

ENSAIO DE DESGASTE ABRASIVO EM LIGA PARA REVESTIMENTO DURO  
CONTENDO NIÓBIO

Paulo Roberto Zampieri <sup>1</sup>

Ana Maria Martinez Nazar <sup>2</sup>

Ettore Bresciani Filho <sup>3</sup>

RESUMO

Uma liga de revestimento duro à base de ferro foi submetida a ensaios de abrasão por riscamento, através de equipamento e metodologia especificamente desenvolvidos. Sua composição inclui nióbio e cromo como elementos de liga, além de outros. Outra liga à base de ferro é contendo apenas cromo foi ensaiada como referência. As suas microestruturas constituíram-se de uma dispersão de carbonetos complexos de cromo e ferro em matriz ferrítico-austenítica e mais carbonetos de nióbio na liga em questão. A liga com nióbio mostrou-se mais resistente à abrasão nas condições dos ensaios, tendo sido a ocorrência de carbonetos deste elemento determinante para tal comportamento. O método e equipamento utilizados mostraram-se satisfatórios na discriminação de diferentes materiais quanto à sua resistência à abrasão.

---

1-Membro da ABM, Engenheiro Mecânico, M.Sc., Professor Assistente no Departamento de Engenharia de Materiais(DEMA) da FEC-UNICAMP.

2-Membro da ABM, Engenheira Metalúrgica, Doutora em Engenharia, Professora no DEMA-FEC-UNICAMP.

3-Membro da ABM, Engenheiro Aeronáutico, Livre Docente em Engenharia, Professor Titular e Chefe do DEMA-FEC-UNICAMP.

## 1. INTRODUÇÃO

O desgaste pode ser definido como um fenômeno que ocorre na superfície de um material, através do qual verifica-se uma deformação plástica e/ou remoção de fragmentos, sendo ambos os processos tidos como indesejáveis.<sup>(1)</sup> Esta definição, que caracteriza o desgaste como uma forma de danificação superficial, é bastante ampla e engloba fenômenos diversos, tais como a corrosão e a fadiga. Uma restrição particularmente aplicável a superfícies metálicas seria a de limitar-se aos danos causados pela aplicação direta ou indireta de esforços às mesmas. Em geral, isto ocorre concomitantemente com o movimento relativo entre a superfície considerada e um ou mais materiais em contato com ela.<sup>(2)</sup> Os vários mecanismos distintos de desgaste são identificados através da atuação de processos específicos a cada um deles, como a adesão, deformação e corte. O presente trabalho restringir-se-á ao mecanismo de desgaste abrasivo, que responde por 50% dos casos identificados em situações práticas.<sup>(3)</sup>

Abrasão é o mecanismo de desgaste em que partículas ou protuberâncias duras são forçadas contra uma superfície em relação à qual estão em movimento, causando deslocamento e/ou remoção de material.<sup>(4)</sup> A dureza nesta definição deve ser encarada em seu aspecto relativo, sendo que a dureza do abrasivo deve ser suficientemente mais elevada do que a do material desgastado.

Uma das formas mais difundidas de proteção contra o desgaste de superfícies de componentes mecânicos, especialmente quando sujeitos à agressão por minerais abrasivos, é a aplicação de camadas de materiais mais resistentes através de processos de soldagem ou de metalização, chamados de revestimentos duros. O objetivo deste trabalho foi o de avaliar a resistência ao desgaste de uma liga para revestimento duro à base de ferro, aplicada por soldagem a arco elétrico, e cuja principal característica é a de conter nióbio em sua composição. Para tanto foram desenvolvidos um equipamento e uma metodologia de ensaio de desgaste abrasivo específicos. Procurou-se por fim correlacionar a microestrutura do material com os resultados obtidos nos ensaios de desgaste.

## 2. MATERIAIS ENSAIADOS

Além de uma liga ferrosa contendo nióbio e outros elementos de liga, foram ensaiados dois outros materiais. Um deles constitui-se de outra liga à base de ferro para revestimento duro, onde o cromo vem a ser a principal adição, e foi utilizada como material de referência com composição menos complexa do que aquele com nióbio. Paralelamente empregou-se aço ABNT 1020 como referência para um material de resistência à abrasão consideravelmente inferior à dos revestimentos duros. Ambas as ligas dos revestimentos são produzidas na forma de eletrodos com núcleo de aço-carbono, revestidos com material que inclui os elementos de liga em sua composição. Os corpos de prova para os ensaios de desgaste consistiram de cilindros de aço ABNT 1020 retirados de barras laminadas, que tiveram uma de suas bases revestidas por soldagem a arco de corrente contínua, valendo-se dos eletrodos já citados e com polaridade positiva aplicada a eles. O revestimento é resultante da fusão e posterior solidificação do eletrodo. Para atenuar-se ao máximo o efeito de diluição da liga pelo material de base, foram aplicadas três camadas em sucessão, sendo a terceira camada mais externa o objeto desta investigação. Após deposição os corpos de prova foram usinados em retificadoras plana e cilíndrica, ficando com 25 mm de altura e 40mm de diâmetro, e podem ser vistos na figura 1. Os corpos de aço sem revestimento foram torneados até estas mesmas dimensões e tiveram a superfície da base a ser ensaiada também retificada.

A composição da terceira camada dos revestimentos é dada na tabela I, tendo sido determinada por dispersão de energia de raios X. Não sendo possível identificar o teor de carbono por este método analítico, é acrescentada a composição fornecida pelo fabricante.

A caracterização microestrutural foi feita com o auxílio de microscopia ótica, difração de raios X e análise de distribuição de elementos nas distintas fases por microsonda eletrônica com dispersão de energia de raios X, métodos estes sempre aplicados à terceira camada. A figura 2 mostra um aspecto da liga A (sem nióbio), que constitui-se de uma matriz ferrítica mais austenita em menor proporção, uma fina dispersão de carbonetos  $(Cr, Fe)_7C_3$  e carbonetos hexagonais e aciculares da mesma composição e tamanho comparativamente maior.

Na figura 3 tem-se a microestrutura da liga B (com nióbio), apresentando as mesmas fases presentes na liga A e mais carbonetos de nióbio NbC de formato poligonal irregular, dispersos de maneira aproximadamente regular por todo o material. As figuras 4 a 8 mostram a distribuição dos diversos elementos nas diferentes fases presentes. Ambos os revestimentos estudados são classificados como ferros fundidos brancos com alto teor de cromo<sup>(5)</sup>, sendo a liga B uma variação devido aos demais elementos presentes<sup>(6)</sup>. A liga A é indicada para aplicações sob abrasão severa e a liga B para condições de desgaste ainda mais rigorosas e também sob temperaturas relativamente elevadas.

O revestimento com a liga A apresentou dureza média de 58 HRC e o com a liga B, 65 HRC. As medidas de microdureza das diversas fases são apresentadas na tabela III, sendo que os microconstituintes comuns a ambos os revestimentos tiveram valores dentro de uma mesma faixa independentemente do material considerado. Devido às pequenas dimensões dos carbonetos  $M_7C_3$  dispersos na matriz, não foi possível determinar sua microdureza isoladamente, tendo-se procedido a uma medição da mesma em uma área constituída de matriz mais a dispersão.

MICROCONSTITUÍNTES	MICRODUREZA (HV)
Dispersão de carbonetos $(Cr, Fe)_7C_3$ na matriz	600-1000
Carbonetos hexagonais ou aciculares $(Cr, Fe)_7C_3$	1100-1500
Carbonetos de nióbio NbC	2300-2500

TABELA III- Medidas de microdureza das fases.

### 3. ENSAIOS DE DESGASTE

Os ensaios de desgaste ainda não foram convenientemente padronizados<sup>(7)</sup>, e centenas de dispositivos têm sido descritos. Em face disso, é difícil comparar-se os dados obtidos em diferentes investigações, mas por outro lado tem-se a possibilidade de desenvolver-se métodos e equipamentos os mais convenientes para os objetivos pretendidos e em função dos recursos disponíveis. A metodologia aqui empregada procurou submeter os corpos de prova a um tipo de abrasão chamada riscamento, em que a tensão atuante entre o abrasivo e o material é relativamente pequena, sendo que não ocorre fracionamento apreciável do abrasivo e sua ação sobre a amostra é eminentemente cortante. É importante ressaltar que não houve a intenção de reproduzir-se condições reais de trabalho e portanto os resultados obtidos não podem ser extrapolados diretamente para este âmbito. A finalidade deste estudo é o de analisar o comportamento de distintos materiais sob a ação de um mecanismo de desgaste bem definido e procurar correlacionar os resultados com seus aspectos microestruturais.

O equipamento utilizado foi adaptado a partir de uma lixadeira de correia e é mostrado na figura 9. Os corpos de prova são fixados na máquina de ensaio e a lixa (abrasivo) desliza em relação a ele. A força de contato entre a superfície desgastada e a lixa pode ser variada alterando-se as massas de carregamento. A determinação do desgaste ocorrido foi feita pela medida da variação de massa do corpo de prova após o ensaio.

### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os ensaios foram realizados aplicando-se uma força de compressão de 29,4 N nos corpos de prova e com uma velocidade de deslizamento do abrasivo de 6,2 m/s. Para cada material foram ensaiados três corpos de prova, sendo a variação de massa de cada um deles dada na tabela IV, e para duas distâncias totais de deslizamento distintas. Uma vez que a liga B não apresentou variação de massa determinável sob estas condições, procedeu-se a um ensaio apenas com este revestimento, sob a mesma velocidade de deslizamento, com distância total de 5000 m, mas com carregamento de 49,0 N, não tendo-se

VARIAÇÃO DE MASSA ( $10^{-3}$ kg) (resultados de 3 ensaios)				
LIGA	DESLIZAMENTO DE 2500 m		DESLIZAMENTO DE 5000 m	
A	1,5	MÉDIA 1,3	1,9	MÉDIA 2,1
	1,0		2,3	
	1,3		2,1	
B	0,0	MÉDIA 0,0	0,0	MÉDIA 0,0
	0,0		0,0	
	0,0		0,0	
AÇO 1020	8,2	MÉDIA 10,2	17,5	MÉDIA 18,3
	13,1		20,2	
	9,3		17,2	

TABELA IV- Resultados dos ensaios de desgaste.

ainda assim observado variação mensurável. Em todos os ensaios utilizou-se lixas de óxido de alumínio, cuja dureza é de cerca de 1900 HV. A granulometria utilizada foi de 80 mesh.

A figura 10 mostra uma imagem obtida por microscopia eletrônica de varredura (MEV) da superfície desgastada da liga A sob as condições mais brandas dos ensaios efetuados. Verifica-se que estão presentes apenas os sulcos causados pelo abrasivo. Já a imagem da liga B, vista com aumento bem menor (figura 11), mostra a persistência dos sulcos de retificação, a quase ausência de sulcos de desgaste e uma região apreciavelmente polida, aspectos estes resultantes das mesmas condições de severidade. Finalmente tem-se na figura 12 uma visão com maior aumento da região polida acima referida, onde verifica-se que houve um desgaste mais pronunciado da matriz, ficando os carbonetos de nióbio evidenciados. A composição destes pode ser atestada pela imagem de emissão de raios X característicos do nióbio da mesma região (figura 13).

Os resultados apresentados evidenciaram a maior resistência da liga contendo carbonetos de nióbio. Nas condições dos ensaios, ela não acusou perda de material através das medidas efetuadas, embora isso tenha ocorrido, uma vez que fragmentos removidos por abra

são puderam ser coletados. A comparação entre as superfícies desgastadas das duas ligas mostrou que houve uma menor penetração do abrasivo na liga B, podendo-se correlacionar este fato com o menor desgaste sofrido.

A resistência à abrasão de revestimentos duros tem sido associada à presença de carbonetos metálicos que, devido à sua relativa dureza, resistem à penetração do abrasivo<sup>(8)</sup>. Estes carbonetos devem possuir dimensões relativamente grandes e estarem uniformemente distribuídos na matriz<sup>(9)</sup>, características identificadas nos carbonetos de nióbio em questão. O fato dos mesmos ficarem em destaque na superfície desgastada demonstra, de fato, que eles resistem mais à penetração do que a combinação da matriz ferrítico-austenítica mais carbonetos  $M_7C_3$ . Esta constatação também está de acordo com o fato da dureza do abrasivo empregado situar-se entre as dos carbonetos  $M_7C_3$  e NbC. Popov e Nagorny<sup>(10)</sup> igualmente verificaram a influência favorável do NbC na resistência à abrasão de ligas que os possuem.

Deve-se salientar, finalizando, que a importância dos demais elementos que distinguem as ligas A e B, além do nióbio, somente poderia ser analisada através de ensaios que incluíssem aspectos como impacto e temperaturas elevadas, e em comparação com ligas contendo nióbio menos complexas.

## 5. CONCLUSÕES

O equipamento e a metodologia de ensaios desenvolvidos foram eficazes em discriminar diferentes materiais quanto à sua resistência a um mecanismo específico de desgaste. Dentro das condições dos ensaios, a liga contendo carbonetos de nióbio mostrou-se mais resistente, podendo estes dois fatores serem correlacionados.

## REFERÊNCIAS

- 1-Wear Resistance, em Metals Handbook, v.1, 9ª edição, American Society for Metals, Metals Park, Ohio, EUA, 1978, p.597.
- 2-Tribology Handbook, Butterworths, Londres, 1973, p.F6.
- 3-EYRE, T.S., Source Book on Wear Control Technology, American Society for Metals, Metals Park, Ohio, EUA, 1978, p.1-17.
- 4-Standard Terminology Relating to Erosion and Wear-ASTM G40-77, em Annual Book of ASTM Standards, part 10, ASTM, 1981, p.981-987.

- 5-AVERY, H.S., CHAPIN, H.J., The Welding Journal, outubro 1952, p.917-930.
- 6-DUMON, P. et alii, Soudage et Techniques Connexes, maio/junho, p.169-182.
- 7-Idem 1, p.599.
- 8-FARMER, H.N., Metals Engineering Quarterly, novembro 1975, p.33-38.
- 9-KOSEL, T.H., FIORE, N.F., Journal of Materials for Energy Systems, setembro 1981, p.7-27.
- 10-POPOV, V.S., NAGORNYI, P.; L., Russian Casting Production, 1969(8), p.337.

#### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à UTP Brasileira de Soldas Ltda. pelo fornecimento dos corpos de prova e à Companhia Brasileira de Metalurgia e Mineração pelo financiamento desta pesquisa.

#### ABSTRACT

An iron-based hard-facing alloy was submitted to abrasive wear testing, by means of specifically developed apparatus and methodology. Niobium and chromium were among other alloying elements. Another iron-based hard-facing alloy and including only chromium was employed as a reference material. Both microstructures showed iron and chromium complex carbides dispersed into a ferritic-austenitic matrix and niobium carbides where applied. The niobium containing alloy showed to be more wear resistant under the testing conditions, and the presence of niobium carbides were an essential feature for such performance. The equipment and methodology employed were successful in discriminating dissimilar materials in regard of its abrasive wear resistance.

LIGA	ELEMENTOS (% em peso)								
	Fe	C	Cr	Nb	Mo	W	V	Mn	Si
A	Bal.	Não detectado	24,82					2,50	1,65
B	Bal.	Não detectado	17,13	7,82	5,10	1,38	1,16	0,25	1,15

TABELA I- Análises químicas das ligas A e B efetuadas por dispersão de energia de raios X.

LIGA	ELEMENTOS (% em peso)								
	Fe	C	Cr	Nb	Mo	W	V	Mn	Si
A	Bal.	3,00	26,8					1,57	1,70
B	Bal.	3,20	15,20	7,30	7,20	1,50	0,90	0,27	2,20

TABELA II- Análises químicas das ligas A e B fornecidas pelo fabricante.

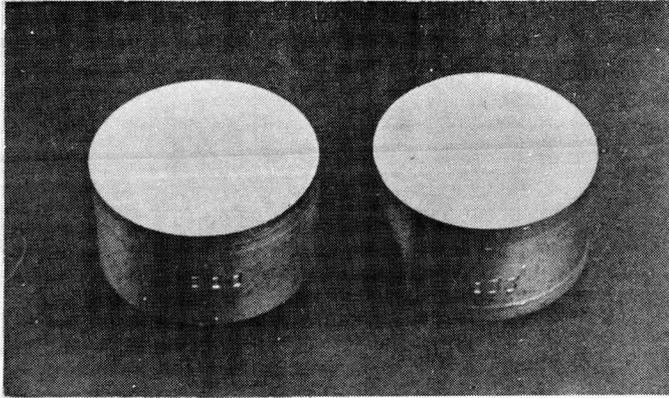


FIGURA 1- Corpos de prova.

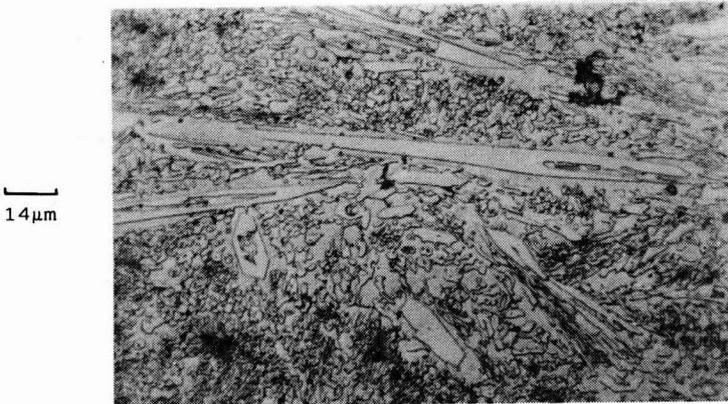


FIGURA 2- Micrografia da liga A. Ataque: Vilella.

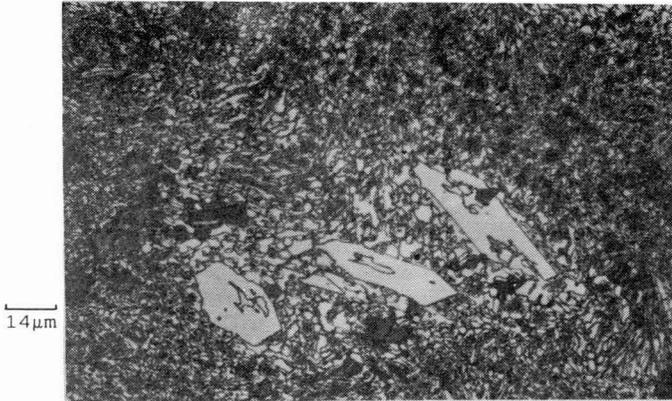


FIGURA 3- Micrografia da liga B. Ataque: Vilella e solução saturada de  $\text{KMnO}_4$  em  $\text{NaOH}$  4%. Os carbonetos de nióbio são as fases globulares mais escuras.

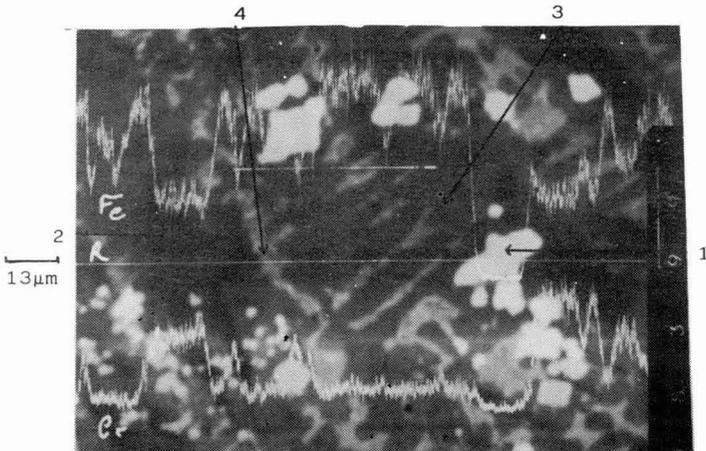


FIGURA 4- Distribuição de Fe e Cr na liga B ao longo da linha R.

- 1-NbC      2- $(\text{Cr,Fe})_7\text{C}_3$   
 3-Matriz com maior densidade de carbonetos  $\text{M}_7\text{C}_3$  diminutos  
 4-Matriz com menor densidade de carbonetos  $\text{M}_7\text{C}_3$  diminutos

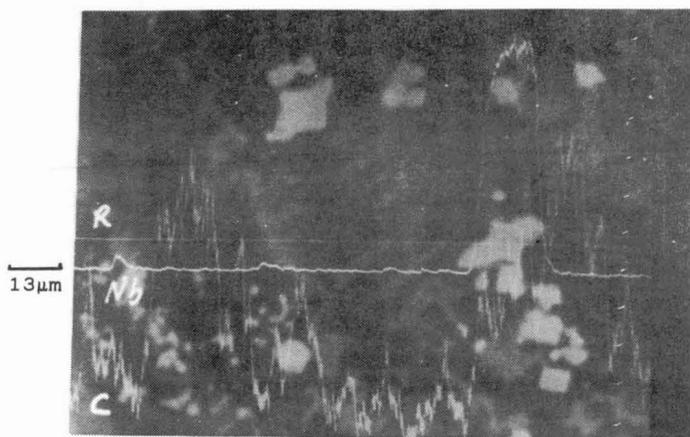


FIGURA 5- Idem FIGURA 4 para Nb e C.

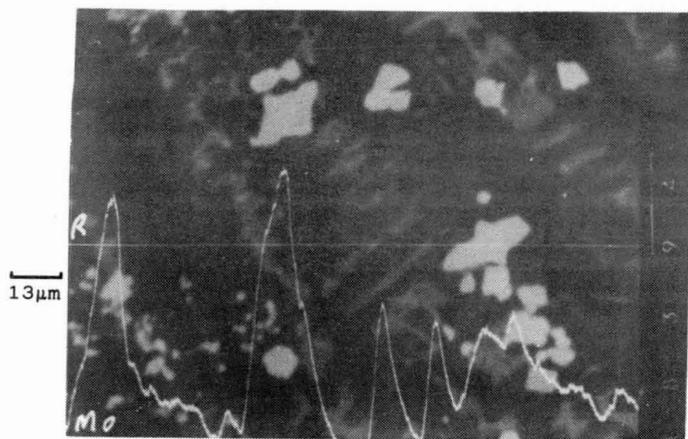


FIGURA 6- Idem FIGURA 4 para Mo.

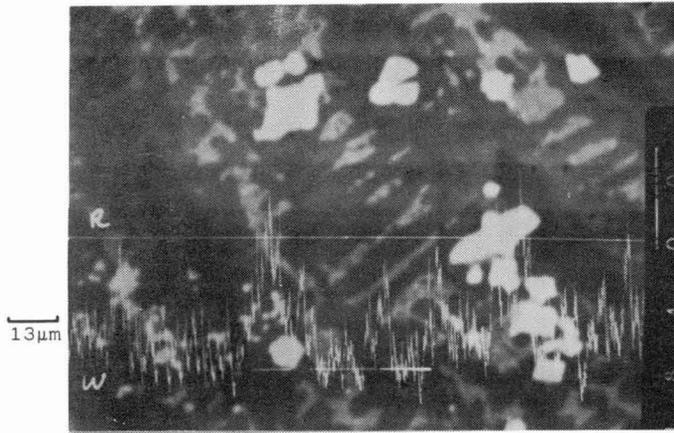


FIGURA 7- Idem FIGURA 4 para W.

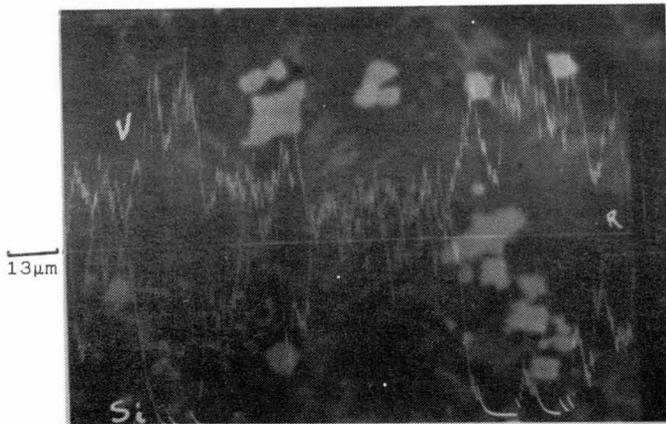


FIGURA 8- Idem FIGURA 4 para Si e V.

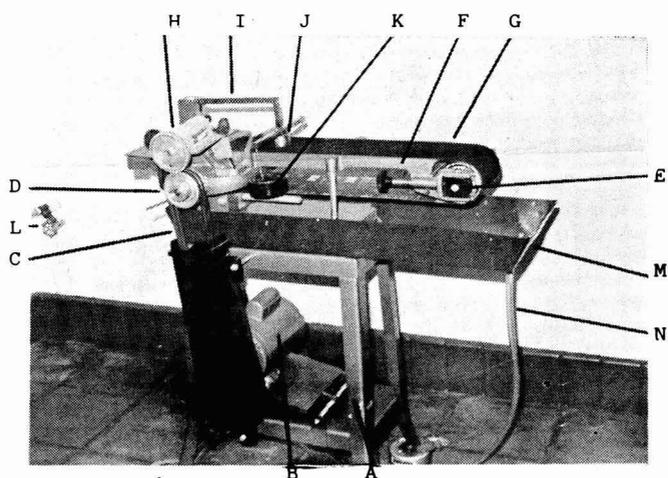


FIGURA 9- Máquina de ensaios de desgaste.  
 A-Suporte  
 B-Motor  
 C-Correia  
 D-Polia  
 E-Tensor  
 F-Mesa  
 G-Lixa  
 H-Hodômetro  
 I-Fixação do corpo de prova  
 J-Corpo de prova  
 K-Massa  
 L-Tomada de água  
 M-Bardeja  
 N-Escadouro

13µm

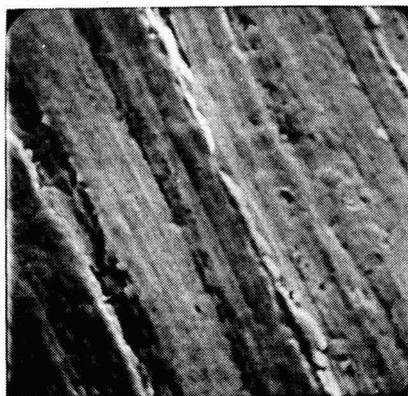


FIGURA 10- Superfície desgastada da liga A.

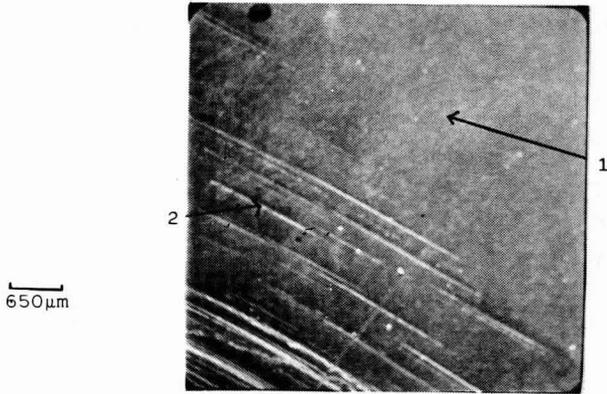


FIGURA 11- Superfície desgastada da liga B.  
1-Região polida 2-Sulcos de retificação

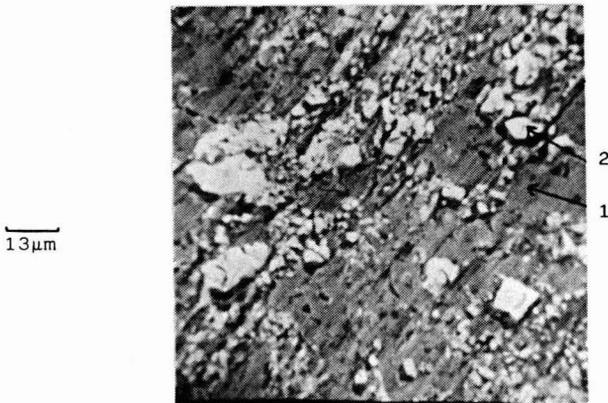


FIGURA 12- Região polida na superfície desgastada  
da liga B.  
1-Matriz 2-NbC

13μm

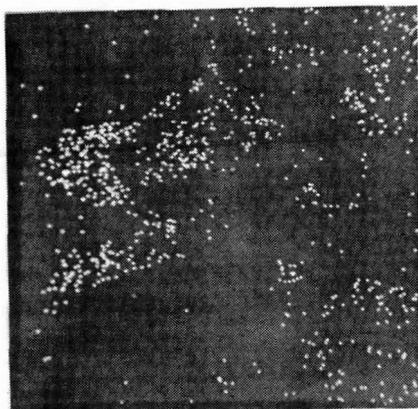


FIGURA 13- Imagem da região da FIGURA 12 por emissão de raios X característicos do nióbio.