

# MICROABRASÃO DE COMPÓSITOS DE MATRIZ METÁLICA A BASE DE W EMPREGADOS EM COROAS DE PERFURAÇÃO UTILIZADAS EM SONDAÇÃO MINERAL <sup>1</sup>

*André Menegaz Lozzer*<sup>2</sup>

*Ricardo Machado Tottola*<sup>3</sup>

*Ronaldo Eisele*<sup>4</sup>

*José Daniel Biasoli de Mello*<sup>5</sup>

*Marcelo Camargo Severo de Macedo*<sup>6</sup>

*Cherlio Scandian*<sup>7</sup>

## Resumo

Este estudo visa realizar uma análise de desgaste abrasivo em matrizes de ligas sinterizadas de W utilizadas em coroas para sondagem mineral, através do ensaio de microabrasão. Sete tipos de materiais para coroas sinterizadas por infiltração e sem diamantes foram ensaiados. A granulometria do pó de W e a adição de pós metálicos com outra composição são os fatores de distinção. Foi medida a dureza Vickers das ligas com carga de 10 kgf. Os testes de microabrasão foram realizados com lama abrasiva (SiC, SiO<sub>2</sub> e água). O coeficiente de desgaste dimensional foi calculado no regime permanente pela metodologia clássica baseada num perfil esférico ideal. O comportamento em desgaste é relacionado com a dureza, o tamanho das partículas de W e adições. Os mecanismos de desgastes foram avaliados a partir de micrografias obtidas por microscopia eletrônica de varredura.

**Palavras-chave:** Brocas de perfuração; Sinterizados; Microabrasão.

## MICRO-ABRASION OF COMPOSITES OF METALLIC MATRIX OF W FOR ROCK DRILLING'S BITS

### Abstract

This work aims to analyze the abrasive wear of sintered tungsten alloys used on impregnated diamond bits for mining exploration by micro-abrasion test. Seven alloys produced by liquid phase sintering and without diamond were studied. The main differences effects of tungsten powder mean size and other alloy additions were evaluated. Vickers Hardness was measured with 10 kgf load. Micro-abrasion tests were performed with abrasive slurries (SiC, SiO<sub>2</sub> and water). Dimensional wear coefficients were calculated on the steady state and assuming a spherical geometry. Dimensional wear coefficients were compared with hardness, the tungsten powder size and also alloy additions. Wear mechanisms were evaluated by scanning electron microscopy.

**Key-words:** Impregnated diamond bits; Sintered materials; Micro-abrasion.

---

<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> Mestrando no PPGEM, UFES – ES, [andremenegaz@yahoo.com.br](mailto:andremenegaz@yahoo.com.br)

<sup>3</sup> Mestrando no PPGEM, UFES – ES, [metalurgia@geosol.com.br](mailto:metalurgia@geosol.com.br)

<sup>4</sup> Engenheiro Geólogo - [logistica@geosol.com.br](mailto:logistica@geosol.com.br)

<sup>5</sup> Professor Dr. LTM/FEM/UFU- MG - membro da ABM, [ltm-demello@ufu.br](mailto:ltm-demello@ufu.br)

<sup>6</sup> Professor Dr. PPGEM/UFES - ES - membro da ABM, [mcamargo@npd.ufes.br](mailto:mcamargo@npd.ufes.br)

<sup>7</sup> Professor Dr. PPGEM/UFES – ES - membro da ABM, [cherlios@npd.ufes.br](mailto:cherlios@npd.ufes.br)

## 1 INTRODUÇÃO

Na prospecção mineral, uma importante etapa é a sondagem mineral testemunhada. Para a realização desta etapa, empregam-se, normalmente, coroas diamantadas ou, também chamadas, brocas de perfuração. Essas coroas são fabricadas através do processo de sinterização por infiltração, constituindo-se basicamente de uma matriz metálica com dispersão de pequenos diamantes de forma aleatória. As matrizes metálicas, formadas por um esqueleto de pós de W unidos por uma liga metálica infiltrante (neste caso, o latão), têm por objetivo dar sustentação aos diamantes e ao mesmo tempo ser desgastada, a fim de expor os mesmos durante a utilização da ferramenta. Contudo, este desgaste não pode ser muito elevado, pois, os diamantes serão arrancados facilmente. A constituição, em peso, aproximada das coroas é 1/3 pós de W, 1/3 de liga infiltrante e 1/3 diamantes.<sup>[1,2]</sup>

Visando a compreensão do desgaste abrasivo pelo qual as coroas são submetidas durante o trabalho, neste trabalho realizaram-se testes de microabrasão a fim de comparar qualitativamente sete tipos de matrizes metálicas para as coroas. A diferença reside, basicamente, no tamanho de pós de W e a quantidade relativa destes, além de algumas adições de pós com outras composições. A partir dos ensaios de microabrasão realizados, fez-se uma correlação entre o coeficiente de desgaste e algumas características das matrizes metálicas, tais como: dureza, composição e granulometria do pó.

Os resultados do teste de microabrasão foram obtidos pela metodologia clássica, considerando a calota uma superfície esférica ideal.<sup>[3]</sup>

A avaliação das calotas desgastadas, via microscópio eletrônico de varredura (MEV), permitiu fazer alguma inferência sobre os mecanismos de desgaste das sete amostras, onde foi observado, basicamente, o mesmo comportamento.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

As amostras foram identificadas segundo o tamanho médio dos pós metálicos de tungstênio (W) que as compõe e os respectivos pós de adição, o que pode ser observado na Tabela 1. Todas as amostras foram sinterizadas sem diamantes com a seguinte liga infiltrante: Cu-43Zn-1Sn (% em peso). A sinterização foi realizada em forno tipo mufla na temperatura de aproximadamente 1050°C.

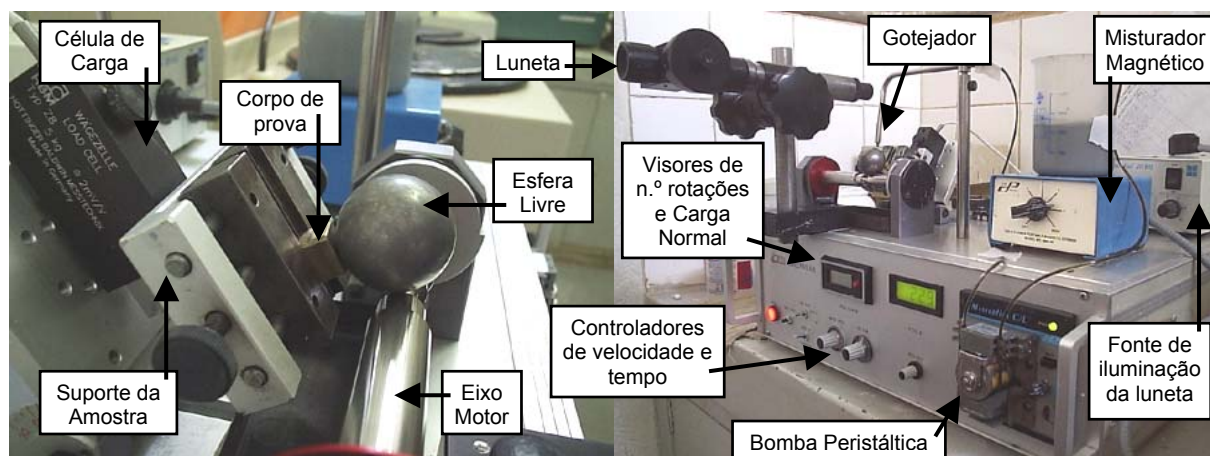
**Tabela 1** – Nomenclatura e constituição dos materiais utilizados

Material	Constituição
4	W (tamanho médio de 3,5 µm)
4-Cu	W (tamanho médio de 3,5 µm) + 60Cu-25Co-15Fe
4-Fe	W (tamanho médio de 3,5 µm) + 72Fe-25Co-3Cu
4-Mo	W (tamanho médio de 3,5 µm) + Mo
6-16	W (tamanho médio de 6 µm) + W (tamanho médio de 16 µm)
6	W (tamanho médio de 6 µm)
16	W (tamanho médio de 16 µm)

As amostras foram preparadas manualmente com lixas d'água com granulometria inicial de 180, dentre outras, até alcançar 600.

Os ensaios de microabrasão foram realizados em um equipamento do tipo esfera livre, onde a mesma é movida por um eixo motor e desliza sobre o corpo de prova fixo num suporte inclinado que, através de uma célula de carga, mede

continuamente a força normal sobre o contato durante todo o teste. A esfera é de aço inoxidável martensítico com um diâmetro de 30 mm e seu contato com o corpo de prova é feito em um meio abrasivo em fluxo contínuo. O equipamento também possui um misturador magnético para agitar continuamente a lama abrasiva sem possibilidades de contaminação e uma luneta de observação. O aspecto geral do equipamento é apresentado na Figura 1.



**Figura 1** - Ilustração do equipamento de microabrasão (Calowear, LTM/UFU).

Os parâmetros adotados para a realização dos ensaios estão descritos na Tabela 2.

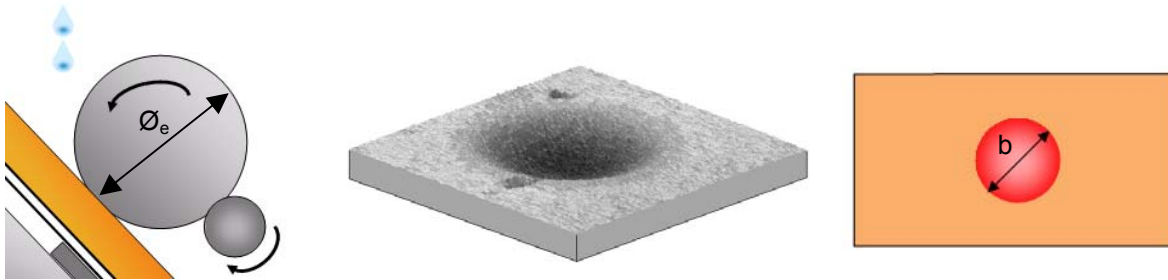
**Tabela 2** - Parâmetros do teste de microabrasão

Rotação do eixo motor	150 a 180 [rpm]
Ângulo de inclinação do suporte	70 [°]
Força normal estática	0,22 ± 0,01 [N]
Abrasivos	- SiC com granulometria média < 5 µm - SiO <sub>2</sub> com granulometria média < 5 µm
Concentração do abrasivo - [SiC]	0,1 [mg / cm <sup>3</sup> ]
Gotejamento do Abrasivo	1 gota a cada 3 segundos

No ensaio de microabrasão admite-se que a impressão da calota na amostra, ou seja, a região desgastada tenha o mesmo perfil geométrico do corpo responsável por sua impressão. Assim, é possível determinar o volume de material desgastado (V) a partir do diâmetro da esfera ( $\varnothing_e$ ) e do diâmetro da calota desgastada (b) através da expressão 1.<sup>[3,4]</sup>

$$V \approx \frac{\pi \cdot b^4}{32 \cdot \varnothing_e}, \text{ para } b \ll \varnothing_e \quad \text{Expressão 1}$$

Na Figura 2, são mostrados, a título de ilustração, o esquema do dispositivo de teste empregado, uma imagem gerada por interferometria a laser da calota sobre a amostra e o diâmetro da mesma.



**Figura 2** – Esquema de impressão, imagem e dimensão da calota desgastada.

Este modelo simples de desgaste abrasivo equivale à equação de Archard para desgaste por deslizamento:<sup>[3]</sup>

$$Q = \frac{V}{S} = \frac{K \cdot N}{H} \quad \text{Expressão 2}$$

A partir de 2, considera-se a relação  $\frac{K}{H}$  igual a  $k$ , levando, assim:

$$k = \frac{V}{S \cdot N} \quad \text{Expressão 3}$$

Onde  $k$  representa o coeficiente de desgaste dimensional, cuja unidade é dada em  $\text{m}^3 \cdot (\text{N} \cdot \text{m})^{-1}$ ,<sup>[4]</sup>  $V$  é o volume de material desgastado,  $S$  é a distância deslizada e  $N$  a força normal sobre o contato.

Deste modo, unindo as expressões 1 e 3, temos uma expressão para o coeficiente de desgaste dimensional ( $k$ ) em função do diâmetro da calota desgastada ( $b$ ), do diâmetro da esfera livre ( $\varnothing_e$ ) e das variáveis de ensaio: distância deslizada ( $S$ ) e força normal sobre o contato ( $N$ ), que é ilustrada na expressão 4.

$$k \approx \frac{\pi \cdot b^4}{32 \cdot \varnothing_e \cdot S \cdot N}, \text{ para } b \ll \varnothing_e \quad \text{Expressão 4}$$

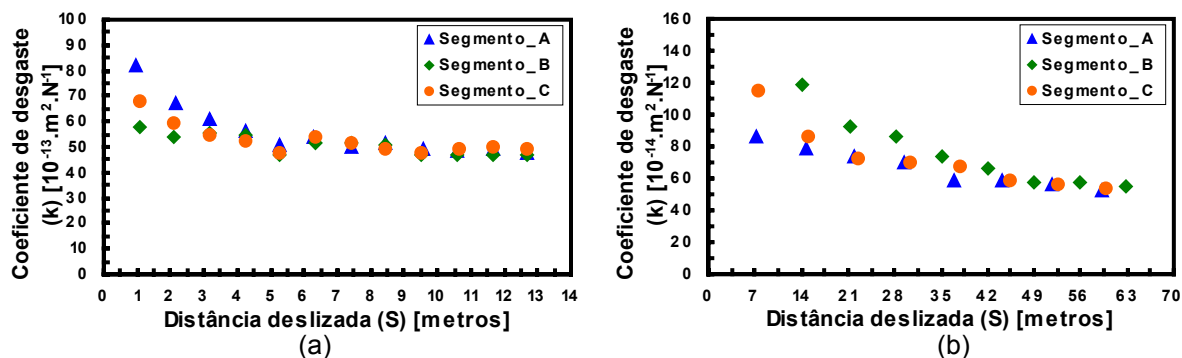
Para cada uma das sete amostras, chegou-se a um valor para o coeficiente de desgaste dimensional a partir dos valores dos três últimos pontos de cada ensaio contidos no regime permanente, resultando, assim, 9 valores por amostra, utilizados para os cálculos da média e do desvio padrão. O regime permanente foi considerado o ponto a partir do qual todas as amostras apresentaram variação inferior a 7% para o coeficiente de desgaste ao longo do tempo.

As observações por microscopia eletrônica de varredura (MEV) foram realizadas num equipamento marca LEICA-OXFORD, modelo S440i, da Cia Siderúrgica de Tubarão (CST).

Os ensaios de dureza foram realizados em durômetro Vickers (WPM) com carga de 10 kgf, por 30 s, em vários pontos da superfície das amostras que representasse a dureza da coroa.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 3 ilustra o comportamento da amostra de material de granulometria média 3,5  $\mu\text{m}$  quanto ao regime permanente. Pode-se observar que a partir da distância percorrida de 5 metros, para esta matriz, o sistema tribológico com lama abrasiva de SiC atingiu tal regime, para SiO<sub>2</sub> 45 metros.



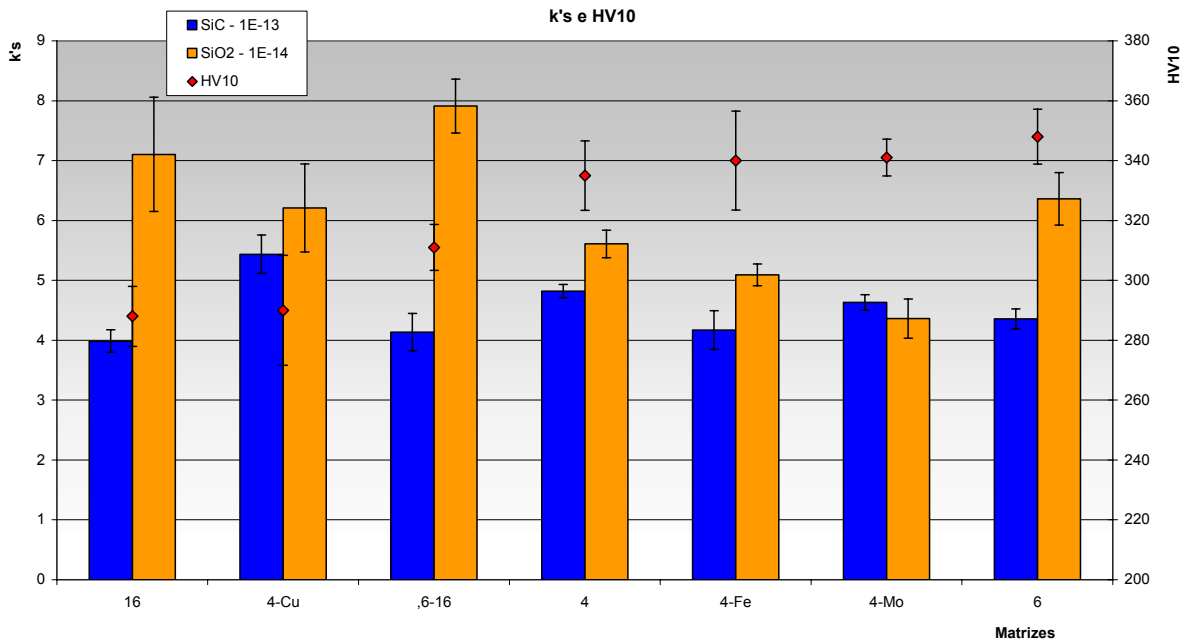
**Figura 3** – Variação do coeficiente de desgaste dimensional ao longo da distância deslizada para a amostra de matriz “4” com lama abrasiva de SiC (a), e SiO<sub>2</sub> (b).

As durezas para as amostras, assim como os coeficientes de desgaste dimensional estão apresentados na Tabela 3, porém uma análise qualitativa entre as amostras fica mais clara quando representados na forma gráfica da Figura 4.

**Tabela 3** - Durezas e Coeficientes de desgaste dimensional.

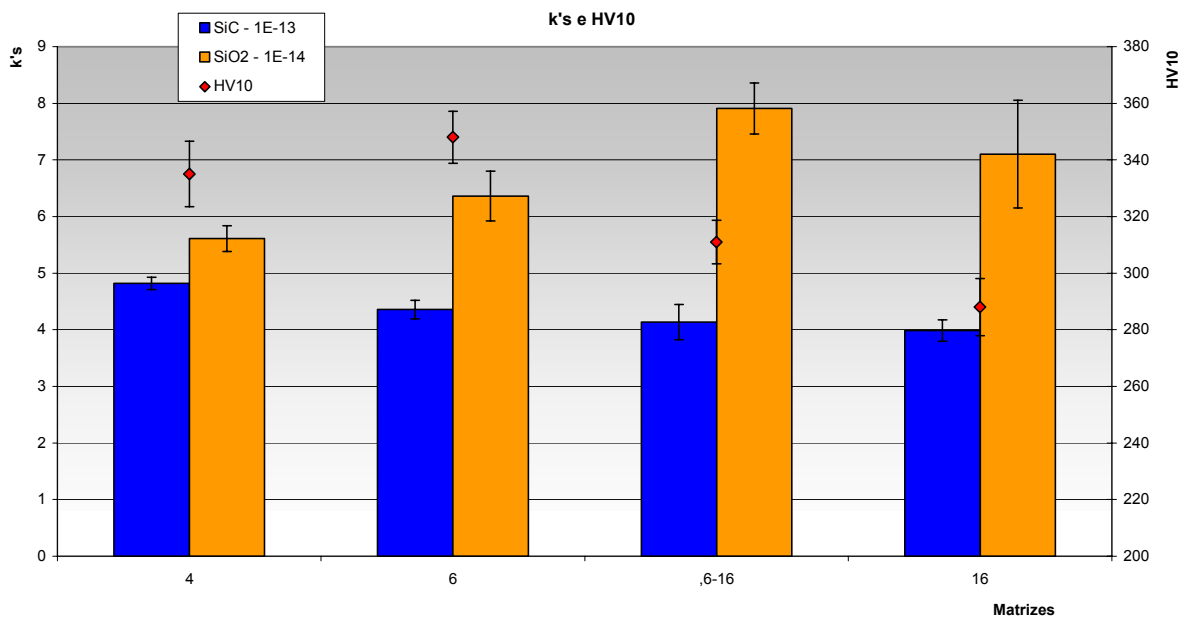
Amostras	Dureza Vickers 10kgf	Coeficiente de desgaste dimensional [10 <sup>-13</sup> .m <sup>2</sup> .N <sup>-1</sup> ] – SiC	Coeficiente de desgaste dimensional [10 <sup>-14</sup> .m <sup>2</sup> .N <sup>-1</sup> ] – SiO <sub>2</sub>
4	335 ± 12	4,82 ± 0,11	5,61 ± 0,23
4-Cu	290 ± 18	5,44 ± 0,32	6,21 ± 0,73
4-Fe	340 ± 17	4,17 ± 0,32	5,09 ± 0,18
4-Mo	341 ± 6	4,63 ± 0,13	4,36 ± 0,33
16	288 ± 10	3,99 ± 0,19	7,10 ± 0,95
6-16	311 ± 8	4,14 ± 0,31	7,91 ± 0,45
6	348 ± 9	4,36 ± 0,17	6,36 ± 0,44

As matrizes fabricadas a partir de pós de W de tamanho médio original de 16  $\mu\text{m}$  (puro ou mistura) apresentaram os menores valores de dureza, na ordem de 300 HV<sub>10</sub>. Além destas, a coroa com pós de W de tamanho médio original de 3,5  $\mu\text{m}$ , na qual foi adicionado pó de 60Cu-25Co-15Fe (“4-Cu”), também atingiu valor de dureza na mesma faixa que as duas mencionadas. Já as ligas contendo só W de menor tamanho (“4” e “6”) e aquelas com adição de Mo ou de 72Fe-25Co-3Cu apresentaram resultados na ordem de 340 HV<sub>10</sub>. Os resultados de dureza obtidos estão claramente relacionados com o tamanho da partícula de W e com o pó de liga adicionado, em geral, menor o tamanho maior é a dureza. As adições de ligas a base de Fe e de Mo não alteram significativamente o valor de dureza em relação ao material que contém só W de tamanho médio original de 3,5  $\mu\text{m}$ . Já a adição de liga de cobre reduz a dureza.



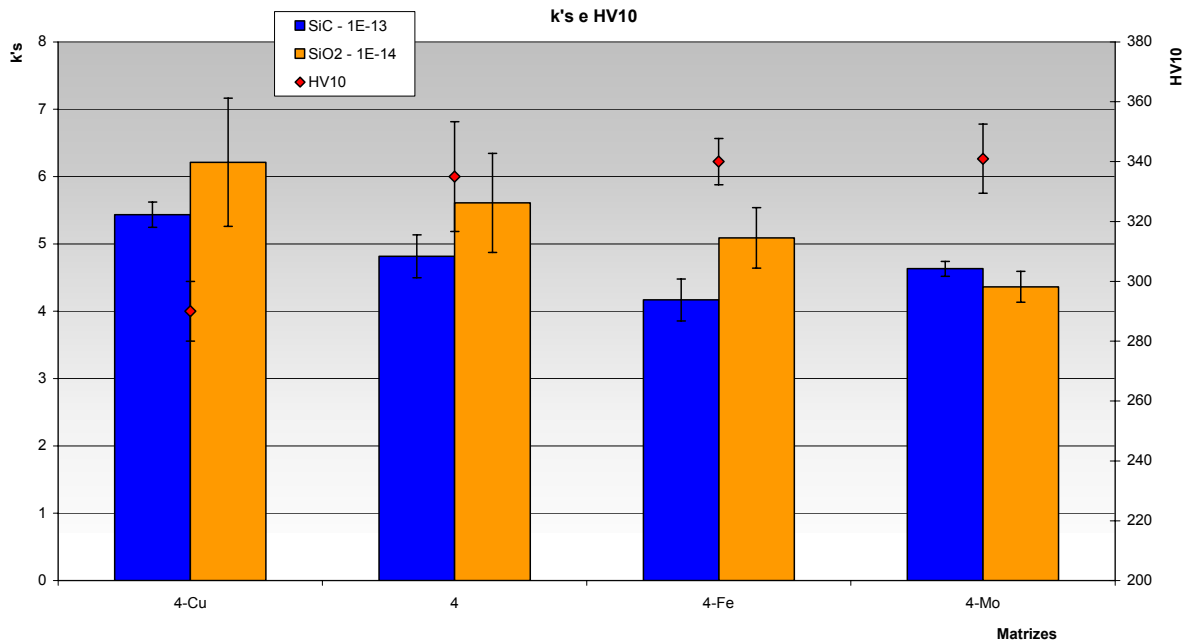
**Figura 4** – Representação gráfica das Durezas e Coeficientes de desgaste dimensional.

Considerando apenas os materiais que contém somente pós de W e latão (Figura 5), para o caso de lama abrasiva de SiC, o coeficiente de desgaste dimensional diminui levemente quando o tamanho médio original das partículas de W aumenta, porém, estatisticamente são bem próximos, pois o desgaste é severo (dureza do abrasivo muito superior da matriz). Ao contrário do que ocorre para lama abrasiva de SiO<sub>2</sub>, onde a dureza do abrasivo é menor que o anterior e o desgaste diminui com o aumento da dureza.



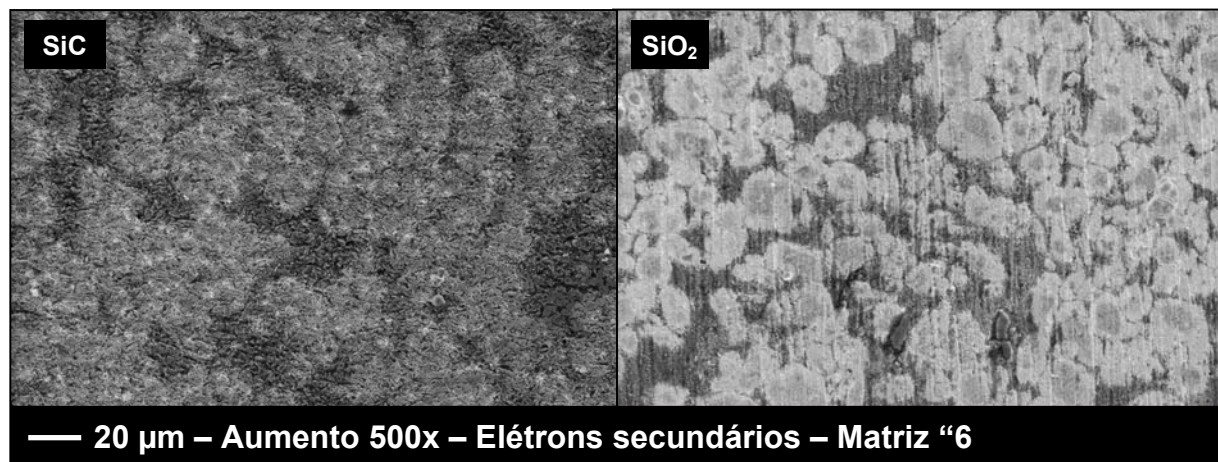
**Figura 5** – Efeito da granulometria média original nas durezas e coeficientes de desgaste dimensional das amostras constituídas apenas de pós de W e latão.

O efeito das adições de pós de outras ligas ao material com granulometria de 3,5  $\mu\text{m}$  pode ser visto na Figura 6. A adição da liga 60Cu-25Co-15Fe aos pós de 3,5  $\mu\text{m}$ , levou a um aumento da fração volumétrica de infiltrante (31%), sendo que o material 4-Cu apresentou o maior coeficiente de desgaste dimensional, porém estatisticamente igual á liga sem adição para lama abrasiva de  $\text{SiO}_2$ . Já o Mo não altera muito o coeficiente de desgaste. Finalmente a adição de Fe reduz o coeficiente de desgaste comparando com a amostra constituída de W puro e latão (material “4”).



**Figura 6** – Influência das adições na dureza e coeficientes de desgaste dimensional das amostras fabricadas com pós de W de tamanho médio de 3,5  $\mu\text{m}$ .

Os mecanismos de desgastes foram distintos para cada abrasivo, o que explica a diferença em ordem de grandeza. Os ensaios com lama abrasiva de SiC geraram indentações múltiplas sem direcionalidade preferencial, já os realizados com  $\text{SiO}_2$ , predominou o deslizamento de partículas, ou eventos de microcorte [5]. O que pode ser visto na Figura 7.



**Figura 7** - Fotos em microscópio eletrônico de varredura para a matriz “6” para lama abrasiva de SiC e  $\text{SiO}_2$  com aumento de 500 vezes. Elétrons secundários.

## 4 CONCLUSÕES

As conclusões deste trabalho são basicamente quatro:

Considerando somente as amostras sem os pós de adição, à medida que se diminui a granulometria, obtém-se um maior coeficiente de desgaste para o tribosistema com lama abrasiva de SiC, ao contrário do caso com SiO<sub>2</sub>.

Analisando somente as matrizes com mesma granulometria e diferentes pós de adição, tem-se que aqueles pós que aumentam a fração volumétrica de infiltrante, possivelmente por dissolução, aumentam o coeficiente de desgaste, o que acontece nos materiais "4-Cu". Já aqueles a base de Fe e Mo, conseguiu-se uma redução significativa no coeficiente de desgaste, pois dificilmente o ferro se dissolveria no infiltrante à temperatura de sinterização empregada (aproximadamente, 1050 °C).

O mecanismo de desgaste dominante destes testes de microabrasão foi o de três corpos para os testes com lama abrasiva de SiC, pois as análises revelaram indentações sem direções preferenciais ao longo de toda a calota provocadas pelo rolamento das partículas abrasivas entre as superfícies, e o dois corpos para os testes com SiO<sub>2</sub>, onde predominou o deslizamento de partículas.

Fica clara a independência da resistência ao desgaste com a dureza, assim como sua especificidade para cada sistema, visto que a classificação qualitativa obtida com uma lama abrasiva de SiC não se repete quando utilizada lama de SiO<sub>2</sub>, onde as matrizes mostraram-se mais sensíveis à este abrasivo mais macio.

## REFERÊNCIAS

- 1 Dawn, J. D.; **Powder Metallurgy**, 1988, vol 4, n2, p. 4-86.
- 2 Dawn, J. D.; **Materials Science and Technology**, 1988, vol. 14 p. 896-900.
- 3 Rutherford, K. L., Hutchings, I. M.; **Journal of Testing and Evaluation**, JTEVA, 25(2), March 1997, p. 250-260.77
- 4 Trezona, R. I., Allsopp, D. N., Hutchings, I. M.; **Wear**, p. 225-229 (1999), p.205-214.
- 5 Da Silva, W. M., Binder, R., De Mello, J. D. B.; **Wear**, p. 258 (2005), p. 166-177.