

# INFLUÊNCIA DO TAMANHO DE PARTÍCULA E DO SISTEMA DE AGLUTINANTE NO COMPORTAMENTO REOLÓGICO DA CARGA INJETÁVEL NO PROCESSO MPI<sup>1</sup>

*Wilberth Harold Deza Luna<sup>2</sup>*

*Patrik Oliveira Bonaldi<sup>2</sup>*

*Lírio Schaeffer<sup>3</sup>*

## **Resumo**

As influências do comportamento reológico da carga injetável podem ser observados diretamente no desenvolvimento do processo de injeção e o mal conhecimento delas traz geralmente problemas na hora do preenchimento das matrizes, retenção de forma ou problemas de reprodutibilidade. O conhecimento das propriedades do sistema aglutinante torna-se então de vital importância na hora de preparar as cargas de injeção, essas propriedades a sua vez, são influenciadas pelos componentes do sistema aglutinante. O presente trabalho analisa diferentes sistemas aglutinantes, carregamento de pó metálico e a influencia de partículas de pó de 5 e 10 e 27  $\mu\text{m}$  de um pó esférico de aço inoxidável 316L. Onde foi definido o sistema mais adequado para a utilização no processo de moldagem de pós por injeção.

**Palavras-chave:** Comportamento reológico; Moldagem de pós por injeção; Carga injetável.

## **INFLUENCE OF THE SIZE PARTICLES AND BINDER SYSTEM IN RHEOLOGICAL BEHAVIOR OF THE FEEDSTOCK - PIM**

### **Abstract**

The influences in the rheological behavior of feedstock can be observed directly in the development of the injection process, and the poor knowledge of them usually brings problems at the time of filling the molds, shape retention or problems with replication. Knowledge of the binder's system properties becomes of vital importance at the time of feedstock preparation; these properties are influenced by the components of the binder's system. This paper examines different binder systems, loading of metal powder, and the influence of powder particles of 5, 10, and 27  $\mu\text{m}$  of a spherical stainless steel powder 316L. As defined in this study, the most appropriate system for powder filled molds is the utilization of the injection process.

**Key words:** Rheological behavior; Powder injection molding; Feedstock.

<sup>1</sup> *Contribuição técnica ao 63º Congresso Anual da ABM, 28 de julho a 1º de agosto de 2008, Santos, SP, Brasil*

<sup>2</sup> *Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais da Universidade Federal do Rio Grande do Sul no Laboratório de Transformação Mecânica.*

<sup>3</sup> *Dr. Ing. Coordenador do Laboratório de Transformação Mecânica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.*

# 1 INTRODUÇÃO

O processo de moldagem por injeção de pós metálicos, conhecido no inglês por MIM (*Metal Injection Moulding*) vem crescendo devido a vários fatores, entre eles, produção de peças com geometrias complexas, até de dimensão na ordem de micrometros, conhecido como *Micro Powder Injection Molding* ( $\mu$ PIM),<sup>(1)</sup> alta produtividade, produção de peças em séries, obtenção de microestrutura uniforme e sem necessidade de uma etapa de acabamento. A utilização da técnica de moldagem por injeção teve início há muitos anos, com a produção de plásticos, proporcionando facilidades na obtenção de peças de tamanho pequeno e formato complexos. Na década de 1920 combinou-se essa técnica com processamento de pós cerâmicos. Já na segunda grande guerra a técnica se estendeu aos pós metálicos.<sup>(2)</sup> O processo de MIM está esquematizado na Figura 1, onde apresenta as etapas de mistura entre o pó metálico e o sistema aglutinante, formando a carga injetável, peletização, a moldagem por injeção, extração do aglutinante e a sinterização.

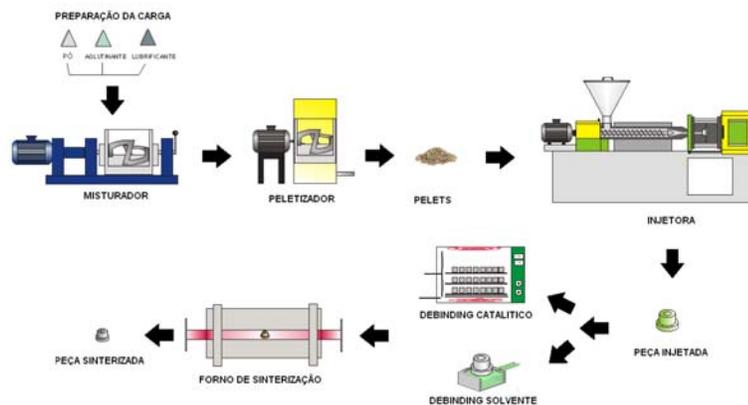


Figura 1: Esquema do processo de moldagem de pós por injeção.

No presente trabalho foi realizado um estudo do comportamento reológico da carga injetável, pois a viscosidade descreve propriedades de escoamento de um fluido, ou seja, o atrito das camadas internas dentro do fluido que impõe resistência a fluir. Já o comportamento reológico explica o escoamento e a deformação da matéria, ou seja, o comportamento da fluidez. Os componentes dos fluidos podem apresentar diferentes formas geométricas, características diversas de ligação, tamanhos variados, que lhe conferem comportamentos distintos.<sup>(1)</sup> A viscosidade ( $\eta$ ) é a propriedade reológica mais importante,<sup>(3)</sup> que é definida na equação 1:<sup>(4)</sup>

$$\tau = \eta \left( \frac{d\gamma}{dt} \right)^m \quad \text{Equação 1.}$$

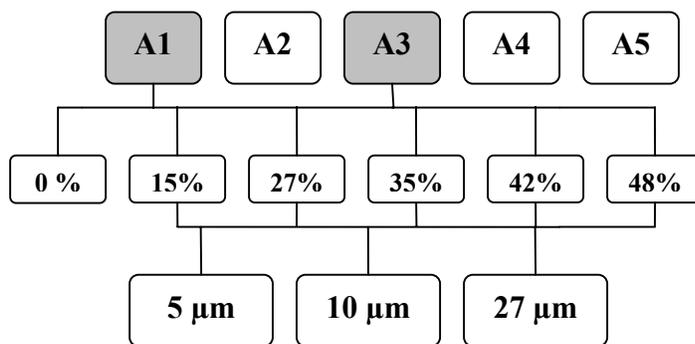
A relação  $d\gamma/dt$  é conhecida como taxa de cisalhamento,  $\tau$  é a tensão de cisalhamento e  $m$  é o expoente usado para caracterizar o fluido. Em geral a viscosidade ( $\eta$ ) é função da taxa de cisalhamento ( $d\gamma/dt$ ), temperatura, carregamento de pó e composição do sistema aglutinante:

$$\eta = \eta \left( \dot{\gamma}, T, \phi, \eta_b \right)$$

onde  $\eta_b$  é a viscosidade do sistema aglutinante misturado. Neste estudo foi utilizado o pó de aço inoxidável 316L em diversos tamanhos de partículas e sistemas aglutinantes, variando o carregamento de sólidos e temperatura.

## 2 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Neste trabalho foram utilizadas diversas composições de sistema aglutinante, variando o carregamento de pó metálico e granulometria. O esquema do procedimento dos ensaios é mostrado pela Figura 2. Inicialmente foram selecionados 5 tipos de aglutinantes com composição mostrada pela Tabela 1.



**Figura 2:** Esquema do procedimento dos ensaios.

A partir dos 5 tipos de aglutinantes, foram escolhidos 2 tipos, A1 e A3, por apresentarem propriedades reológicas mais indicadas para o processo como, menor viscosidade a menor temperatura e tendência a características de fluido newtonianos. Para produzir a carga de injeção com 5 variações de carregamento de pó de aço inoxidável 316L, que variam de 0, 15, 27, 35, 42 e 48% em volume, esta última próxima do indicado em literatura.<sup>(4,5)</sup> Foram utilizados também 3 variações de granulometria, d<sub>90</sub>: 5, d<sub>90</sub>: 10 e d<sub>90</sub>: 27µm, sendo os dois primeiros fornecidos pela Sandvik Osprey LTD. E o último doado pela empresa Steelinject Injeções de Aços LTDA.

O equipamento utilizado para realizar o estudo reológico das seis cargas preparadas foi o viscosímetro programável Brookfield DV-II+, que mede a viscosidade de fluidos através do gradiente de cisalhamento (Shear Rate) todos utilizando a temperatura de 190°C. O princípio de operação do equipamento é medir através de uma mola calibrada o torque provocado pelo movimento rotacional de um sensor de cisalhamento imerso no fluido de teste. A resistência da viscosidade do fluido contra o sensor é medida pela deflexão da mola.<sup>(6)</sup>

**Tabela 1:** Composição dos aglutinantes.

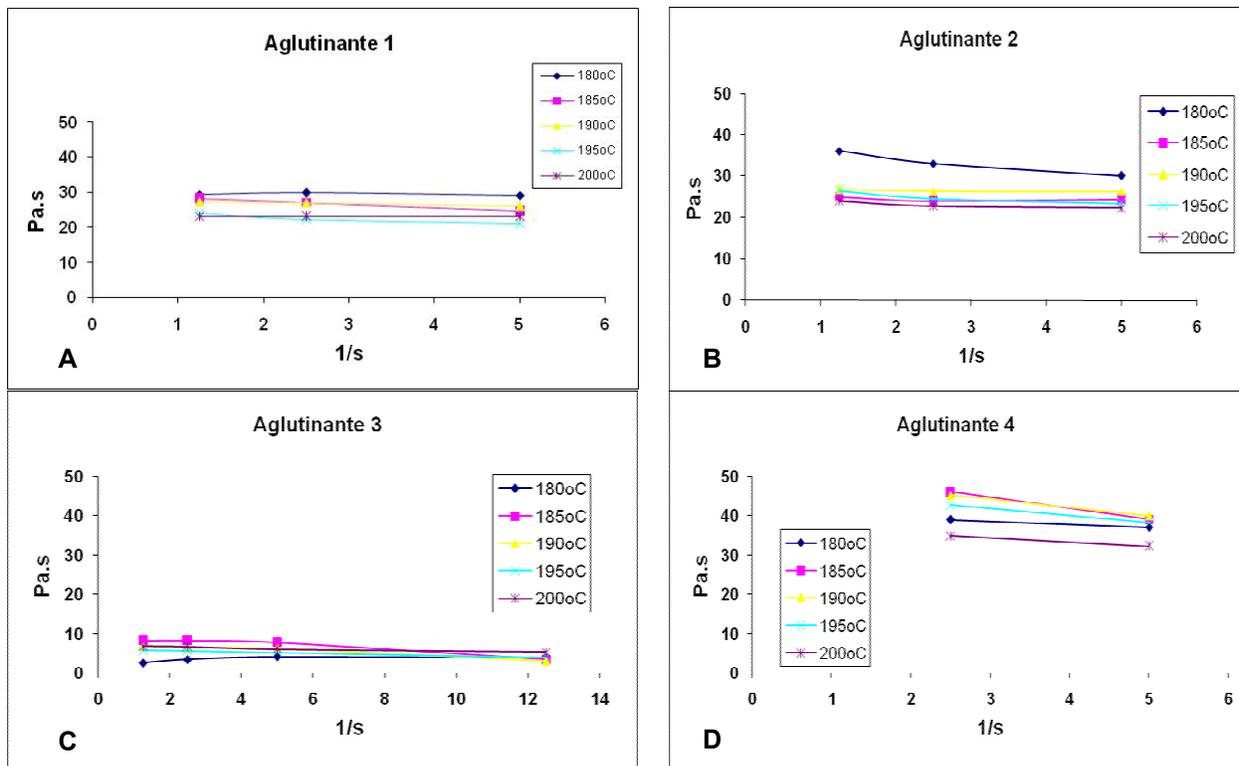
Componentes	A1	A2	A3	A4	A5
PP (%)	55	50	40,6	40	45
PA (%)	20	30	29,7	55	40
CA (%)	20	15	29,7	0	10
AE (%)	5	5	0	5	5

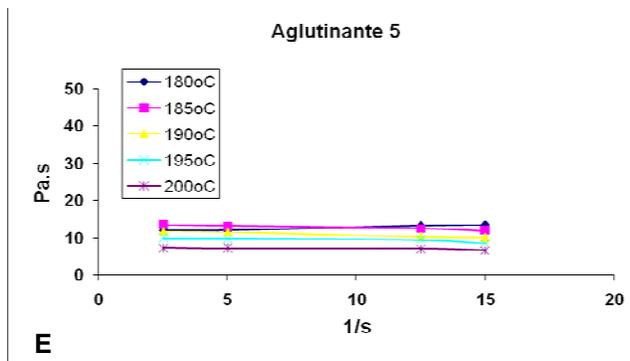
PP = Polipropileno; PA = Parafina; CA = Cera Abelha; AE = Ácido Esteárico.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O comportamento reológico dos sistemas aglutinantes estudados são apresentados nas Figuras 3A, B, C, D e E, com base nos gráficos apresentados, os sistemas aglutinantes 1 e 3 são escolhidas para mistura com o pó metálico. A aglutinante 1 mostrou uma viscosidade homogênea em função da variação de temperatura. Enquanto o aglutinante 3 apresentou menor viscosidade a menores temperaturas o que facilita o preenchimento das cavidades do molde.

A instabilidade da carga injetável aumenta, especialmente em altos carregamentos de sólido. No entanto, com o aumento da taxa de cisalhamento e temperatura, a viscosidade diminui a instabilidade da carga injetável melhora.<sup>(4)</sup>

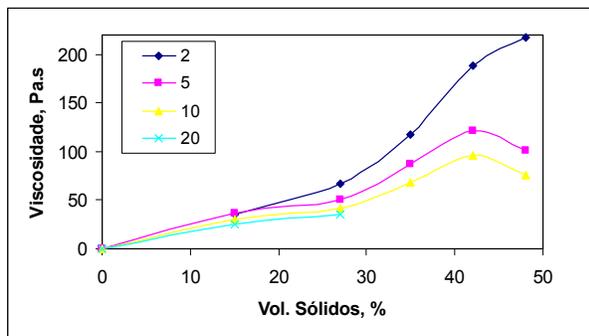




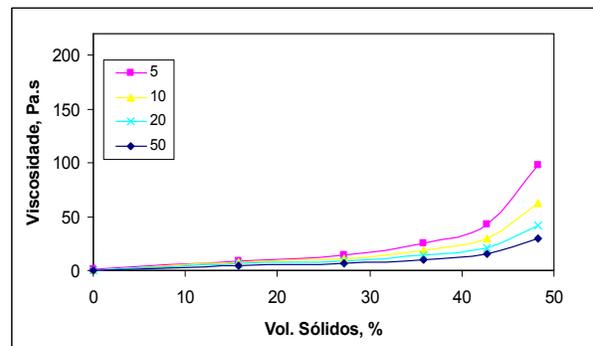
**Figura 3 A, B, C, D e E:** Gráfico Viscosidade vs Taxa de cisalhamento dos cinco tipos de aglutinantes.

As análises dos sistemas aglutinantes misturados com os pós metálicos de 5  $\mu\text{m}$ , 10  $\mu\text{m}$ , 27  $\mu\text{m}$  são mostrados na Figura 4 A, B, C, D, E e F. A carga injetável utilizando o aglutinante 1, mostrou uma viscosidade maior comparado a carga injetável utilizando o aglutinante 3, para todos os casos de granulometria. Quanto menor a granulometria maior a viscosidade da carga injetável. No caso da carga injetável utilizando o aglutinante 1 com pó de 5  $\mu\text{m}$  a viscosidade é medida só na velocidade de 2 RPM, pois com velocidades maiores, excede a capacidade de trabalho do equipamento, ao mesmo tempo essas viscosidades tão elevadas não são indicadas para a injeção.<sup>(4)</sup>

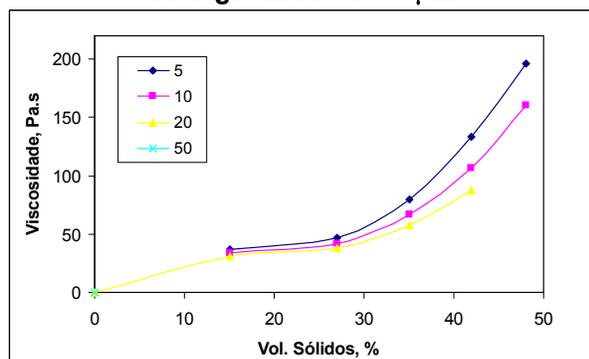
A viscosidade das cargas injetáveis é muito sensível ao conteúdo de sólidos e a temperatura. A baixas temperaturas, a viscosidade da mistura é alta para condições padrão de moldagem. A altas temperaturas, o sistema aglutinante pode degradar, e durante a moldagem pode haver segregação do pó.<sup>(6)</sup>



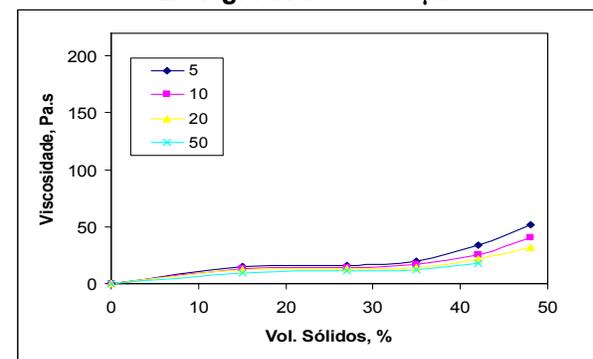
**A - Aglutinante 1 - 5  $\mu\text{m}$**



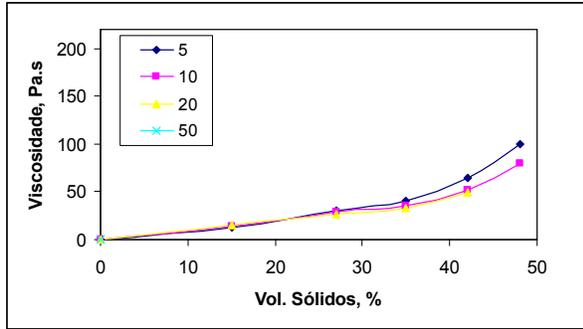
**B - Aglutinante 3 - 5  $\mu\text{m}$**



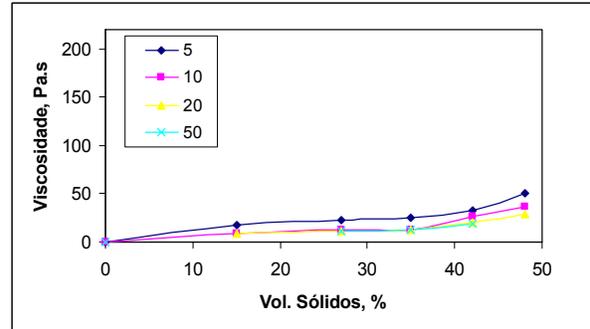
**C - Aglutinante 1 - 10  $\mu\text{m}$**



**D - Aglutinante 3 - 10  $\mu\text{m}$**



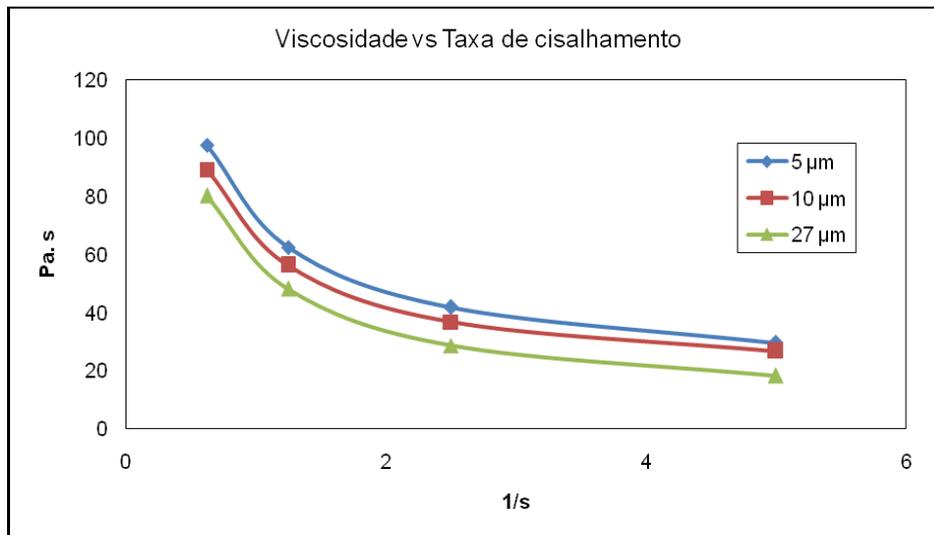
**E - Aglutinante 1 – 27 µm**



**F - Aglutinante 3 – 27 µm**

**Figura 4 A, B, C, D, E e F:** Gráficos do comportamento das cargas injetáveis variando o sistema aglutinante.

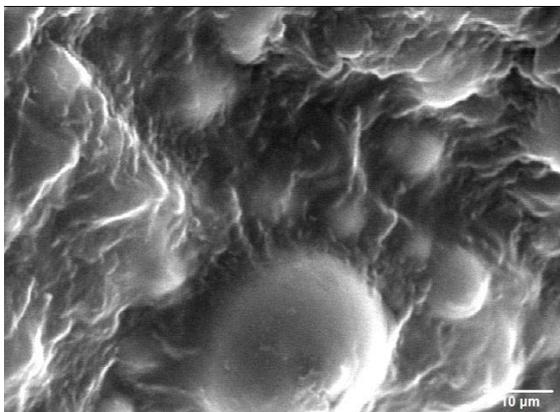
Os gráficos com aglutinante 3, mostram uma menor viscosidade a temperaturas inferiores, o que facilita o preenchimento das cavidades dos moldes para injeção.



**Figura 5:** Grafico Viscosidade vs. Taxa de Cisalhamento das cargas injetáveis.

Com base nos resultados apresentados na Figura 5, o comportamento pseudoplástico da carga injetável com o aglutinante 3 é a que oferece melhores condições para o processo de injeção. Fluxo de pseudoplástico minimiza o jetting e a formação de linhas de soldagem e defeitos<sup>(7)</sup>.

Pelos resultados apresentados, a carga injetável mais indicada para o processo é a mistura utilizando o aglutinante 3 com tamanho de partícula do pó metálico de 27 µm. Essa carga foi injetada a 900 bar e 190°C, e em seguida retirada uma amostra para verificar a homogeneidade da mistura, como é mostrada na Figura 6. Onde podemos observar a distribuição das partículas de pó metálico no sistema aglutinante.



**Figura 6:** Micrografia da mistura após injeção.

## **4 CONCLUSÃO**

Em cargas injetáveis no processo de moldagem de pós por injeção pode-se observar neste trabalho que quanto maior a quantidade de cera, menor é a viscosidade. Utilizando menores tamanhos de partículas, maior é a viscosidade da mistura. Menores tamanhos de partícula fornecem maiores resistências e permitem maiores cargas de sólidos, o que é benéfico a retenção de forma. A carga injetável apresenta comportamento pseudoplástico e boa homogeneidade, ideais para o processo de moldagem por injeção onde, a viscosidade diminui com aumento da taxa de cisalhamento.

## **Agradecimentos**

Os autores agradecem ao CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pelo suporte financeiro ao projeto.

## **REFERÊNCIA**

- 1 ZAUNER, R., Micro powder injection moulding, Materials Research, Austria, 2006.
- 2 REI, M. Estudo de Propriedades de Cargas Moldáveis por Injeção de Pós de Aço Inoxidável 316-L. Dissertação Mestrado, Porto Alegre, 1999.
- 3 BAIYUN HUANG, SHUQUAN LIANG, XUANHUI QU. The rheology of metal injection molding, Journal of Materials Processing Technology 137 (2003) 132–137.
- 4 GERMAN, RANDALL M., Injection molding of metals and ceramics, Princeton - USA, 19978
- 5 Z.Y. LIU, N.H. LOH, S.B. TOR, K.A. KHOR. Characterization of powder injection molding feedstock. Materials Characterization 49 (2003) 313– 320.
- 6 BRASEQ®, Manual de instrução de operação do viscosímetro digital programável Brookfield modelo DV-II+, 2002.
- 7 M. KHAKBIZ, A. SIMCHI, R. BAGHERI. Analysis of the rheological behavior and stability of 316L stainless steel–TiC powder injection molding feedstock. Materials Science and Engineering A 407 (2005) 105–113.