

# DESGASTE ABRASIVO DE NÍQUEL E DE LIGA BINÁRIA NÍQUEL-COBALTO ELETRODEPOSITADOS EM SUBSTRATO DE COBRE\*

Francisco de Assis Altera<sup>1</sup>  
Adilson Rodrigues da Costa<sup>2</sup>

## Resumo

Os custos com reparos e substituições de peças, que são submetidas a trabalhos que proporcionam desgastes dos mesmos significam elevadíssimos gastos para as empresas. Os testes de campo geralmente são caros, além de necessitarem de um longo tempo para serem completados. A partir do momento que se notou a necessidade do desenvolvimento de materiais com maiores resistências ao desgaste começou a ser feitas várias pesquisas na área de desgaste abrasivo. De acordo com trabalhos realizados, pode-se concluir que existe uma grande variedade de parâmetros que influenciam os mecanismos de desgaste de maneira geral. Neste trabalho estudou-se o coeficiente de atrito bem como a resistência ao desgaste por abrasão em dois tipos de materiais, sendo uma amostra com revestimento de níquel e uma amostra revestida com liga binária de níquel com 7,3% de cobalto. O enfoque principal foi centrado na taxa de desgaste por abrasão, caracterizado pelo atrito de partículas entre dois corpos em contato. Como material abrasivo foi utilizado uma suspensão de diamante com diferentes granulometrias e foram aplicadas cargas diferentes, totalizando oito ensaios. Nestes, foi possível observar que maiores desgastes estão diretamente relacionados com material de maior dureza, abrasivo de maior granulometria e menor carga aplicada.

**Palavras-chave:** Revestimento; Desgaste; Níquel; Cobalto.

## ABRASIVE WEAR NICKEL AND NICKEL-COBALT BINARY ALLOY ELECTRODEPOSITED COPPER SUBSTRATE

### Abstract

The costs with repairs and substitutions of parts that are submitted the works that provide consuming of the same ones, mean highest expenses for the companies. The tests in wide scale in the work field generally are expensive and need good time to be completed. From the moment that if noticed the importance of the development of materials with more wear resistance, they had started to be made some research in the area of abrasive wear. In agreement with works realized can be concluded that exists a great variety of parameters that influence the wear mechanisms in the generality. In this work is the coefficient of friction and wear resistance by abrasion of two types of material, one sample with coating of nickel and a sample coated with binary alloy of nickel with 7.3% of cobalt. The main focus is centered on the rate of wear by abrasion, characterized by the friction of particles between two bodies in contact. As abrasive material was used a diamond suspension with different s and with different loads, and were applied different loads totaling eight tests. In these, it was possible to observe that larger wastes are directly related with material of larger hardness, abrasive of larger size and smaller applied load.

**Keywords:** Coating; Wear; Nickel; Cobalt.

<sup>1</sup> Ms. Engenharia de Materiais, Professor da coordenadoria de Metalurgia, IFES, Vitória, ES, Brasil.

<sup>2</sup> D.Sc. Metalurgia Física, Professor do Departamento Metalurgia, UFOP, Ouro Preto, MG, Brasil.

## 1 INTRODUÇÃO

A degradação de componentes mecânicos em consequência das condições de serviço, na maioria dos casos, concentra-se ou inicia-se na superfície em razão, por exemplo, do desgaste. Para prever/estimar esta degradação é necessário o desenvolvimento de técnicas de caracterização de superfícies que possam abranger o maior número possível de solicitações.

Reduzir o custo com manutenção devido às paradas dos equipamentos, bem como substituição das peças, significa reduzir diretamente o custo final do produto.

A máquina de Lingotamento Contínuo de placas de aço possui um conjunto de molde formado por quatro placas fabricadas em ligas de cobre. Uma das funções do molde é extrair calor do aço, com temperatura de 1540°C, a uma taxa suficiente para possibilitar a formação de uma camada solidificada que não se rompa quando sujeita ao complexo de tensões abaixo do molde [1].

Devido ao desgaste que ocorre nas placas do conjunto de molde durante o processo de Lingotamento Contínuo, visando aumentar a vida útil do conjunto, algumas empresas estão revestindo através do processo de eletrodeposição, com camadas de níquel, variando em torno de 2,5mm de espessura, as referidas placas do molde. Embora a aplicação do níquel no revestimento das placas do molde tenha aumentado a vida útil do conjunto, devemos considerar que os desgastes ainda são intensos.

O conjunto da máquina de Lingotamento Contínuo analisada é projetada para lingotar 600 corridas em aço. Após “400 corridas” é necessário efetuar desmontagem do conjunto para usinagem das placas revestidas com o objetivo de eliminar as irregularidades provenientes do desgaste das placas, que atinge até 1,2 mm na espessura do revestimento.

Como é de fundamental importância a atuação da Engenharia de Superfícies no sentido de conhecer características mecânicas importantes que resistem aos vários esforços, nos quais são submetidos os componentes nos equipamentos, este trabalho tem como objetivo, conhecer a resistência ao desgaste de uma liga binária níquel-cobalto com dureza de  $333 \pm 3\text{Hv}$ , quando comparada com a resistência ao desgaste do níquel, com dureza  $198 \pm 3\text{Hv}$ , que nos possibilitará conhecer também a viabilidade de aplicação da referida liga nas placas do molde.

Existem duas configurações de equipamentos para o ensaio de desgaste micro-abrasivo por esfera rotativa: máquina de ensaio de desgaste micro-abrasivo por esfera rotativa fixa e máquina de ensaio de desgaste micro-abrasivo por esfera rotativa livre. No primeiro caso, a força normal ( $F_N$ ), definida pelo usuário, é aplicada sobre a esfera de ensaio. Ao lado da esfera, e em contato com a mesma, está o corpo-de-prova. O contato e o movimento relativo entre esses dois elementos produz uma força tangencial (força de atrito),  $F_t$ . No segundo caso a força normal é definida pelo próprio peso da esfera, além da inclinação do corpo-de-prova e sua posição em relação ao eixo motor.

Através do contato entre uma esfera em rotação, alimentada por partículas abrasivas, forçada contra a superfície de um corpo-de-prova, são geradas crateras de desgastes por abrasão, devido à retirada de material, cuja quantidade pode ser determinada pela diferença entre as massas inicial e final da amostra. Tal quantidade de material removida possibilita prever, ou, pelo menos estimar, o comportamento ao desgaste abrasivo de um material em condições reais de trabalho.

### 1.1 Fatores que Aceleram o desgaste por Abrasão.

Para uma perfeita seleção do material a ser utilizado num ambiente sujeito a desgaste, vários fatores deve ser considerados, como [4]:

- Dimensão do grão abrasivo;
- Carga aplicada;
- Dureza do metal base etc.

### 1.2 Efeito da dimensão do grão abrasivo.

Para ambos os tipos de desgaste abrasivo (dois ou três corpos), um tamanho crítico da partícula abrasiva pode ser observado. O desgaste volumétrico aumenta com o aumento do tamanho do grão abrasivo para esta dimensão crítica.

Durante o desgaste abrasivo, a extensão da região tencionada plasticamente abaixo da superfície depende do tamanho do grão abrasivo e da carga aplicada.

Existem ainda muitos outros fatores que influenciam a taxa de desgaste. O coeficiente de atrito é uma deles [3].

Através do tamanho médio das partículas abrasivas, pode ser realizada a distinção entre “desgaste abrasivo” e “desgaste micro-abrasivo”. O “desgaste micro-abrasivo” ocorre com participação de partículas abrasivas com tamanho médio entre 3 e 6  $\mu\text{m}$ , aproximadamente, são comuns de serem utilizadas em ensaios de desgaste micro-abrasivo por esfera rotativa [4]. Já o “desgaste abrasivo” é gerado por partículas abrasivas relativamente maiores, entre 50 e 250  $\mu\text{m}$  [5].

### 1.3 Efeito da carga aplicada.

O efeito da carga na taxa de desgaste obtida tanto para os materiais compostos como para as ligas é bem mais severo que o efeito do tamanho dos grãos abrasivos. Sendo que em relação aos materiais por estes testados (ligas e compósitos), o efeito da carga e do tamanho do abrasivo na taxa de desgaste é relativamente maior no caso dos materiais compostos do que nas ligas. Porém, existem algumas combinações de tamanhos de grãos com quantidade de cargas aplicadas que podem fazer com que a taxa de desgaste abrasivo seja maior nas ligas do que nos materiais compostos [6].

Esta maior influência da carga aplicada na taxa de desgaste em relação à variação do tamanho dos grãos pode ser observada na Tabela 1, tanto para os materiais compostos (uma liga de alumínio com partículas de óxido de alumínio), como para ligas (no caso uma liga de alumínio).

Tabela 1 - Influência da carga aplicada na taxa de desgaste em relação à variação do tamanho dos grãos [6].

Condição	Tamanho da partícula abrasiva ( $\mu\text{m}$ )	Carga aplicada (N)	Taxa de desgaste em uma liga de alumínio (10 -11 m <sup>3</sup> / m)	Taxa de desgaste em um material composto (10 -11 m <sup>3</sup> / m)
1	80	7	39,08	38,19
2	80	1	7,98	2,8
3	30	1	7,25	2,17
4	30	7	31	26,19

No desgaste abrasivo, a extensão da região deformada plasticamente na subsuperfície depende não só do tamanho do grão abrasivo, mas também da carga aplicada [6].

#### 1.4 Influência da dureza do metal base.

A dureza do material determina a profundidade da indentação das partículas abrasivas, influenciando a profundidade relativa penetrada. Onde esta profundidade for maior que a profundidade de indentação crítica para fratura, a taxa de desgaste é alta [3].

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

Os materiais e métodos que foram utilizados neste estudo são apresentados neste capítulo. Estudo este, direcionado na determinação experimental do coeficiente de atrito, bem como o desgaste micro abrasivo causado pelo deslizamento de uma esfera sobre um plano fixo.

Os pares podem ser formados de diversos tipos de materiais. Porém, neste estudo os materiais utilizados para os ensaios de abrasão foram metálicos e formaram o tribossistema metal-metal, onde uma esfera de aço SAE 52100, montada no eixo máquina, foi uma das superfícies (corpo) e a outra (contracorpo), foi constituída por um corpo-de-prova de cobre, revestido por eletrodeposição, com níquel (dureza de  $198 \pm 3\text{Hv}$ ) e outra revestida, também por eletrodeposição, com uma liga binária níquel contendo 7,3% cobalto (dureza de  $333 \pm 3\text{Hv}$ ).

Para realização deste trabalho foi projetado e montado na UFOP (Universidade Federal de Ouro Preto) uma máquina de ensaio de desgaste micro-abrasivo por esfera rotativa fixa, conforme figura 1, que consiste basicamente em produzir desgaste através da retirada de material, cuja quantidade pode ser determinada pela diferença entre as massas, conforme granulometria do abrasivo e a carga utilizada, detectada pela pesagem da amostra, antes e após a realização do ensaio.

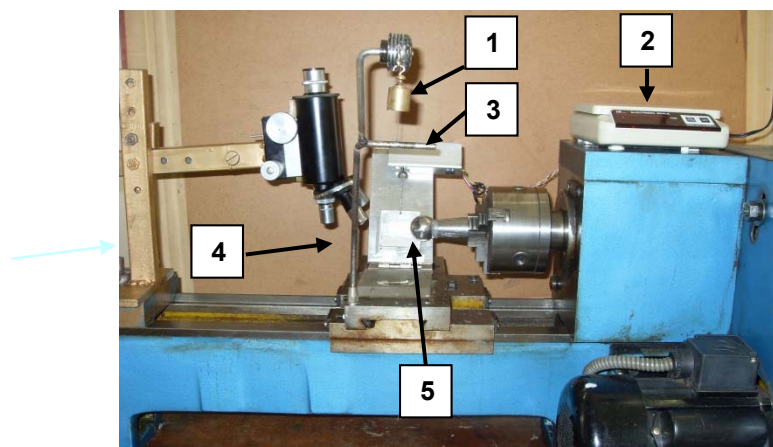


Figura 1 – Máquina de ensaio de desgaste micro-abrasivo por esfera rotativa fixa.

- 1 – Carga,
- 2 – Escala eletrônica
- 3 – Célula de carga,
- 4 – Corpo-de-prova e
- 5 – Eixo motor com esfera.

O desgaste é devido à ação do abrasivo, aderido à esfera por tensão superficial, que é forçado contra a superfície da amostra, quando a esfera gira apoiada sobre a referida superfície, conforme figura 2.

Para o cálculo da força normal exercida sobre a esfera, foi aplicada a regra da alavanca.

$$N = F \times L/d \quad (\text{eq. 2.1})$$

Calculo do Coeficiente de Atrito ( $\mu$ ).

$$\mu = \text{Fat}/N \quad (\text{eq. 2.2})$$

Onde: Fat é a força de atrito (obtido na MAE) e N é a força normal.

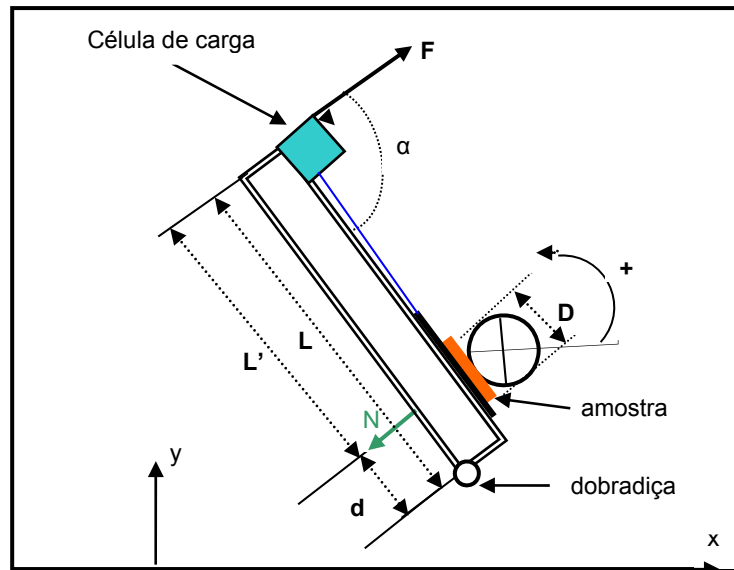


Figura 2 – Diagrama da força atuante sobre a amostra.

Durante a realização dos ensaios, foram estabelecidos alguns critérios:

- Ajuste do ângulo  $\alpha$  em  $90^\circ$  visando eliminar possíveis perdas de carga no cálculo da força normal.
- A esfera foi centrada com deslocamento de apenas 0,02 mm (com auxílio de um relógio comparador antes de iniciar o ensaio).
- Velocidade de 136 RPM, para a esfera, durante os ensaios.
- Limpeza da esfera após cada ensaio, visando remover impurezas existentes;

Foram realizados 08 (oito) ensaios com duração de 5 horas para cada ensaio, com:

- Forças de 2,14N e 6,25N;
- Suspensão abrasiva com diamante  $1 \sim 2\mu\text{m}$  e outra com  $2 \sim 4\mu\text{m}$ , ambos preparados com água destilada cuja concentração ficou com 0,075g/ml.
- Renovação do abrasivo, por gotejamento. Sendo duas gotas no início do ensaio e manutenção do gotejamento em intervalo de 10 minutos até o final de cada ensaio.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos após a realização dos ensaios.



### 3.1 Perdas de massa

A figura 3 refere-se aos corpos de prova após realização dos ensaios, destacando maiores desgastes nos ensaios realizados na liga Ni-Co.

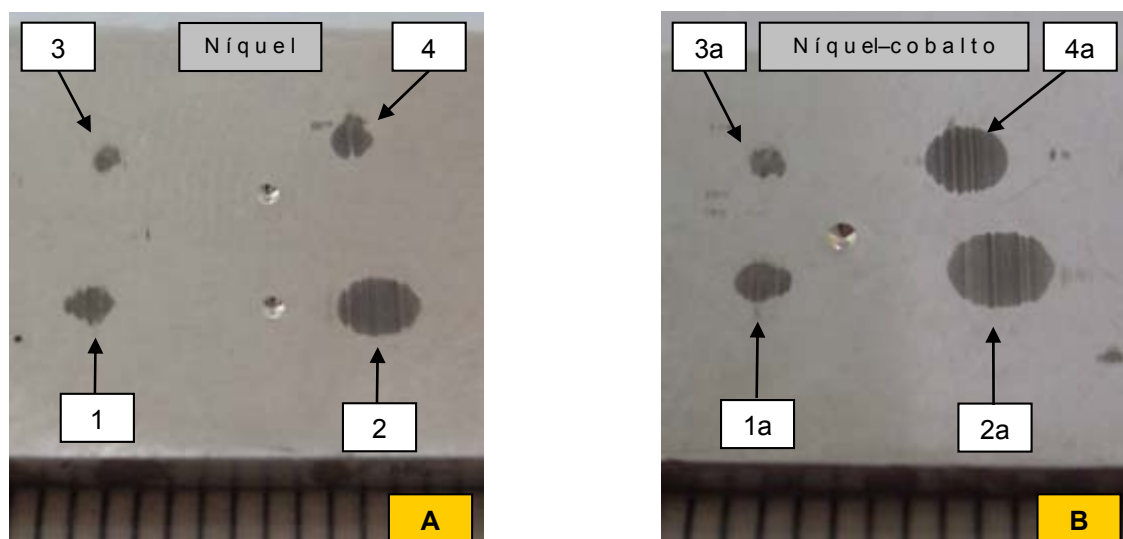


Figura 3. (A) desgaste no corpo-de-prova de Ni e (B) desgaste no corpo-de-prova de Ni-Co.

As perdas de massa (tabela 2 e figura 4) podem ser comparadas analisando tanto quanto à granulometria do abrasivo, a carga aplicada e o tipo de material ensaiado.

Tabela 2. Perda de massa em função da carga e granulometria do abrasivo

Ensaio	Tamanho da partícula abrasiva ( $\mu\text{m}$ )	Carga aplicada (N)	Perda de massa no Níquel (mg)	Perda de massa na liga binária Ni-Co (mg)
1 e 1a	1 ~ 2 $\mu\text{m}$	2,14	0,6	0,7
2 e 2a	2 ~ 4 $\mu\text{m}$	2,14	1,3	1,7
3 e 3a	1 ~ 2 $\mu\text{m}$	6,25	0,4	0,5
4 e 4a	2 ~ 4 $\mu\text{m}$	6,25	0,6	1,4

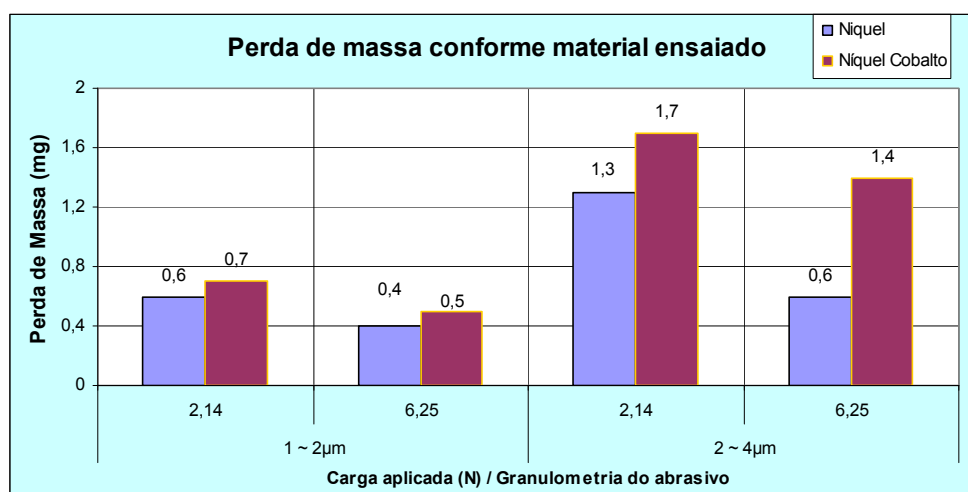


Figura 4 – Perda de massa conforme material ensaiado

### 3.1.1 Influência da dureza do material

A perda de massa foi superior na amostra de níquel-cobalto (com dureza de 333Hv) em relação ao níquel puro (com dureza de 198Hv) em todos os ensaios realizados. Ou seja, quanto maior a dureza maior a perda de massa.

### 3.1.2 Efeito da granulometria do abrasivo

A maior perda de massa ocorreu nos ensaios realizados com abrasivo de granulometria de 2 ~ 4 $\mu$ m, quando comparados com os ensaios realizados com abrasivo de granulometria de 1 ~ 2 $\mu$ m, para uma mesma carga e material ensaiado.

### 3.1.3 Efeito da carga aplicada

Neste estudo o comportamento foi diferente em relação ao proposto por Mondal <sup>(7)</sup>, visto que a maior perda de massa ocorreu nos ensaios realizados com carga de 2,14N, quando comparados com os ensaios realizados com carga de 14N, para uma mesma granulometria de abrasivo e material ensaiado.

É importante ressaltar que observações feitas por Mondal, referem-se a materiais diferentes (liga de alumínio / materiais compósitos), em relação aos materiais utilizados neste estudo (níquel / níquel-cobalto).

### 3.1.4 Coeficiente de atrito e Perda de massa

A Tabela 3 apresenta os valores dos coeficientes de atrito e as perdas de massa conforme o material, carga aplicada e a granulometria do abrasivo utilizada nos ensaios.

Tabela 3 – Coeficientes de atrito e perdas de massa com cargas de 2,14 e 6,25N

Carga (N)	Material / Granulometria	Coeficiente de Atrito	Perda de Massa (mg)
2,14	Ni / 1 ~ 2 $\mu$ m	0,43	0,6
	Ni / 2 ~ 4 $\mu$ m	0,51	1,3
6,25	Ni / 1 ~ 2 $\mu$ m	0,30	0,4
	Ni / 2 ~ 4 $\mu$ m	0,34	0,6
2,14	Ni-Co / 1 ~ 2 $\mu$ m	0,34	0,7
	Ni-Co / 2 ~ 4 $\mu$ m	0,46	1,7
6,25	Ni-Co / 1 ~ 2 $\mu$ m	0,24	0,5
	Ni-Co / 2 ~ 4 $\mu$ m	0,50	1,4

A figura 5 permite uma melhor visualização quanto à perda de massa e do coeficiente de atrito. Nos ensaios realizados com abrasivo de maior granulometria, o coeficiente de atrito e a perda de massa aumentaram quando comparados com os resultados obtidos nos ensaios com abrasivo de menor granulometria. Esta observação deve ser feita para um mesmo material ensaiado bem como a mesma carga aplicada.

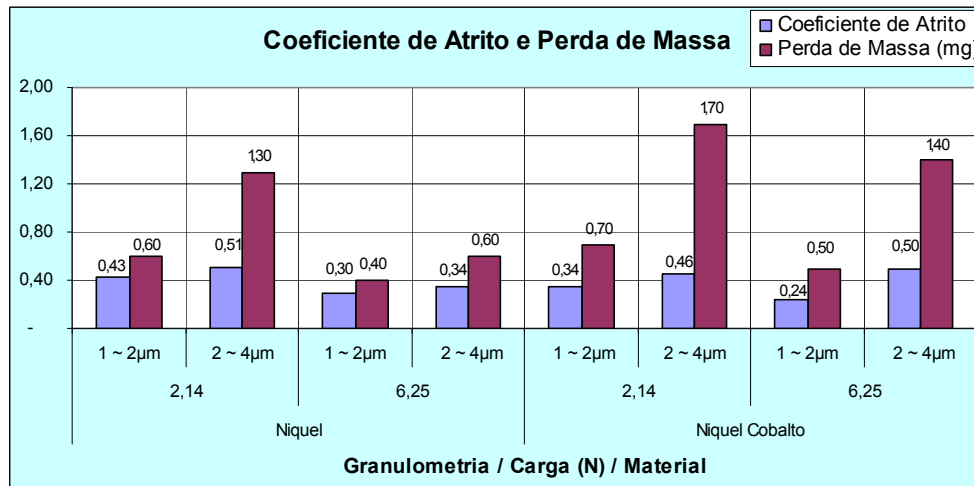


Figura 5 – Coeficientes de Atrito e Perdas de Massa com cargas de 2.14 e 6,25N.

#### 4 CONCLUSÃO

Pelos resultados obtidos, pode-se dizer que de modo global a liga Ni-Co é menos resistente a este tipo de desgaste que o Ni puro.

Por outro lado, ficaram evidentes os efeitos das variações dos dois parâmetros básicos analisados, quais sejam: a granulometria do abrasivo e a carga aplicada.

As tendências gerais observadas nas respostas dos materiais à variação dos parâmetros foram as seguintes: para uma mesma carga, o desgaste é tanto maior quanto maior for a granulometria do abrasivo e por outro lado para uma mesma granulometria do abrasivo, quanto maior a carga menor é o desgaste.

Estas duas tendências observadas concordam com o esperado já que um aumento na granulometria do abrasivo corresponde a uma eficiência maior no arrancamento de partículas e um aumento de carga corresponde a um aumento de pressão entre os corpos dificultando a ação do terceiro corpo.

A partir dos resultados obtidos é possível propor um mecanismo de desgaste dos materiais em que o fator de maior importância está ligado ao comportamento plástico dos materiais. Neste aspecto, é fácil imaginar que a liga Ni-Co seja mais frágil que o Ni puro devido a sua maior dureza e, portanto, as protuberâncias superficiais seriam mais facilmente fraturadas que aquelas da superfície do Ni puro. Dito de outro modo, no caso do Ni puro, boa parte do trabalho mecânico é gasto na deformação das protuberâncias, enquanto que na liga Ni-Co este trabalho é usado para fraturar as protuberâncias, com conseqüente aumento na perda de massa. Outros fatores podem ter influenciado de maneira importante os resultados obtidos, em particular no caso da liga Ni-Co, onde a incorporação dos “debris” (relativamente duros) à suspensão abrasiva pode ter intensificado a ação como terceiro corpo no processo de desgaste.

#### Agradecimentos

UFOP – Universidade Federal de Ouro Preto.

IFES – Instituto Federal do Espírito Santo.

VOEST ALPINE INDÚSTRIA LTDA.



## REFERÊNCIAS

- 1 CARVALHO, J. L. R. – Lingotamento Contínuo de Placas de Aço, ABM, 1988.
- 2 NEALE, M. J. O Manual de Tribology 2ª. Edição. Ed. Butterworth Heinemann P. D18.1, 1995.
- 3 DEUIS, R. L., SUBRAMANIAN, C., YELLUP, J. M., “Abrasive wear of aluminium composites – a review”, Wear abrasiva, nº 201, p.132-144, 1996.
- 4 ADACHI, K., Hutchings, I. M. Sensitivity of wear rates in the micro-scale abrasion test to test conditions and material hardness. Wear, 2005.
- 5 HUTCHINGS, I. M. Tribology-Friction and wear of engineering materials. 7 edition. London; Edward Arnold; 1992.
- 6 MONDAL, D. P., DAS, S. JHA, A. K., YEGNESWARAN, A. H., “Abrasive wear of Al alloy- $Al_2O_3$  particle composite: a study on the combined effect of load and size of abrasive” , Wear abrasiva, nº 223, p. 131-138, 1998.