

# ASSENTOS DE VÁLVULA SINTERIZADOS <sup>1</sup>

*Edson Souza de Jesus Filho* <sup>2</sup>  
*Edilson Rosa Barbosa de Jesus* <sup>2</sup>  
*Nelson Marques Nogueira* <sup>3</sup>  
*Jesuvaldo Luiz Rossi* <sup>4</sup>  
*Marco Antônio Colosio* <sup>5</sup>  
*José Carlos dos Santos* <sup>6</sup>

## Resumo

Este trabalho apresenta resultados de testes efetuados com seis ligas sinterizadas desenvolvidas para aplicação como assentos de válvulas em motores de combustão interna de veículos a gasolina. Os materiais foram produzidos a partir da mistura de pós, sendo os principais uma liga de aço rápido do tipo M3/2, pó de ferro comercialmente puro e carbonetos. Todas as ligas após tratamentos térmicos tiveram seus desempenhos quanto à usinabilidade, propriedades mecânicas e desgaste comparados com o de uma liga comercial sinterizada, à base de Fe-Co. Os resultados mostraram desempenho superior das ligas desenvolvidas em termos de propriedades mecânicas e desgaste, com discreta diminuição da usinabilidade, indicando que as mesmas apresentam excelente potencial para aplicação comercial.

**Palavras-chave:** Assento de válvula; Aço rápido; Metalurgia do pó; Usinagem; Desgaste.

## SINTERED VALVE SEAT INSERTS

## Abstract

This work present tests results made with six sintered based high-speed steel for valve seat inserts application. These inserts are meant for use in internal petrol combustion engines. All alloys after heat treatment were tested for machinability, wear and mechanical properties. The results were compared to a commercial sintered material based in a Fe-Co alloy. The developed materials were made from a pre-alloyed high-speed steel (AISI M3/2) powder mixed with commercial iron powder and carbides. The results showed better performance of the under developed materials in relation to wear and mechanical properties, with discreet decrease in the machinability properties, when compared to the commercial alloy. The results indicate that the developed materials have a large potential for commercial application.

**Key words:** Valve seat insert; High-speed steel; Powder metallurgy; Machining; Wear.

<sup>1</sup> *Contribuição técnica ao 62º Congresso Anual da ABM – Internacional, 23 a 27 de julho de 2007, Vitória – ES, Brasil.*

<sup>2</sup> *Doutor pelo IPEN/USP*

<sup>3</sup> *Aluno de iniciação científica do IPEN/USP*

<sup>4</sup> *Doutor e pesquisador do IPEN/USP*

<sup>5</sup> *Doutor pelo IPEN/USP, pesquisador GMB*

<sup>6</sup> *Eng. Mecânico, Mestre EESC, pesquisador GMB*

## INTRODUÇÃO

Os insertos para assento de válvula utilizados para vedação das regiões de admissão e exaustão de gases nas câmaras de combustão de motores automotivos, operam sob severas condições de trabalho. Dentre os vários requisitos necessários para que um dado material suporte estas adversas condições de trabalho, citam-se: boa estabilidade térmica, resistência à corrosão, alta condutividade térmica e resistência ao desgaste. Outras características não diretamente ligadas à performance do material, mas também de grande importância, são: baixo peso específico, baixo custo e boa usinabilidade, pois estas características podem impactar diretamente nos custos de fabricação do componente bem como no desempenho do produto final (automóvel). Com relação às técnicas de obtenção destes materiais, observa-se que a metalurgia do pó tem sido cada vez mais empregada na indústria automotiva, principalmente em razão de suas características particulares, que permitem obter e otimizar muitas das propriedades dos materiais requeridos para as diversas aplicações automotivas (algumas delas citadas anteriormente), dentre as quais podemos destacar a possibilidade de produzir variações de ligas impossíveis de serem obtidas por processos convencionais.<sup>(1-3)</sup>

Os principais aspectos que motivaram o desenvolvimento das novas ligas foram a eliminação do elemento Co, com o intuito de reduzir custos, e do Pb, em razão de seus efeitos toxicológicos e prejudiciais ao meio ambiente, ambos presentes na liga comercial até então em uso.<sup>(4-8)</sup> A produção das ligas envolveu as etapas de mistura dos pós, compactação, sinterização sob atmosfera de hidrogênio e tratamentos térmicos de austenitização e revenimento, seguidas por ensaios de caracterização mecânica, desgaste e usinabilidade.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Foi utilizada a rota da metalurgia do pó para a obtenção dos materiais avaliados, a qual contemplou as etapas de mistura, compactação a frio, sinterização e tratamento térmico (têmpera e revenimento). As misturas dos pós para produção das ligas cujas composições são mostradas por meio da Tabela 1, foram feitas em um misturador tipo “V” e em seguida foram compactadas na forma de anéis com uma carga de 4 t em uma prensa semi-automática uniaxial. Foi utilizada a técnica de infiltração metálica com cobre por meio de dois corpos (assento e anel de cobre). Os anéis de cobre foram prensados com espessuras em torno de 10% da espessura dos anéis de aço.

A sinterização foi feita em atmosfera de hidrogênio (99,9% de pureza) à 1150 °C por 45 min. Foi observado um tempo de patamar de 10 min a 600 °C para permitir a volatilização do estearato de zinco utilizado como lubrificante. Após a sinterização, os materiais, foram austenitizados a 1150 °C por 20 min em forno à vácuo e resfriado com nitrogênio à pressão de 6 bar. Em seguida sofreram dois ciclos de revenimento de 2 horas a 180 °C.

Após a sinterização e tratamento térmico das ligas desenvolvidas, foram executados testes de resistência à ruptura radial, dureza aparente, densidade aparente e avaliação microestrutural, para conhecer algumas propriedades físicas e mecânicas das ligas. As mesmas análises foram feitas no material comercial, para fins de comparação.

Foram avaliados ainda, a usinabilidade e desgaste tanto das ligas desenvolvidas, quanto da liga comercial. O teste de usinabilidade foi executado em um torno CNC, com o auxílio de uma ferramenta instrumentada com medidores de deformação (“strain gauges”) e um sistema de captura e armazenamento de dados para possibilitar conhecer o esforço principal de corte atuante na ferramenta, a qual, segundo a literatura, é a mais importante e significativa em um sistema de torneamento cilíndrico com ferramenta de ponta única.<sup>(9)</sup>

**Tabela 1** - Composição química das ligas desenvolvidas e comercial (% massa).

Material	Elemento / Pré liga							Ti/WC (50%/50 %)
	Fe	AISI M 3/2	C	Cu (infiltração)	MnS	NbC		
Liga 1	Bal.	43,6	0,30	10,0	0,50	2,0	-	
Liga 2	Bal.	44,0	0,45	9,3	0,45	1,8	-	
Liga 3	Bal.	44,0	0,45	9,3	0,45	-	1,8	
Liga 4	Bal.	44,0	0,65	9,1	0,45	1,8	-	
Liga 5	Bal.	44,0	0,65	9,1	0,45	-	1,8	
Liga 6	Bal.	43,5	0,74	10,0	0,45	1,8	-	

Material	Mo	Mn	Fe	C	S	Pb	Ni	Co
Liga Comercial	2,0	0,6	Bal.	0,6	0,5	1,5	2,0	10,0

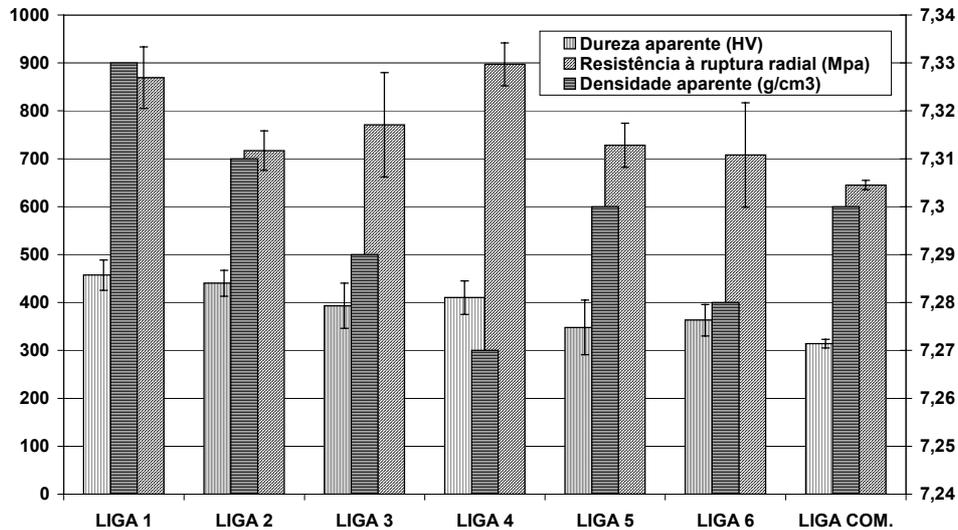
Os parâmetros de usinagem utilizados foram os seguintes: profundidade de corte (**p**) de 0,4 mm, avanço (**f**) igual a 0,1 mm/rot, velocidade de corte (**V<sub>c</sub>**) igual a 100 m/min e raio de ponta da ferramenta (**r**) de 0,4 mm.

Os ensaios de desgaste foram do tipo pino sobre lixa. Os pinos utilizados nos testes de desgaste foram cortados por eletroerosão a fio para não sofrerem mudanças microestruturais significativas durante o processo de corte. O equipamento utilizado para os testes de desgaste foi um tribômetro marca PLINT. Embora o tipo de ensaio de desgaste utilizado (pino sobre lixa) não reflita a condição tribológica do par válvula e assento nas condições reais de utilização, a qual é caracterizada principalmente pelo fenômeno de fadiga de contato<sup>(10)</sup>, tal ensaio serviu como um bom parâmetro de comparação para avaliar de forma direta o desempenho dos materiais produzidos em relação à liga comercial.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

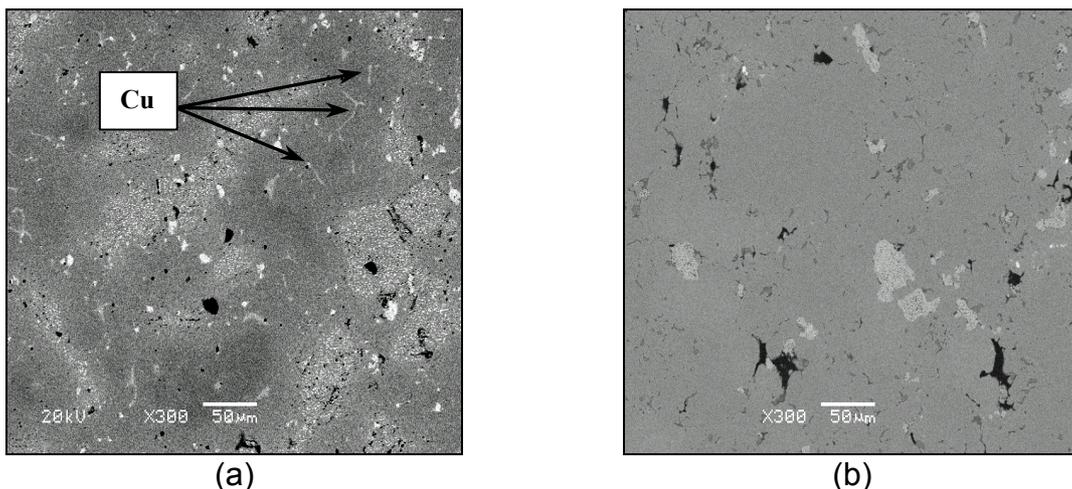
Os ensaios realizados nos materiais, mostraram que as ligas desenvolvidas apresentaram resultados de dureza e resistência à ruptura radial superiores aos da liga comercial, indicando que a adição dos carbonetos NbC, Ti/W e do aço rápido na liga foram importantes para alcançar tais resultados (Figura 1). Os carbonetos NbC e Ti/W contribuíram com suas características de alta dureza enquanto que o aço rápido, por possuir W e Mo, favoreceu a formação de carbonetos durante o processamento da liga (sinterização e tratamento térmico), proporcionando assim um conjunto de propriedades interessantes, sobretudo por estarem associadas com a ductilidade do Fe, também presente na liga.

A densidade aparente medida mostrou que as ligas desenvolvidas apresentaram valores comparáveis ao da liga comercial, indicando que o procedimento de infiltração do Cu para preenchimento das porosidades abertas dos materiais durante a sinterização foi satisfatório.



**Figura 1** – Propriedades físicas e mecânicas das ligas desenvolvidas e da liga comercial.

Com relação à microestrutura das ligas desenvolvidas, observa-se uma distribuição de partículas de aço rápido (fase cinza clara), ferro (fase cinza escuro) e carbonetos finamente dispersos. Visualizam-se também ilhas de cobre, referentes aos poros que foram preenchidos por este elemento pelo método da infiltração durante a sinterização, como mostrado na Figura 2a. O enxofre que foi detectado geralmente alojado no interior de poros é produto da decomposição do sulfeto de manganês introduzido nas ligas com o objetivo de melhorar as propriedades de usinabilidade.

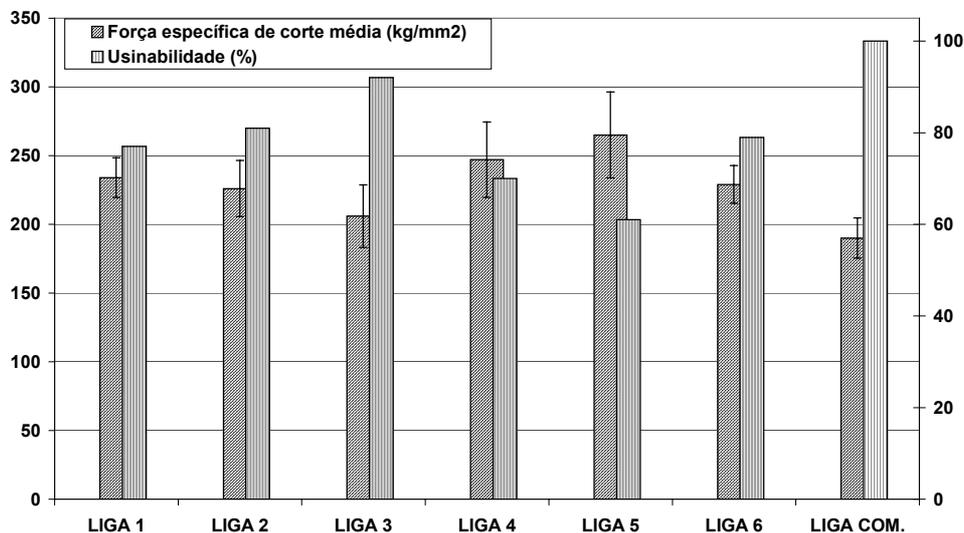


**Figura 2** – Micrografias eletrônicas de varredura da microestrutura da liga 1 (a qual representa o conjunto de ligas desenvolvidas) (a) e da liga comercial (b).

A microestrutura do material comercial (Figura 2b) mostrou-se homogênea, com fases cinza claras distribuídas ao longo da matriz constituídas principalmente pelos elementos Mo, Fe e Co. O elemento Pb foi detectado em precipitados menores em tons cinzas mais escuros.

Os resultados dos testes de usinagem, indicaram de modo geral um menor esforço específico de corte obtido durante a usinagem da liga comercial, em relação às ligas desenvolvidas. Conclui-se desta forma, que o sulfeto de manganês adicionado nas ligas desenvolvidas com o objetivo de melhorar a lubrificação da ferramenta e reduzir os esforços de corte durante a usinagem não foi capaz de superar os efeitos do aumento da resistência e das propriedades mecânicas proporcionados pela adição dos carbonetos NbC e Ti/W às ligas bem como o eventual surgimento de carbonetos durante o processamento das ligas, devido à presença da pré liga de aço rápido. A Figura 3 mostra os resultados das forças específicas de corte média, obtidos durante os testes de usinagem efetuados nas ligas produzidas e na liga comercial.

Tendo-se como referência o valor médio da força específica de corte do material comercial e ainda, considerando este material como sendo de usinabilidade 100%, verificou-se por meio da figura 3 que as ligas desenvolvidas apresentaram usinabilidade inferior a da liga comercial.



**Figura 3** – Força específica de corte média e usinabilidade das ligas desenvolvidas e comercial.

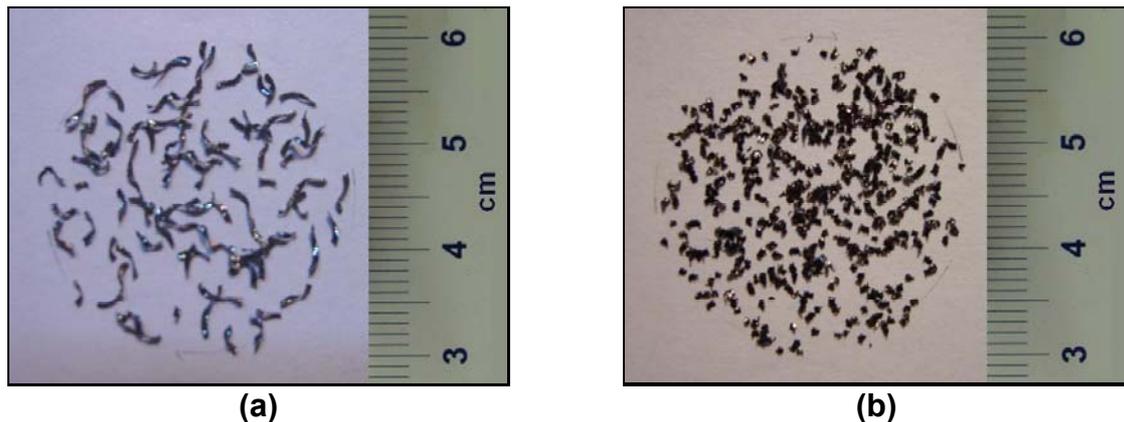
Apesar de ser um parâmetro que ajuda a avaliar e comparar a capacidade que um determinado material tem de ser usinado com relação a um outro tomado como referência, a usinabilidade não é uma propriedade intrínseca do material, mas sim, um resultado da interação do metal com a operação de usinagem.<sup>(11,12)</sup>

Assim, uma simples alteração dos parâmetros de usinagem ou da geometria da ferramenta pode configurar resultados completamente diferentes e até inversos; da mesma forma como a natureza microestrutural mais ou menos homogênea de um material ou suas propriedades mecânicas, físicas e químicas mais ou menos otimizadas, também o farão. A Figura 4, pode exemplificar melhor tal observação. Se considerarmos as propriedades físicas e mecânicas ilustradas na figura 1, esperaríamos obter na usinagem da liga desenvolvida cavacos de aspecto mais quebradiço típicos daqueles obtidos durante a usinagem de materiais mais duros e frágeis, mas em contrapartida, verificou-se a remoção de cavacos mais alongados, típicos daqueles removidos em materiais com características mais dúcteis.

Cavacos típicos de materiais mais frágeis e duros foram observados durante a usinagem da liga comercial (Figura 4b), a qual, em termos de propriedades mecânicas mostrou-se inferior. Neste sentido, é provável que o sulfeto de

manganês, através de sua característica lubrificante tenha proporcionado um melhor escorregamento dos cavacos sobre a superfície de saída da ferramenta produzindo assim cavacos mais alongados durante a usinagem da liga desenvolvida e promovendo uma melhor e mais suave condição de cisalhamento dos mesmos (Figura 4a).

De maneira geral a morfologia final dos cavacos obtidos foi, de certo modo, favorecida pela natureza da obtenção dos materiais (metalurgia do pó), devido à presença inerente de poros nos materiais que funcionaram como quebra cavacos naturais durante o processo de usinagem. Assim, os cavacos obtidos apresentaram-se bastante segmentados e encurtados como é recomendado pela literatura.<sup>(9, 13)</sup>

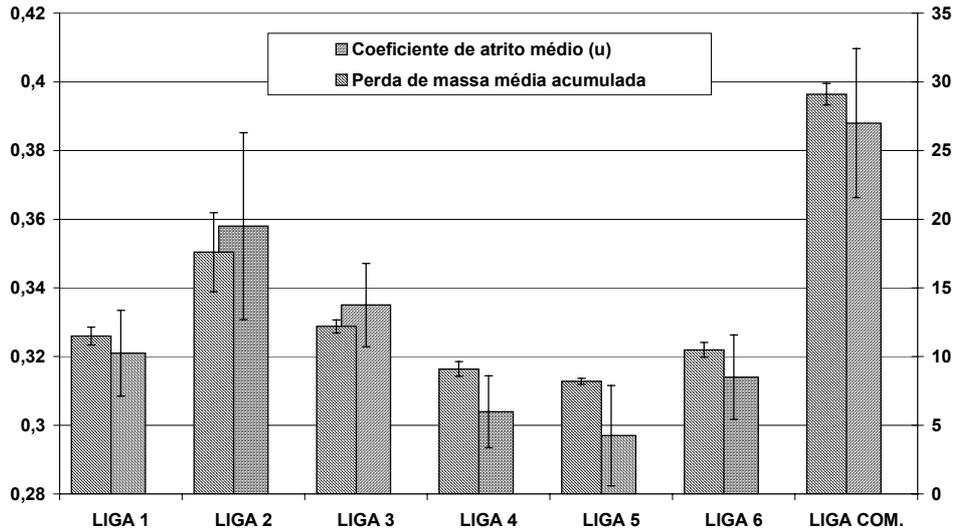


**Figura 4** – Aspecto geral dos cavacos obtidos durante a usinagem da liga 1 (a qual representa o conjunto de ligas desenvolvidas) (a) e da liga comercial (b).

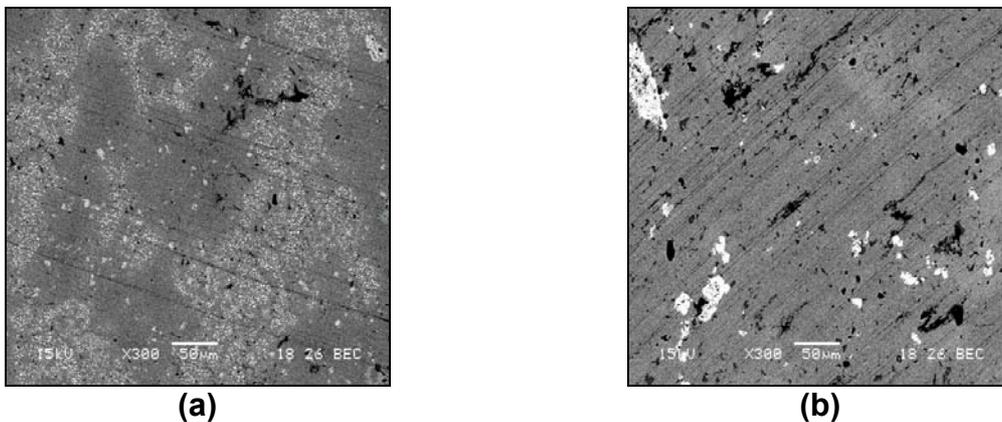
Analisando-se a Figura 5 é possível verificar que as ligas desenvolvidas apresentaram performance ao desgaste superior ao da liga comercial, bem como menor perda de massa. Este comportamento provavelmente foi motivado pelo tratamento térmico executado nas ligas, o qual promoveu a ativação e o aparecimento de carbonetos, elevando sua dureza a valores superiores ao da liga comercial e também devido à adição dos carbonetos NbC e Ti/W, conhecidos por suas propriedades de alta dureza e resistência à abrasão.

Nas Figuras 6a e 6b são mostradas as superfícies desgastadas dos corpos de prova da liga 1 (utilizada para representar as ligas desenvolvidas) e da liga comercial respectivamente para fins de comparação. Por meio delas é possível notar danos muito mais severos ocorridos na superfície do corpo de prova da liga comercial em relação à superfície do corpo de prova da liga 1, a qual chegou a apresentar menos da metade da perda de massa detectada na liga comercial, conforme verificado na Figura 5.

Mais uma vez é possível perceber os benefícios inseridos pelo tratamento térmico executado nas ligas, que contribuiu para o aumento de dureza, bem como a influência dos carbonetos gerados e/ou adicionados nas ligas desenvolvidas, durante seu processamento, os quais ajudaram a suportar melhor o atrito entre as lixas e os corpos de prova ensaiados.



**Figura 5** – Perda de massa média acumulada e coeficiente de atrito médio das ligas desenvolvidas e comercial.



**Figura 6** – Micrografia eletrônica de varredura mostrando o aspecto geral da superfície do corpo de prova da liga 1(a qual representa o conjunto de ligas desenvolvidas) (a) e da liga comercial (b) após os testes de desgaste.

## CONCLUSÕES

- ✓ Os resultados dos testes de desgaste apontaram para uma melhor performance e menor perda de massa das ligas desenvolvidas em relação à liga comercial; tal comportamento é atribuído à adição de elementos na forma de carbonetos e ao tratamento térmico efetuado no material.
- ✓ Os testes de usinagem indicaram diminuição da usinabilidade das ligas desenvolvidas em relação à liga comercial para as condições e parâmetros de corte adotados; entretanto, os aspectos dos cavacos removidos das ligas desenvolvidas denotaram uma melhor e mais suave condição de cisalhamento durante os ensaios.
- ✓ Os resultados obtidos nos ensaios efetuados indicam que a ligas desenvolvidas apresentam grande potencial para aplicação comercial.

## Agradecimentos

Os autores agradecem à General Motors do Brasil pelo financiamento do projeto.

## REFERÊNCIAS

- 1 MYERS, K. Hard-wearing iron-base alloy is soft on the pocket. *Materials World*, p. 755-756, 1999.
- 2 The PM structural parts industry - past growth and future prospects, *Metal Powder Report*, December (1999), p.14 -2.
- 3 WHITTAKER, D. *The International Journal of Powder Metallurgy*, v. 34, n. 34, p. 53-62, 1998.
- 4 L. Salgado, F. Ambrozio Filho, R. M. Leal Neto, J. L. Rossi. *SAE Special Publication SP-1610* (2001) 33-6.
- 5 SAKAI, M. Self-lubrication type P/M materials for the lead free valve seat. In: SAE 2000 World Congress, Mar. 06-09, 2000, Detroit. *Proceedings...* Detroit: SAE, 2000. (SAE Technical Paper Series 2000-01-0395).
- 6 JOHNSON, F.M. The genetic effects of environmental lead. *Mutation Research*, v. 410, p. 123-140, 1998.
- 7 JESUS FILHO, E.S. **Processamento, usinagem e desgaste de ligas sinterizadas para aplicações automotivas**. 2006. Tese (Doutorado) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo.
- 8 GERMAN, R.M. *Powder metallurgy science*, Princeton, NJ: MPIF, 2<sup>nd</sup> edition, 1984.
- 9 SCHNEIDER, G.; CMFGE, JR. *Cutting tool applications*. Prentice Hall, 2002. Chap. 3, Machinability of Metals. p. 4-10.
- 10 HUCHINGS, I.M. Tribology, Friction and wear of engineering materials. *Metall. Mat. Sci. Series*, p. 1-3, 1992.
- 11 FERRARESI, D. *Fundamentos da usinagem dos metais*. v.1, Edgard Blucher, 1970.
- 12 BAPTISTA, A.L.B. Aspectos metalúrgicos na avaliação da usinabilidade de aços. *Rev. Esc. Minas*, v. 55, n. 2, p. 103-109, 2002.
- 13 CHANG, C.; SMITH, G.; LITTLEFAIR, G. Machinability of sintered distaloy HP-1 components. *SAE TRANSACTIONS: Journal of materials and manufacturing*, v. 110, p. 269-274, 2001.