectos mais importantes para estabelecer uma base sólida tanto para a predicação numérica associada ao processo PIM quanto para o controle de qualidade dos produtos finais [1].

## 2. Caracterização do Pó

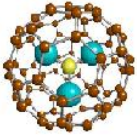
Uma larga variedade de técnicas de produção de pós é aplicada à moldagem de pós por injeção. A técnica utilizada influencia diretamente nas características dos pós, como, tamanho, forma, microestrutura, composição química e custo. A Tabela 1 apresenta uma comparação entre algumas técnicas de produção de pós metálicos [7]. Este processo pode ser utilizado para a conformação de aço inoxidável, aço carbono, aço liga, liga de tungstênio, cobalto, fibras cerâmicas reforçando matrizes cerâmicas ou matrizes de compósitos, bem como para uma variedade de compósitos [8].

Além da comparação entre as técnicas de produção, um estudo sobre algumas características do pó deve ser levado em conta. As características de um pó ideal para moldagem por injeção podem ser descritas na Tabela 2.

A distribuição de tamanho de partículas é um parâmetro que fornece informações a respeito do intervalo de tamanho em que se situa a população de partículas, e o comportamento desta população, ou seja, monomodal, bimodal, etc. O conhecimento de tal parâmetro auxilia as correções no processo, de forma a manter as características de um produto, em termos de desempenho e reprodutibilidade de suas propriedades finais [8]. A distribuição de tamanho de partículas pode ser determinada, dentre outras técnicas, por difração de raio laser, ou difração de raios X [9]. Na Figura 2, ilustra-se a distribuição do tamanho de partículas do AISI 316L (aço inoxidável austenítico – liga com baixo teor de carbono).

Tabela 1: Comparação entre técnicas de produção de pequenas partículas [7]

Técnica	Tamanho	Forma	Material	Custo
Atomização a Gás	5-40	Esférica	Ligas	Alto
Atomização a Água	6-40	Arredondada	Ligas	Moderado
Atomização Centrífuga	25-60	Esférica	Ligas	Alto
Atomização a Plasma	2-40	Esférica	Ligas	Alto
Carbonyl	0,2-10	Esférica	Elementos	Moderado
Oxi-Redução	1-10	Poligonal	Elementos	Moderado
Precipitação	0,1-3	Poligonal	Compostos	Baixo
Moagem	0,1-400	Irregular	Materiais Frágeis	Moderado



No gráfico abaixo se pode observar que a distribuição de tamanho das partículas para o AISI 316L submetido à análise é relativamente ampla, permitindo um bom empacotamento durante o processo MIM [3].

A morfologia ideal das partículas para o processo MIM é a esférica com superfície lisa. Isso é decorrência do processo utilizado para a obtenção dos pós, ou seja, aquele obtido via atomização a gás, que apresenta geometria esférica, e os

obtidos via atomização a água, de geometria arredondada, com alto índice de irregularidade superficial. Isto vai influir de forma negativa no processo de injeção, principalmente em um sistema a baixa pressão [9]. Como mostra a micrografia obtida com microscopia eletrônica de varredura Figura 3, o AISI 316L, se mostra favorável para o processo de injeção, devido sua morfologia.

Tabela 2: Características pó para injeção e suas influências [7]

	Vantagens	Desvantagens
Tamanho de partícula pequena	Rápida sinterização, menores defeitos de moldagem e retenção de forma.	Extração linear, maior contaminação, maior contração, alta viscosidade e maior aglomeração.
Forma esférica	Alta compactação, baixa viscosidade e melhor fluxo.	Baixa resistência, alto custo e desmoroamento na extração.
Longa distribuição	Alta compactação e menor contração na sinterização.	Menor qualidade, microestrutura heterogênea e extração lenta.

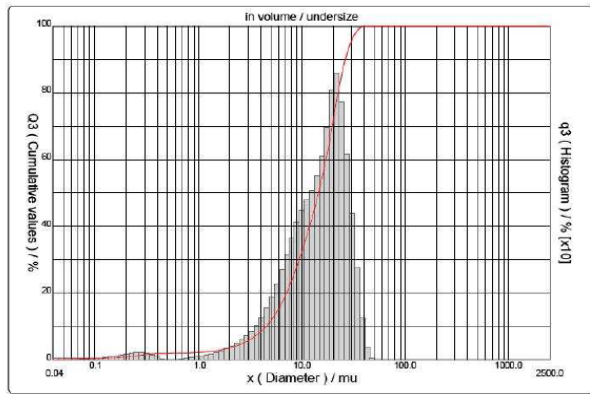


Figura 2: Curva de distribuição de tamanho de partícula do pó AISI 316L [3]

### 3. Ligantes

O ligante é um veículo temporário, que promove o empacotamento homogêneo do pó na forma desejada, proporcionando resistência a verde, e mantendo as partículas com a forma obtida com a injeção, até o início da sinterização. Por esta razão, muito embora o ligante não dite a composição final do produto, ele tem grande influência no sucesso do processo MIM [8].

Os ligantes são sistemas multicomponentes, tendo um grande comprometimento com as propriedades da mistura e com as etapas posteriores. Este sistema aglutinante é formado pela integração entre ceras, polímeros e aditivos, os quais proporcionam boa fluidez e estabilidade dimensional durante a etapa de *debinding* [2].

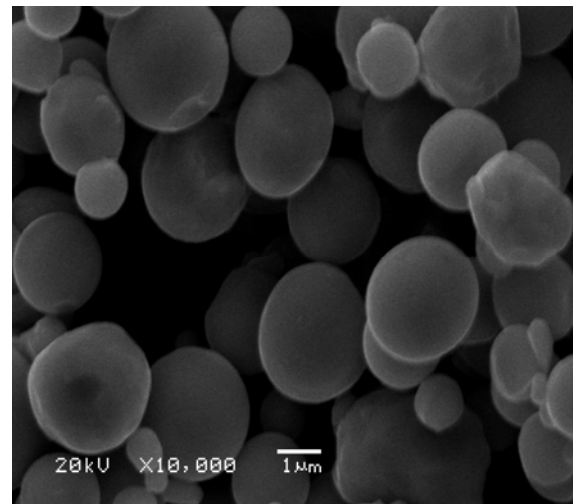
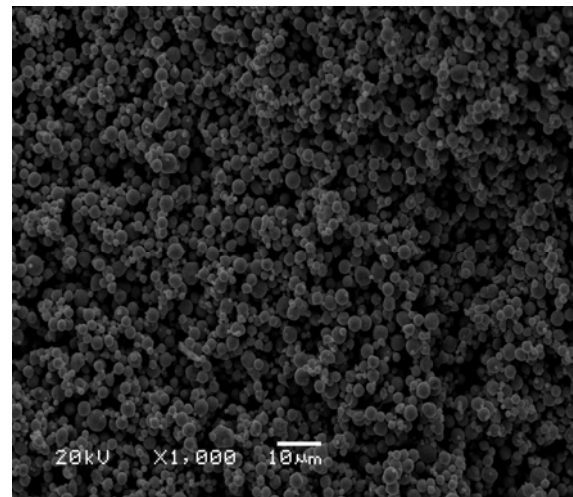


Figura 3: Microscópio eletrônico de varredura do pó AISI 316L com aumento de (A) 1000, (B) 10000 vezes

As ceras são muito utilizadas no processo MIM por apresentarem pequenos tamanhos de moléculas e baixa temperatura de fusão. Os polímeros são macro moléculas, podendo ser termoplásticos ou termofixos, sendo os termoplásticos mais utilizados. Estes podem ser moldados quando aquecidos e se tornam sólidos quando ocorre o resfriamento [9]. Exemplos de polímeros mais utilizados são: polietileno (alta e baixa densidade), polipropileno, poliestireno e polimetilmetacrilato [2].

Os aditivos podem ser colocados na carga para alterar alguma propriedade, como, por exemplo, melhorar a lubrificação do molde, viscosidade, “molhabilidade” do pó, ou facilitar a remoção de aglutinantes. Um dos aditivos mais utilizados é o ácido esteárico, pois reduz o ângulo de contato pelo abaixamento da energia superficial pó/ aglutinante, além de lubrificar as paredes do molde..

#### 4. Mistura de Cargas

Uma carga de injeção (“*Feedstock*”) é formada a partir da adição sucessiva de pó metálico, a um dado sistema de ligantes, objetivando a obtenção de uma mistura homogênea entre o material particulado e o ligante. Uma mistura completamente homogênea reduz o problema de separação pó-ligante e garante um bom fluxo do material dentro da cavidade do molde, ao passo que, um material pobremente misturado acarreta a distorção da peça durante a sinterização. A mistura desses componentes tem como objetivo preparar a carga de injeção, essa é uma etapa necessária, e pode ser preparada em vários tipos de misturadores, havendo geralmente, a necessidade de aquecimento [9]. No entanto, a temperatura de mistura deve ser controlada para evitar a degradação do ligante.

Isto é feito até o momento em que seja atingida a carga crítica de injeção, ou seja, a fração volumétrica máxima de pó metálico aceitável pelo sistema ou a condição ótima em que o ligante preencha todos os vazios entre as partículas de pó, com a devida “molhabilidade” do pó [9]. Usualmente para o processo MIM a carga ideal para injeção é manter o carregamento cerca 2-5% abaixo da carga crítica [10].

Insuficiente quantidade de ligante resulta a criação de espaços vazios entre as partículas que poderão causar defeitos em etapas posteriores e aumento da viscosidade da massa, dificultando a moldagem do componente. Do mesmo modo, o uso excessivo de ligantes também não é desejável uma vez que promove o maior tempo para sua remoção, maior retração dimensional durante a sinterização, problemas dimensionais pela possibilidade do ligante se separar do pó na etapa de moldagem e possíveis heterogeneidades no componente moldado.

O reconhecimento do ponto de carga crítica pode ser fundamentado nas caracterizações de densidade, reologia e comportamento térmico da mistura. Em termos de densidade, pode-se dizer que a carga crítica é a fração volumétrica máxima, para a qual a densidade experimental de uma carga ainda é igual à densidade teórica [9]. Por outro lado, em termos de reologia, uma carga injetável a baixas pressões, deve apresentar comportamento pseudoplástico e a

viscosidade na temperatura de injeção dever ser inferior a 40 Pa.s [8].

#### 5. Reologia de Cargas

Reologia é definida como sendo o estudo de mudança na forma e no fluxo do material. O comportamento reológico dos sistemas multifásicos empregados em MIM é, via de regra, pseudoplástico, ou seja, a viscosidade decresce com o aumento da taxa de cisalhamento. Este comportamento reológico ainda é pouco conhecido, e está se firmando com o advento do processo de moldagem de pós por injeção [9].

O comportamento do fluxo pseudoplástico facilita o preenchimento do molde, e contribui para manter a forma da componente moldado [11]. Este tipo de comportamento é caracterizado pelo modelo empírico chamado de Lei das Potências [6].

$$\sigma = k\dot{\gamma}^n \quad \text{Equação 1}$$

onde  $\sigma$  é a tensão de cisalhamento,  $\dot{\gamma}$  é a taxa de deformação,  $k$  é uma constante e  $n$  é um expoente que representa o comportamento do fluxo. O valor de  $n$  indica o grau de sensibilidade da viscosidade contra a taxa de cisalhamento. Quanto menor o valor de  $n$ , mais pseudo-plástico é o sistema reológico.

A avaliação das propriedades reológicas da matéria-prima se baseia no estudo da viscosidade e de sua sensibilidade à taxa de cisalhamento e à temperatura [12]. Com isso, a viscosidade da mistura é influenciada pela fração volumétrica de pó, pela pressão de injeção, pela temperatura e pelas características físicas do pó [10].

No processo MIM, o comportamento da taxa de cisalhamento durante a moldagem geralmente varia entre 100 e 10000s<sup>-1</sup>. Neste intervalo de taxa de cisalhamento, os estudos empíricos têm mostrado que a viscosidade máxima para moldagem é de 1000 Pa.s. à temperatura do processo [11].

Outro aspecto de influência nas propriedades reológicas para o processo MIM é a relação entre a temperatura e a viscosidade, para uma boa aproximação a equação de *Arrhenius* pode ser utilizada [6]:

$$\eta = \eta_0 \exp\left(\frac{E_a}{RT}\right) \quad \text{Equação 2}$$

onde  $E_a$  é a energia de ativação de fluxo,  $R$  é a constante dos gases ideais,  $T$  é a temperatura e  $\eta_0$  é a viscosidade à temperatura de referência  $T_0$ .

Se o valor da  $E_a$  é baixo, a viscosidade não é tão sensível à variação de temperatura. Portanto, qualquer pequena variação de temperatura durante o processo de moldagem não irá resultar em uma alteração súbita da viscosidade [6]. Liu [13] afirmou que a baixa viscosidade é desejável para o preenchimento de micro detalhes, além da baixa energia de ativação. Além disso, uma fraca dependência da viscosidade com a temperatura permite uma maior transmissão de pressão

e também auxilia a prevenção de defeitos relacionados à retração da peça [1].

As propriedades reológicas do processo MIM também sofrem grande influência através do carregamento de pó metálico, que por sua vez possui dependência com a viscosidade. Expressões poucas teóricas, que relacionam este parâmetro, são encontradas na literatura, ou melhor, que predizem a resposta da viscosidade de uma suspensão em função de uma dada concentração. Kitano desenvolveu uma simples e eficaz equação empírica contendo um parâmetro que relaciona a viscosidade do *Feedstock* com a viscosidade do carregamento de polímeros (*Binder*) [1].

$$\eta_R = \left[ 1 - \frac{\Phi}{\Phi_m} \right]^{-2} \quad \text{Equação 3}$$

onde  $\eta_R$  é chamada de viscosidade relativa, isto é, relação da viscosidade do *Feedstock* com a viscosidade do *Binder*,  $\Phi$  é o carregamento de pó metálico e  $\Phi_m$  é concentração máxima de pó metálico, carga crítica.

Dessa forma, numa visão geral, um maior carregamento de pó é benéfico para todas as propriedades mecânicas, uma vez que a peça apresenta uma maior densificação após a remoção dos aglutinantes, tornando-se menos suscetível a distorções. Porém a carga de pó não pode ser aumentada ilimitadamente, ultrapassando o limite máximo, carga crítica, a qual irá prejudicar o processo de injeção [12].

### 5.1 Reômetro de Torque

O principal objetivo da mistura é produzir uma homogeneidade relativa da matéria-prima com um adequado comportamento reológico para as etapas subseqüentes do processamento [13]. O processo de mistura depende de vários parâmetros tais como tempo, temperatura, seqüência de material, tamanho e forma do pó, formulação do aglutinante, carregamento de pó e da taxa de cisalhamento [5].

A otimização de misturas pó/aglutinante é realizada por meio de medições em equipamentos conhecidos como Reômetros de Torque.

Este aparelho mede o torque requerido, para girar uma haste, que está imersa na mistura em teste. Tal haste é movimentada por um motor síncrono, através de uma mola calibrada. A folga angular da haste atrás do motor é proporcional à viscosidade [9]. O valor de torque é uma medida da resistência produzida nas pás do motor [5]. Este também é proporcional ao trabalho necessário para misturar o pó e o aglutinante, e é um indicador de homogeneidade e viscosidade da mistura [6].

Ao observar os valores de torque de uma mistura, a homogeneidade da matéria-prima pode ser prevista: quanto menor o valor obtido de torque, melhor a mistura. Misturas uniformes são assumidas quando o torque atinge um valor no estado estacionário [5].

Durante a mistura, a taxa de cisalhamento é influenciada pelas velocidades das pás de mistura. Aumentando a velocidade de mistura conseqüentemente aumenta-se sua homogeneidade, enquanto que o aumento da temperatura

ocorre devido à energia gerada pelas lâminas do misturador, que é convertida em calor pelo aumento da velocidade das mesmas [6].

A Figura 4 ilustra a evolução do torque para diferentes *Feedstocks* contendo um carregamento de pó AISI 316L com 65% em volume.

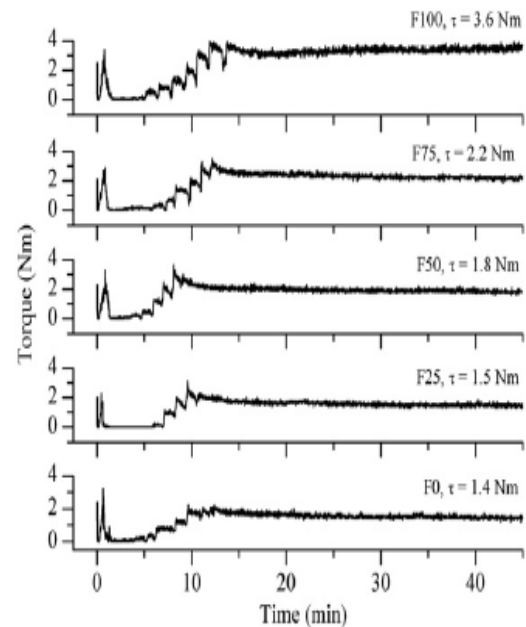


Figura 4: Evolução do torque com o tempo de mistura para *feedstocks* preparados com pós de diferentes distribuições de tamanho de partícula a uma carga de pó de 65% em volume [6]

Para cada um dos *Feedstock* e para diversas adições de pó pode ser observado com a evolução do tempo de mistura ocorre um aumento no valor do torque. Depois da última adição de pó, o valor de estado estacionário, associado homogeneização da mistura, é atingido.

Em todos os casos, o tempo de mistura para atingir o estado estacionário foi curto, menos de 20 min, indicando a boa homogeneidade destes sistemas. Comparando-se as curvas apresentadas se pode observar que algumas apresentam alta vibração no estado estacionário. Este fato indica uma menor homogeneidade. Em verdade, tais misturas possuem uma carga de pó mais perto do valor crítico.

A Figura 5 abaixo apresenta valores de torque para misturas com diferentes carregamentos de pó metálico.

Como a carga de pó aumenta, os valores de torque são mais elevados, indicando uma maior viscosidade das misturas. Já a influência da granulometria do pó sobre os valores de torque é irrelevante, no entanto, para o maior carregamento de metal o valor de torque aumenta consideravelmente com a diminuição do tamanho da partícula. Isto se deve a uma maior fricção entre partículas de pós de alta carga [6].

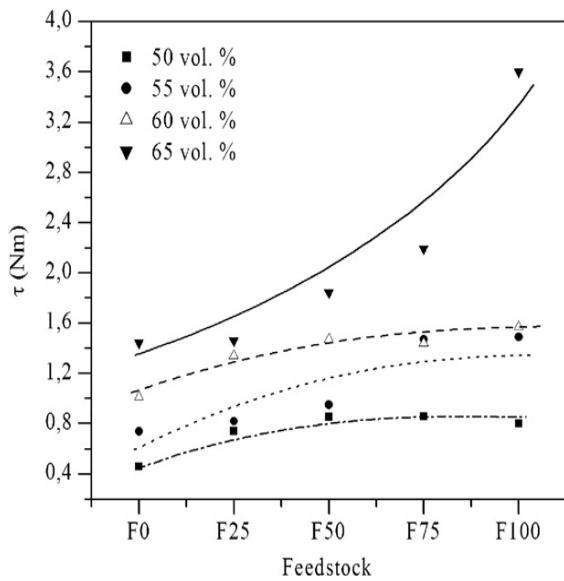


Figura 5: Valores de torque no estado estacionário para *feedstocks* preparados com pós de diferentes distribuições de tamanho de partícula e diferentes carregamentos de pó [6]

### 5.2. Reômetro Capilar

Em um Reômetro Capilar, a passagem do líquido por um capilar é forçada por um pistão [2]. De acordo com condições de fluxo constante, da medição da queda de pressão e da vazão volumétrica através da capilaridade, a tensão de cisalhamento e a taxa de cisalhamento podem ser determinadas, e a partir das quais a viscosidade pode ser calculada [6].

O reômetro capilar permite realizar medições reológicas sem qualquer mistura das matérias-primas, enquanto que reômetros de torque exigem certo grau de mistura, para assim possibilitar a leitura.

As medições capilares focam na cobertura de uma ampla faixa de taxas de cisalhamento, as quais são representativas daquelas geradas pela moldagem por injeção, e as condições de fluxo estão mais próximas daquelas encontradas durante o preenchimento do molde. Dessa forma, o reômetro capilar reproduz condições muito semelhantes ao processamento da tecnologia MIM.

O teste capilar é considerado atualmente o melhor método para prever a homogeneidade de misturas, garantindo assim um comportamento ideal do fluxo durante a moldagem por injeção, estabilidade dimensional e boa resistência durante as etapas de injeção, *debinding* e sinterização [2].

A avaliação das propriedades reológicas em Reômetros Capilares é baseada no comportamento da viscosidade e sua sensibilidade a taxa de cisalhamento e à temperatura. Os resultados mostram que todas as exposições de matérias-primas apresentam comportamento pseudoplástico, o que é desejável, não só para o processo MIM, mas também para o  $\mu$ MIM [10].

A Figura 6 apresenta características reológicas de matérias-primas misturadas em diferentes condições. Verifica-

se que a viscosidade da matéria-prima diminui com a taxa de cisalhamento [5], o que é indicativo que os sistemas analisados apresentam comportamento de fluxo pseudoplástico [13].

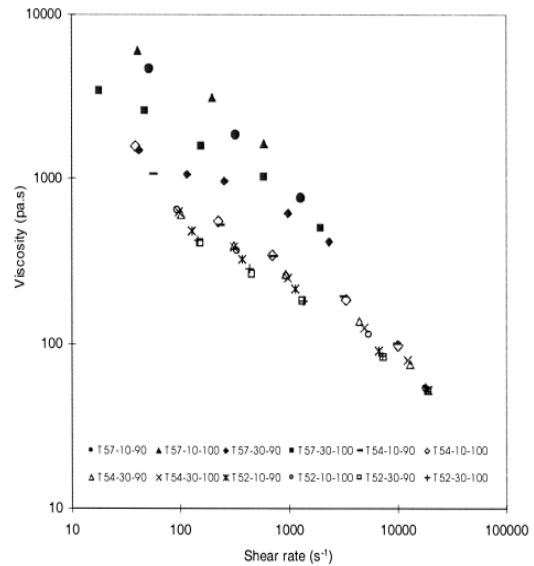


Figura 6: Comportamento reológico matérias primas sob diferentes condições de mistura [5]

Observou-se que durante a moldagem do processo MIM que o fluxo necessário é uma viscosidade menor que 1000 Pa.s. para uma taxa de cisalhamento entre 100 s<sup>-1</sup> e 1000 s<sup>-1</sup> [14].

A Figura 7 mostra a relação entre a viscosidade e a temperatura, para diferentes cargas de pó utilizadas. Verifica-se um efeito do teor de metal no o valor da energia de ativação do fluxo (tangente da curva) [10].

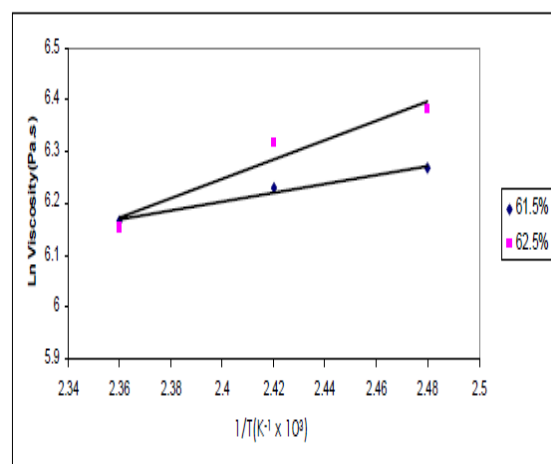


Figura 7: Correlação de viscosidade e temperatura de matérias-primas com diferentes carregamentos de pó [10]

A viscosidade do *Feedstock* durante o processamento MIM diminuiu com o aumento da temperatura, quando as taxas de cisalhamento se matêm constantes. A relação generalizada entre a viscosidade e a temperatura é firmada através da equação de Arrhenius. Para o processo MIM esta relação deve ser mantida a menor possível evitando acentuada alteração na viscosidade, concentrações de tensões, rachaduras, distorções nas peças moldadas e reduzindo a capacidade de escoamento [1].

## 6. Conclusões

De acordo com a pesquisa realizada, pode se confirmar a fundamental importância do estudo reológico aplicado a tecnologia MIM, uma vez que estas podem prever a fabricação de peças sem defeitos, rachaduras e distorções, com boas propriedades mecânicas.

O estudo do comportamento reológico das cargas injetáveis apresenta uma maneira eficaz para a avaliação da homogeneidade da mistura, garantindo um bom desempenho quanto ao comportamento do fluxo durante a moldagem por injeção.

## Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq pelo apoio financeiro e investimento na área de pesquisa, sem as quais o presente trabalho não teria sido possível.

## Referências

- [1] Huang, B.; Liang, S.; Qu X. The rheology of metal injection molding, *Journal of Materials Processing Technology* 137 (2003), 132–137;
- [2] Adames, J. M. Characterization of polymeric binders for metal injection molding (MIM) process, *Dissertation to the Graduate Faculty of The University of Akron*, (2007);
- [3] <http://www.dachenty.com.tw>, (Acesso 17/09/2010);
- [4] Liu, Z. Y.; Loh, N. H.; Tor, S. B.; Khor, K. A. Murakoshi, Y.; Maeda, R.; Shimizu, T. Micro-powder injection molding, *Journal of Materials Processing Technology* 127 (2002), 165–168;
- [5] Supati, R.; Loh, N. H.; Khor, K. A.; Tor, S.B. Mixing and characterization of feedstock for powder injection molding, *Materials Letters* 46 (2000), 109–114;
- [6] Sotomayor, M. E.; Várez, A.; Levenfeld, B. Influence of powder particle size distribution on rheological properties of 316 L powder injection moulding feedstocks, *Powder Technology* 200 (2010), 30–36;
- [7] Bonaldi, P. O. Estudo, fabricação e caracterização de pinças de biópsias para endoscopia flexível através do processo de moldagem de pós por injeção, *Dissertação Mestrado*, Porto Alegre (2008);
- [8] German, R. M. *Injection moulding of metals and ceramics*. Princeton, (1997);
- [9] Zapieron, J. *Caracterização física de partículas e reoloogia de um sistema heterogêneo utilizado em moldagem de pós por injeção a baixa pressão*;
- [10] Ibramim, M. H. I.; Muhamad, N.; Sulong, A. B. Rheological investigation of water atomized stainless steel powder for micro metal injection molding, *Internation Journal of Mechanical an Materials Engineering*, Vol 4 (2009), Nº1, 1-8;
- [11] Liu, Z. Y.; Loh, N. H.; Tor, S. B.; Khor, K. A. *Characterization o powder injection molding feedstock*, *Materials Characterization* (2003) 313-320;
- [12] Li, Y.; Li, L.; Khalil, K. A. Effect of powder loading on metal injection molding stainless steels, *Journal of Materials Processing Technology* 183 (2007), 432–439;
- [13] Liu, L.; Loh, N. H.; Tay, B. Y.; Tor, S. B.; Murakoshi, Y.; Maeda, R. Mixing and characterization of 316L stainless steel feedstock for micro powder injection molding, *Materials Characterization* (2005) 230-238;
- [14] Tay, B. Y.; Ng, F. L.; Myint, M. H.; Tor, S. B.  $\mu$ PIM of Stainless Steel 316L, *SIMTech technical reports*, Vol 9, Nº4, (2008).