

## CARACTERIZAÇÃO MICROESTRUTURAL E MECÂNICA DO AÇO INOXIDÁVEL 316L OBTIDO PELO PROCESSO DE PÓS METÁLICOS POR INJEÇÃO.

S. A. N. da Costa<sup>1</sup>, W. A. Monteiro<sup>2</sup>

shalanariel@hotmail.com

<sup>1</sup> Universidade Presbiteriana Mackenzie – Escola de Engenharia – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais – São Paulo/SP

<sup>2</sup> Centro de Ciências e Tecnologia de Materiais – IPEN – São Paulo / SP

### RESUMO

*Atualmente com técnica da metalurgia do pó (MP) foram desenvolvidas diversas técnicas utilizando o mesmo princípio de conformação e processamento combinadas com novas tecnologias como a prototipagem rápida e a injeção de pós que é o processamento foco deste estudo e que combina o processo similar ao da injeção plástica com particulados metálicos. A injeção de particulados (pós) metálicos combina técnicas da injeção plástica com a metalurgia do pó aliando versatilidade com repetitividade. Este trabalho teve como objetivo principal a caracterização microestrutural e mecânica de um componente obtido por injeção de pós metálicos do aço inoxidável 316L (austenítico), um dos materiais mais utilizados por esta técnica, comparando-as com outro processamento do mesmo material em estudo. A pesquisa envolveu a escolha dos particulados (pós) disponíveis, classificação da mistura com diferentes aglutinantes, estudo das características reológicas até o material sinterizado, fabricação das peças por injeção e parametrização de processo padrão para fabricação do componente. Após o processamento do material e de acordo com os particulados metálicos disponíveis para fabricação, concluiu-se que (a) A qualidade da produção dos pós influencia diretamente nos grãos formado pelo processamento; (b) O crescimento médio dos grãos da estrutura que formaram o componente final foi relativamente baixo; (c) Os formatos dos grãos bem definidos de acordo com os adequados controles da produção. Pode-se detectar uniformidade na fabricação dos componentes.*

**Palavras chave:** Metalurgia do Pó. Injeção de Pós Metálicos. Aço Inoxidável Austenítico. Caracterização microestrutural.

### 1. INTRODUÇÃO

A Metalurgia do Pó (MP) é uma técnica de fabricação metalúrgica que utiliza particulados metálicos (pós), caracterizada por um conjunto de processos ou etapas de transformação até o produto final, pronto para sua utilização, sem que o mesmo

seja fundido <sup>(1)</sup>, ou seja, os particulados são processados abaixo da temperatura de fusão, com a ausência da fase líquida ou então, presença parcial de fase líquida durante o processo de fabricação <sup>(2)</sup>. A técnica se inicia na seleção apropriada do pó, na mistura com aglutinantes, na prensagem conhecida como compactação à verde (que dará forma ao objeto fabricado) e por último o processo de sinterização.

A sinterização é responsável pelo coalescimento das partículas através de condições controladas de tempo e temperatura, sempre abaixo do ponto de fusão do material, considerados pela velocidade de aquecimento e resfriamento. A ativação térmica reduz a energia de superfície livre, aumentando o contato entre as partículas, permitindo o crescimento dos grãos e assim eliminando ou diminuindo as porosidades <sup>(3)</sup>. É nesta etapa que os particulados se tornam um corpo único com as propriedades físicas e mecânicas desejadas.

Através da Metalurgia do Pó, foram desenvolvidas novas tecnologias utilizando o mesmo princípio de conformação e processamento combinados com outras existentes como, por exemplo, a prototipagem rápida e a injeção de pós, que é o processamento foco deste estudo e que combina o processo similar da injeção plástica com particulados metálicos. As aplicações atendem diversos segmentos como os automotivos, aeronáuticos, de eletroeletrônicos, de biomateriais, etc. <sup>(4)</sup>.

A Moldagem de Pós Metálicos por Injeção (*Metal Injection Moulding - MIM*) como é designado o termo em inglês, combina técnicas da Injeção Plástica com a Metalurgia do Pó aliando rapidez com repetitividade <sup>(5)</sup> <sup>(6)</sup> <sup>(7)</sup>. Para que o pó adquira condições reológicas, é preciso preparar a carga de injeção (*feedstock*) misturando o pó à compostos de forma que adquira comportamento semelhante à de um líquido ou de uma massa pastosa. Os ligantes conferem uma massa com consistência semelhante à de plástico fundido, permitindo sua injeção de maneira similar aos de componentes plásticos <sup>(5)</sup> <sup>(8)</sup>. Após a injeção a peça adquire o formato final (peça verde), porém antes da sinterização é necessário remover os aglutinantes (*debinding*), sem afetar a forma final da peça, o que é um processo muito delicado, pois o aglutinante sustenta a união das partículas. Existem diversas técnicas para extração, consistindo em processos térmicos e químicos. O fluxograma do processo pode ser exemplificado na figura 1.

Este trabalho tem como objetivo caracterizar a microestrutura de um componente obtido por Moldagem por Injeção de Pós Metálicos do Aço Inoxidável 316L, um dos materiais mais utilizados por esta técnica <sup>(9)</sup>.

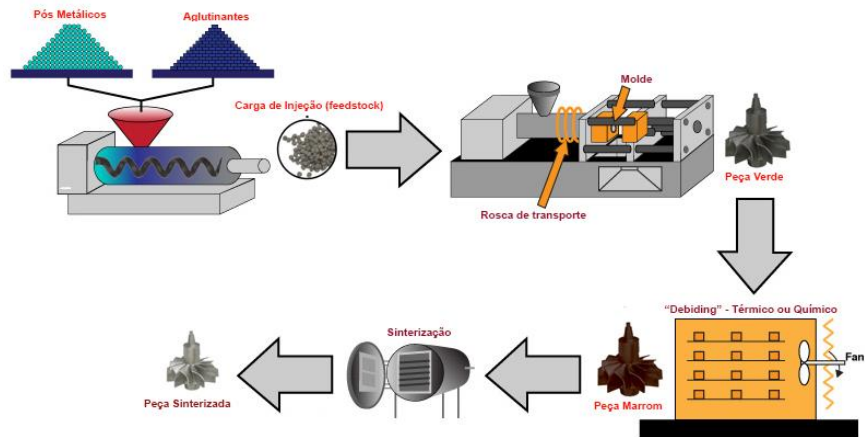


Fig. 1 – Fluxograma do processo de Moldagem de Pós Metálicos por Injeção

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Os materiais analisados foram fabricados com particulados metálicos de aço inoxidável 316L, conformados através do processo de Moldagem de Pós Metálicos por Injeção, gentilmente para esse projeto pela empresa Dental Morelli, localizada em Sorocaba-SP.

Os pós foram gentilmente fornecidos pelas empresas Ametek Metals (EUA), Sandvik Osprey (Reino Unido) e Epson Atmix (Japão), obtidos por atomização a gás, que confere partículas com tamanho médio de 0,0025mm (Mesh -500) e formato esferoidal (figura 2) com composição química conforme tabela 1.

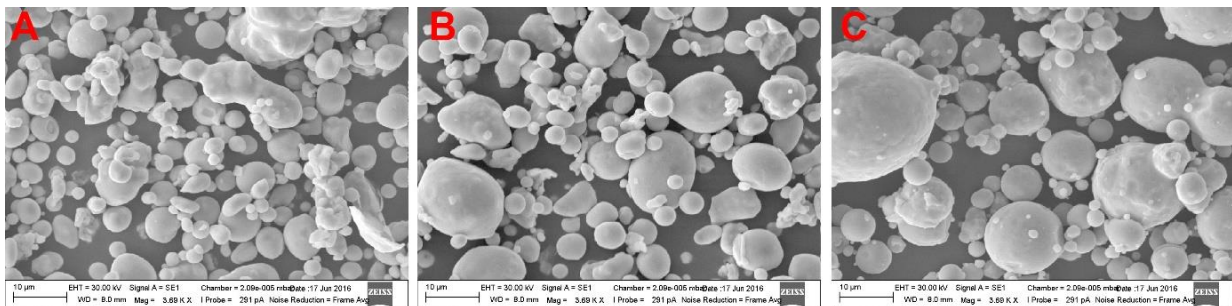


Fig. 2 – Pós Metálicos gentilmente fornecidos: A (Ametek), B (Atmix) e C (Sandvik) (Micrografias eletrônicas (MEV))

Tabela 1: Composição Química – Dados: Fornecidos pelos fabricantes

Composição Química (%) - Pós Metálicos de Aço Inoxidável												
Fabricante	Cr		Ni		Mo		Mn	Si	P	S	C	Fe
	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Máx.	Máx.	Máx.	Máx.	Máx.	Máx.
AMTEK	16	18	12	15	2	3	0,99	1	0,045	0,03	0,03	Bal.
SANDVIK	16	18	10	14	2	3	2	1	0,04	0,03	0,03	
ATMIX	16	18	10	14	2	3	0,2	1	0,045	0,045	0,03	

O composto ligante foi preparado através da mistura na proporção de Polipropileno (60%): polímero que pode ser facilmente moldado quando aquecido e sólido quando resfriado; Parafina (35%): apresenta pequeno tamanho de molécula e baixo ponto de fusão; e Ácido Esteárico (5%): auxilia na lubrificação do molde. A preparação da carga de injeção (*feedstock*) se deu pela mistura na proporção de 85% de pós metálicos e 15% do composto aglutinante. No caso do aço inoxidável, a utilização de compostos adicionados na mistura, exige maior cuidado do que nas ligas de ferro comuns. Como se sabe o carbono diminui a resistência à corrosão dos aços inoxidáveis do tipo austeníticos. Por esse motivo, procura-se a remoção total do lubrificante de modo a evitar que o carbono se difunda na peça <sup>(1)</sup>.

As “peças verdes” foram moldadas pela injetora de alta pressão *Arburg Allrounder 270 S* com temperatura de moldagem de 190°C e temperatura do molde em 85°C, com pressão de 1250bar e velocidade de 30 cm<sup>2</sup>/s, com geometria de braquetes ortodônticos do “2º pré-molar superior direito com gancho slot 0.22” (fig. 3).

As extrações dos ligantes foram executadas em duas etapas: a primeira, extração química em banho de hexano aquecido a uma temperatura de 45°C durante 5 horas; e a segunda etapa, extração térmica em forno de sinterização à vácuo, com taxa de aquecimento de 2°C/min até a temperatura de 450°C onde se manteve por 2 horas. O início do processo de sinterização se manteve com taxa de aquecimento de 8°C/min até a temperatura de 900°C e 2°C/min até a temperatura de 1350°C, onde se manteve por uma hora até o desligamento do forno e resfriamento até a temperatura ambiente.

As micrografias foram realizadas através de Microscópio Óptico (MO), marca OLYMPUS, modelo BX40 no Laboratório de Metalurgia da Universidade Mackenzie com ampliações até 1000x e por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) marca ZEISS, modelo EVO LS 25 com ampliações até 6000x. O ensaio de Espectroscopia de Energia Dispersiva (EDS) fora feito pelo equipamento da marca OXFORD, modelo X-MAXN e acoplado ao MEV (Zeiss), com o intuito de comparar a composição química dos pós após a peça ser produzida; e para detecção das fases presentes, o ensaio de Difração de Raio-X (XRD) com o equipamento marca RIGAKU, modelo DMAX 2200 no laboratório de Materiais e Fotônica da UNICAMP.



Fig. 3 – Imagens dos braquetes ortodônticos em diferentes vistas fabricado em Aço Inox 316L

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir dos corpos de prova A e B, observados na figura 4, foi possível a identificação da fase austenita completamente dissolvida na matriz presente, através da microscopia óptica.

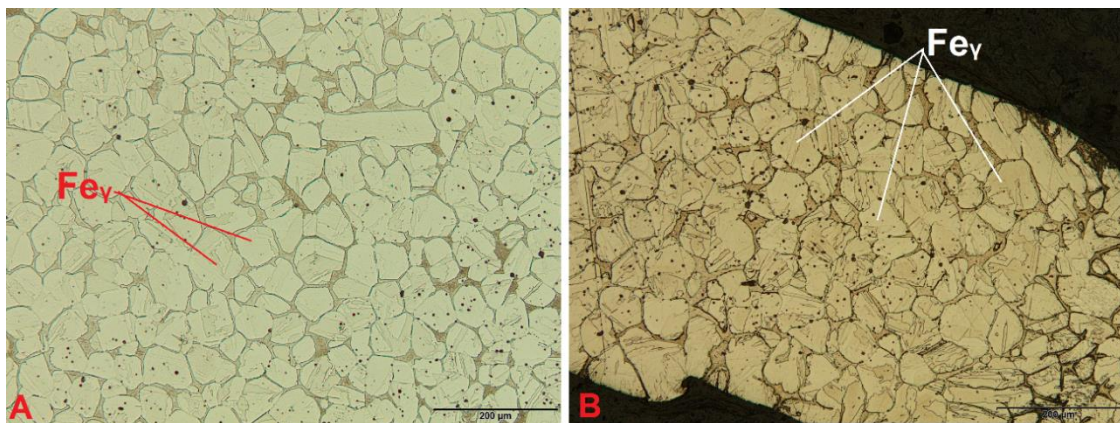


Fig. 4 – Micrografias A e B visualizados através de MO: Ataque Kalling.

Os tamanhos médios de grãos obtidos no processamento podem ser observados na figura 5, microestrutura do corpo de prova A e B, e aumento de 500x através de microscopia óptica. O dimensionamento mostrado na escala mostram grãos da ordem de 60 microns.

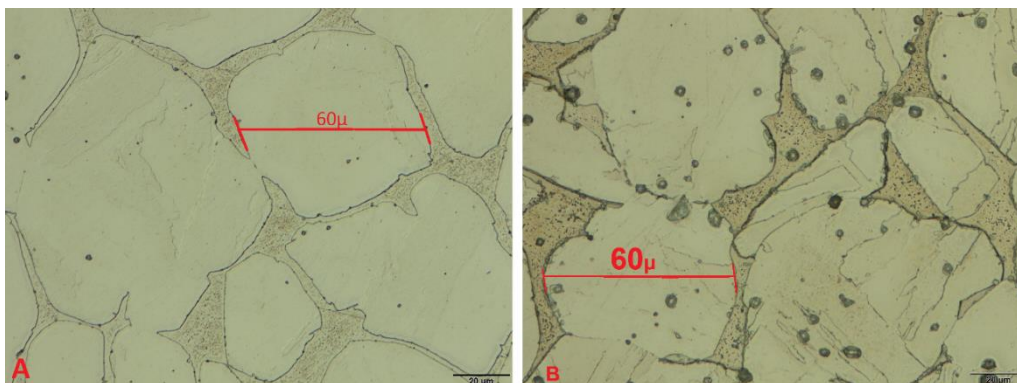


Fig. 5 – Micrografias A visualizados através de MO: Ataque Kalling.

As porosidades, típicas dos produtos acabados no processamento de materiais por MP aparecem definidas na imagem da figura 6, formando ilhas de austenita, com espaçamentos da ordem de 1 a 5 µm. A figura 5 foi obtida por MEV, onde foram observadas porosidades.

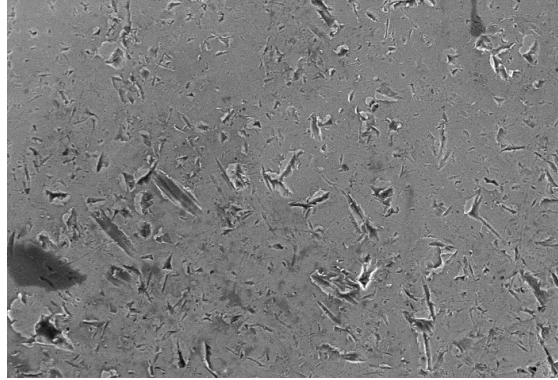


Fig. 6 – Porosidades visualizadas através de MEV (aumento 500x).

O resultado do ensaio EDS demonstrou uniformidade pontual das amostras, porém elementos como o Al, Na e Cl foram detectados, e que deixou claro que não foram retirados completamente na extração dos aglutinantes (*debinding*) e são contaminantes do processo. O elemento Cr estava de acordo com a composição química informada pelos fabricantes (15,9%) e os elementos Ni (8,3%) e Mo (1,6%) fora detectado abaixo do informado (fig. 7).

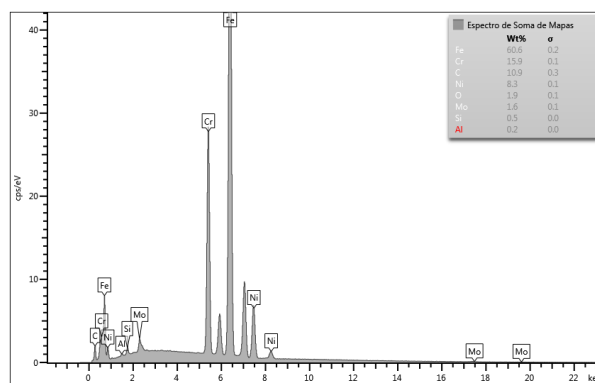


Fig. 7 – Análise química através de EDS/MEV

A Espectroscopia de Dispersão de Raio-X (XRD) comprovou a fase austenita predominante no componente fabricado e de acordo com os particulados fornecidos (fig. 8).

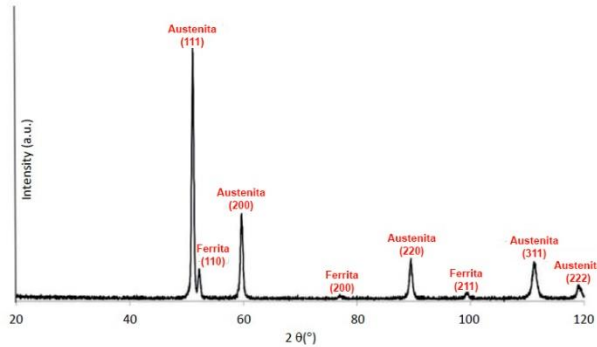


Fig. 8 – Difratoograma de Dispersão de Raio-X (XRD)

#### 4. CONCLUSÕES

O objetivo do trabalho foi caracterizar a microestrutura de um componente obtido pelo processo de moldagem de pós metálicos por injeção. Após o processamento do material e de acordo com os pós metálicos fornecidos para confecção, concluiu-se que:

- A qualidade da produção dos pós influencia diretamente no formato dos grãos formados pelo processamento;
- Os pós, mesmo sendo fabricados por três empresas diferentes, mantiveram as mesmas características físico-químicas após o processamento.
- O crescimento médio dos grãos da estrutura que formaram o componente foram relativamente baixos. Em média ocorreu coalescimento dos grãos crescendo 240% em relação ao tamanho do pó metálico, considerando o tamanho médio dos particulados de 0,025 mm e o tamanho médio dos grãos obtidos de 0,06 mm. Com baixa porosidade presente após sinterização.
- A análise química obtida por EDS detectou os elementos químicos informados pelos fabricantes, porém elementos como o Ni e Mo presentes na liga 316L estavam abaixo do esperado. Contaminantes como o Na e o Cl também foram detectados, o que evidenciou ineficiência no “*debinding*”. Para trabalhos futuros deverão ser testados novos métodos de extração dos ligantes;
- A Difração de Raio-X mostrou que a austenita é a fase predominante nos corpos de prova e, portanto, foi preservado as características dos particulados. Entre as temperaturas de 550 a 900°C, os aços inoxidáveis podem formar fases intermetálicas ou até mesmo promover a sensitização <sup>(10)</sup> e, mesmo com a utilização de hidrocarbonetos para a preparação da carga injetável, não houve a formação destes compostos.

## 5. REFERÊNCIAS

1. DOWSON, G. **Powder metallurgy: the process and its products**. USA: Adam Hilger, 1990.
2. CHIAVERINI, V. **Metalurgia do Pó – Técnicas e Produtos**, 4 ed. São Paulo: Ed. ABM, 2001
3. JAMES W. B. - **Powder Metallurgy Methods and Applications**. Powder Metallurgy, Vol. 7, ASM Handbook, 2015
4. GERMAN, R. M. **Powder Injection Molding**. USA: Metal Powder Industries Federation, 1990
5. GRUPO SETORIAL – **A metalurgia do pó: Alternativa econômica com menor impacto ambiental**. São Paulo-SP: Ed. Metallum, 2009.
6. CESARINO, S., KLEIN, A., WENDHAUSEN, P., FERRI, O. – **Fabricação de componentes Metálicos através da moldagem de pós por Injeção**. Curitiba: 1º COBEF, 2001.
7. IERVOLINO, F. **Compactação de Pó Metálico: De que maneira o pó pode ser conformado?** Revista Industrial Heatling p.48, Jul-Set 2013.
8. BONALDI, P. O., SCHAEFFER, L. – **Moldagem de pós metálicos por injeção – Uma revisão** – Revista Brasil Engenharia nº589 p.164 a 167, 2008.
9. GERMAN, R. M. **Markets Application, and Financial Aspects of Global Metal Injection Molding (MIM) Technologies**. USA: Metal Powder International, vol. 4, pg. 120-133, 2012.
10. ASM SPECIALTY HANDBOOK: Stainless Steel – ASM International, 1994



## MICROSTRUCTURAL AND MECHANICAL CHARACTERIZATION OF STAINLESS STEEL 316L OBTAINED BY METAL POWDER INJECTION.

S. A. N. da Costa<sup>1</sup>, W. A. Monteiro<sup>2</sup>

shalanariel@hotmail.com

<sup>1</sup> Mackenzie Presbyterian University - School of Engineering - Graduate Program in Materials Engineering - São Paulo / SP

<sup>2</sup> Science and Materials Technology - IPEN - São Paulo / SP

### ABSTRACT

*Actually the powder metallurgy technique (MP) have been developed several techniques using the same principle combined forming and processing with new technologies such as rapid prototyping and powder injection that is focus of this study and combines the similar process to plastic injection with metallic particles. The injection of particulate (powder) metal combines techniques of plastic injection with the powder metallurgy combining versatility with repeatability. This work had as main objective the microstructural and mechanical characterization of a component obtained by powder injection molding of 316L stainless steel (austenitic), one of the most used materials by this technique, comparing them with other processing of the same material under study. The research involved the choice of particulates (powders) available, classification of the mixture with different binders, the rheological characteristics to the sintered material, manufacturing of parts for injection and standard procedure for setting parameters for component manufacturing. After processing the material, in accordance with metallic particles available for manufacturing, it was concluded that (a) the powder production quality directly influences the grains formed by processing; (b) the average growth of the grain structure that formed the final component was relatively low; (c) the grain well defined shapes in accordance with the appropriate production controls. Can detect it uniformity in manufacturing the components.*

**Keywords:** Powder Metallurgy. Metal Powder Injection. Austenitic Stainless Steel. Microstructural Characterization.