

# ANÁLISE DE FALHA DE MALHAS DE PENEIRA VIBRATÓRIA PARA CLASSIFICAÇÃO DE PELOTAS DE MINÉRIO DE FERRO <sup>1</sup>

Marcelo Tadeu Milan <sup>2</sup>  
Omar Maluf <sup>3</sup>  
José Ricardo Tarpani <sup>4</sup>  
Claudio Finamore Ferraz <sup>5</sup>  
Jair Valfre <sup>6</sup>

## Resumo

Malhas de peneira vibratória utilizadas na classificação de pelotas queimadas de minério de ferro apresentaram forte desgaste superficial, alargando excessivamente as aberturas da rede metálica. A dureza do aço empregado estava muito abaixo da das partículas de minério de ferro. O espaçamento entre as partículas de carbonetos da microestrutura do aço era suficientemente grande para permitir que as partículas de minério sulcassem e riscassem a matriz austenítica dúctil. Comparando seu desempenho com o de malhas revestidas com metal duro, concluiu-se que o uso de um metal de base com maior dureza, com precipitados finamente dispersos na matriz, e/ou um recobrimento adequado podem solucionar os problemas em serviço.

**Palavras-chave:** Aço inoxidável; Análise de falha; Desgaste; Revestimento.

## FAILURE ANALYSIS OF VIBRATORY SIEVE SEPARATORS EMPLOYED IN IRON ORE PELLET CLASSIFICATION

## Abstract

Vibratory sieve separators employed in sintered iron ore pellet classification presented severe surface wear, with excessive widening of the sieve gaps. Hardness of the employed stainless steel was well below of the typical hardness values of iron ores. It was concluded that carbide interparticles spacing within the matrix was large enough to allow scratching and plowing of the austenite matrix by the iron ore particles. Comparing the in-service performance of the stainless steel sieves with hard metal coated sieves, it was concluded that the use of a harder base material, with finely dispersed precipitates in the matrix, and/or employing an adequate coating may solve the problem.

**Key words:** Coating; Failure analysis; Stainless steel; 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> PhD em Engenharia, Diretor Superintendente MIB - Materials Institute of Brazil, \*[milan@mib.eng.br](mailto:milan@mib.eng.br)

<sup>3</sup> Doutor em Engenharia, Diretor Executivo MIB - Materials Institute of Brazil

<sup>4</sup> Professor do Depto de Engenharia de Materiais, Aeronáutica e Automobilística, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo (SMM-EESC-USP), Brasil

<sup>5</sup> Engenheiro Mecânico Especialista em Materiais do Depto de Engenharia de Materiais da CVRD em Vitória-ES

<sup>6</sup> Engenheiro Mecânico do Depto de Engenharia de Materiais da CVRD em Vitória-ES

## 1 INTRODUÇÃO

Um esquemático de parte de um forno de pelletização de minério de ferro e ilustrado na Figura 1. Basicamente, uma correia sem fim, composta por vários carros, conduz pelotas através do forno. No fundo de cada carro há um arranjo de barras de grelha confeccionadas com aço inoxidável que suportam as pelotas e ao mesmo tempo permitem que gases circulem no leito de pelotas. Enquanto as cargas de pelotas atravessam o forno elas são sujeitas a um ciclo completo composto pelas etapas de secagem, aquecimento, queima e resfriamento, quando temperaturas tão altas quanto 1200°C podem ser alcançadas em determinadas partes do sistema. A função básica das malhas de peneira vibratória e efetuar a classificação das pelotas de minério de ferro de acordo com o seu tamanho, após a etapa de queima durante o processo de pelletização. As malhas classificadoras se localizam ao final do circuito ilustrado na Figura 1 (destaque no círculo azul), quando as pelotas já estão queimadas.

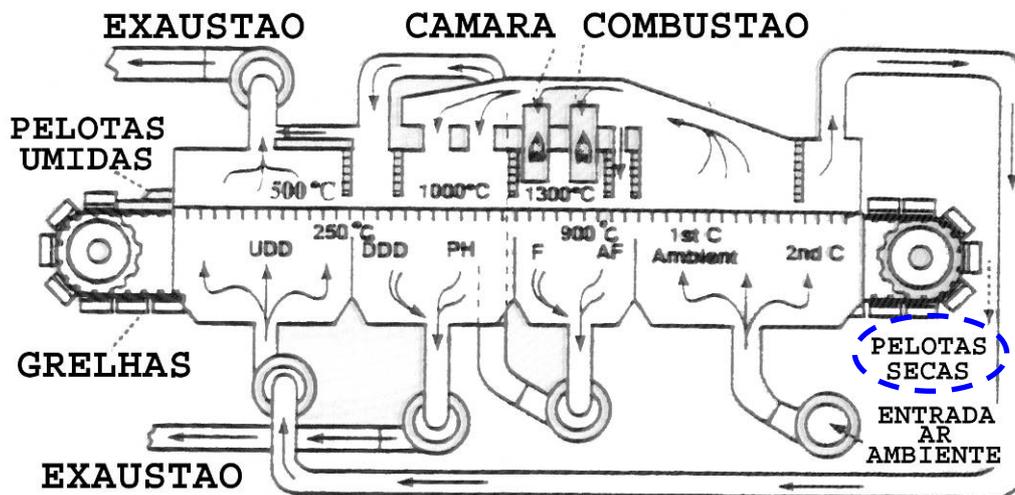


Figura 1 – Esquemática simplificada de um forno de pelletização.

No presente trabalho, objetiva-se determinar os mecanismos de falha em malhas de peneira vibratória que se degradaram rapidamente em serviço, se tornando inoperantes.

Duas amostras de malha de peneira foram analisadas, sendo uma fundida e a outra revestida, conforme vistas na Figura 2.

As malhas operam sob vibração, e as pelotas já queimadas caem sobre as mesmas de uma altura inferior a 0,5 m.

A falha do componente sem revestimento ocorre por desgaste [1,2], provocando o alargamento das aberturas da malha e inviabilizando o processo de classificação das pelotas.

## 2 EXPERIMENTAL

Foram realizados os seguintes procedimentos:

- Análise química (espectrometria de emissão óptica e microsonda EDX);
- Análise visual;
- Análise por microscopias óptica e eletrônica de varredura (MEV);
- Macroduresas Brinell e Rockwell



**Figura 2** - Amostras de malha de peneira revestida (acima) e fundida (abaixo). A composição química aproximada do revestimento é, em termos de percentual em massa: 5,2% C, 26% Cr, 7% Nb e 2% B.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Análise Química

A análise química apresentada na Tabela 1 indica que o material da malha da peneira fundida se encontra fora das especificações para um aço ASTM A297-HH modificado, visto que os teores de Cr, Mo e W se apresentam abaixo dos valores mínimos estabelecidos.

Ainda de acordo com a Tabela 1, o material base da malha da peneira revestida encontra-se dentro dos valores especificados para um aço ASTM A36.

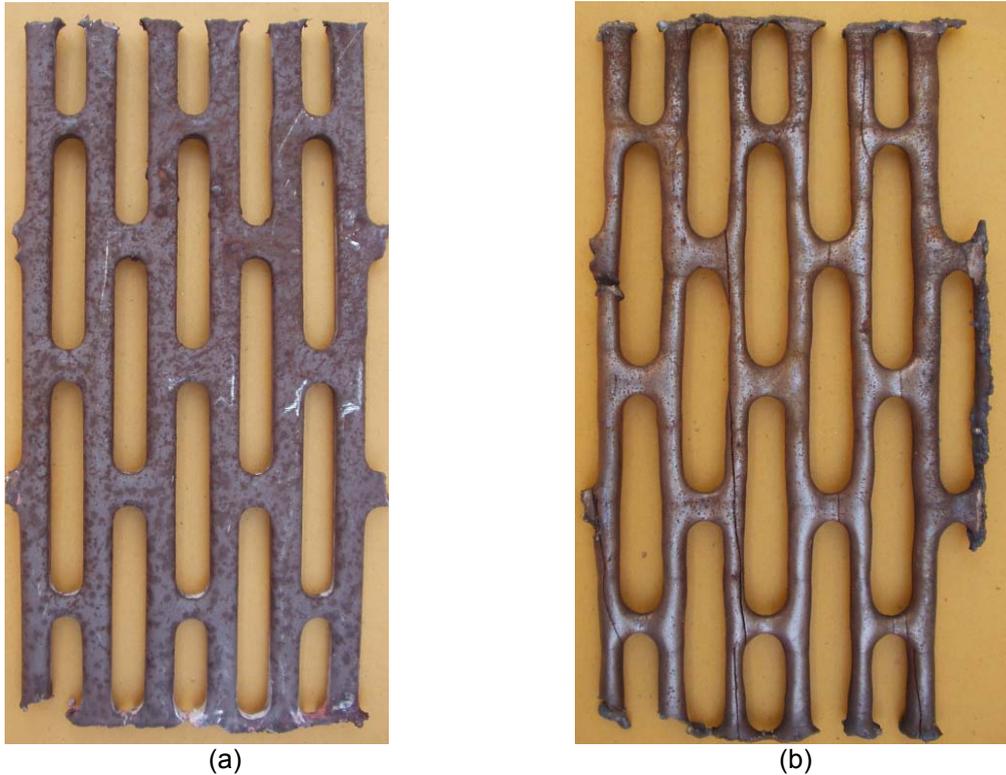
**Tabela 1:** Análise química por espectrométrica de emissão óptica.

Malha	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	W
Fundida	0,34	1,71	0,58	0,03	0,02	19,6	10,3	0,25	0,05
A297-HH mod.	0,20-0,50	2,0 máx	2,0 máx	0,04 máx	0,04 máx	24,0-27,0	9,0-12,0	0,30-0,50	1,0-1,5
Revestida	0,17	0,21	0,72	0,01	0,01	0,02	0,02	-	-
A-36	0,25 máx	0,40 máx	-	0,04 máx	0,05 máx	-	-	-	-

#### 3.2 Análise Visual

As malhas de peneira recebidas para análise mostram um alargamento da abertura para classificação de pelotas (Figura 3). Outro efeito do processo de desgaste abrasivo a dois corpos (par metal-partícula) é o arredondamento da quina das aberturas da malha. A alteração dimensional medida foi maior para a malha de peneira revestida (Figura 3b) do que para a malha de peneira simplesmente fundida (Figura 3a). Como não foi informado o tempo de operação de cada uma das amostras enviadas para análise, não é possível, em princípio, afirmar qual material apresentou maior resistência ao desgaste. Porém, foi confirmado pelo interessado

que a vida média dos componentes revestidos é mais que o triplo da dos fundidos, fazendo crer, portanto, que a amostra revestida operou por um tempo significativamente maior a ponto de apresentar variações dimensionais mais nítidas.



**Figura 3** - Vista de topo das amostras extraídas das malhas de peneira simplesmente fundida (a), e revestida (b).

Exceto por pequenos defeitos de fundição, a análise por líquido penetrante da malha fundida apresentada na Figura 2a não revelou a presença de trincas na superfície e, portanto, o desgaste abrasivo a dois corpos é provavelmente o único mecanismo de dano atuando no componente.

### 3.3 Dureza

Medidas de dureza Brinell com carga de 187,5 kg e esfera de 2,5 mm foram realizadas em amostras metalográficas correspondentes a um plano de desgaste da peça fundida e do metal base da malha revestida. Dureza Rockwell-C foi realizada sobre a amostra revestida. Os resultados estão nas Tabelas 2 e 3, respectivamente. Observa-se que os valores de dureza da malha de peneira fundida encontram-se bem abaixo da mínima dureza exibida por partículas de minério de ferro, da ordem de 400 HB. Para a malha de peneira revestida, os valores de dureza do material base são significativamente menores do que os do revestimento. O material do revestimento possui dureza correspondente ao limite superior da faixa encontrada para os minérios de ferro (valor estimado em 600 HB por intermédio de conversão dos valores originais obtidos via Rockwell-C), e, portanto, certamente apresenta maior resistência ao desgaste do que o material simplesmente fundido.

**Tabela 2** - Medidas de dureza Brinell efetuadas na malha de peneira fundida.

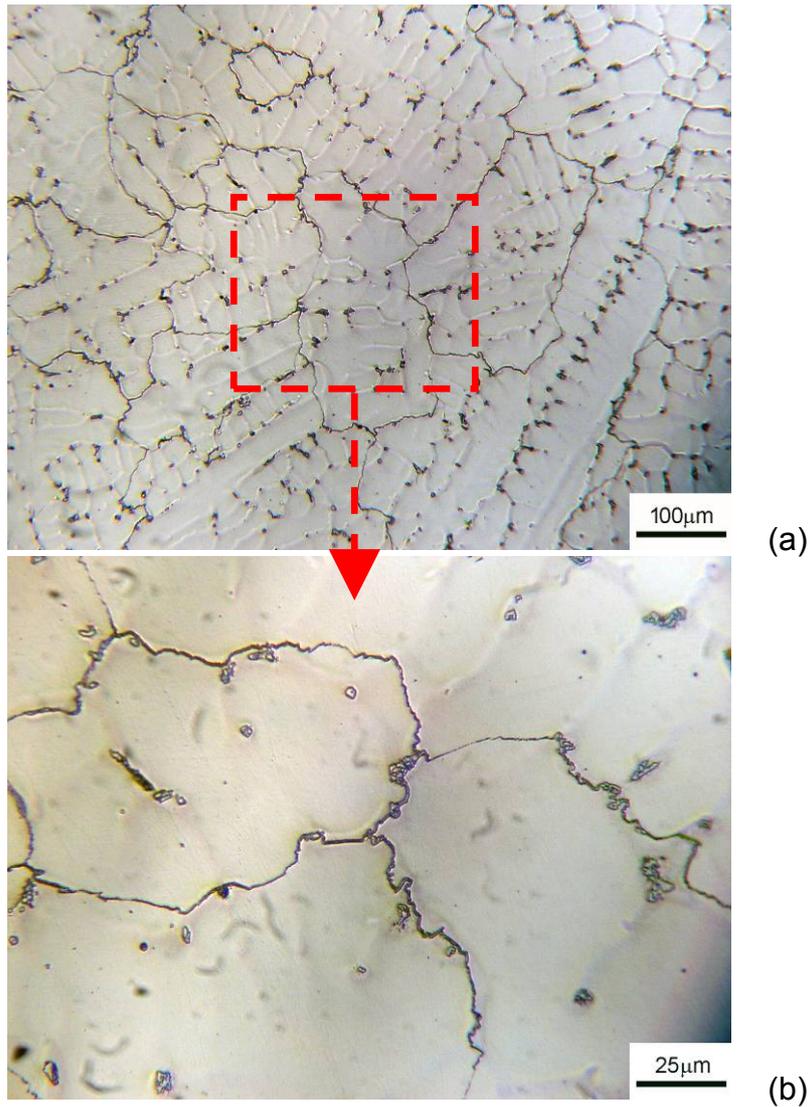
Dureza HB					Média
215	229	215	229	229	223

**Tabela 3** - Medidas de dureza efetuadas na malha de peneira revestida.

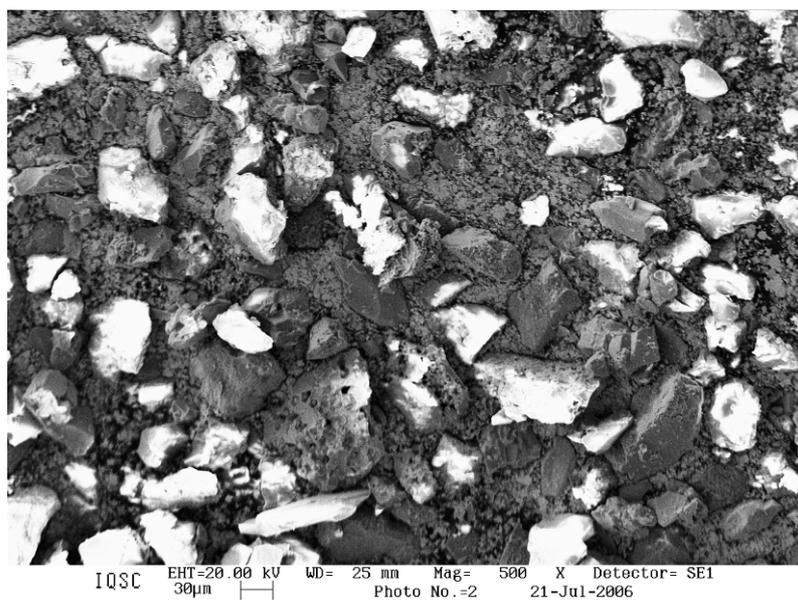
	Dureza					Média
	1	2	3	4	5	
Material Base (Brinell)	180	195	207	193	195	194
Revestimento (Rockwell-C)	58	59	59	58	58	58

### 3.4 Microscopia Óptica

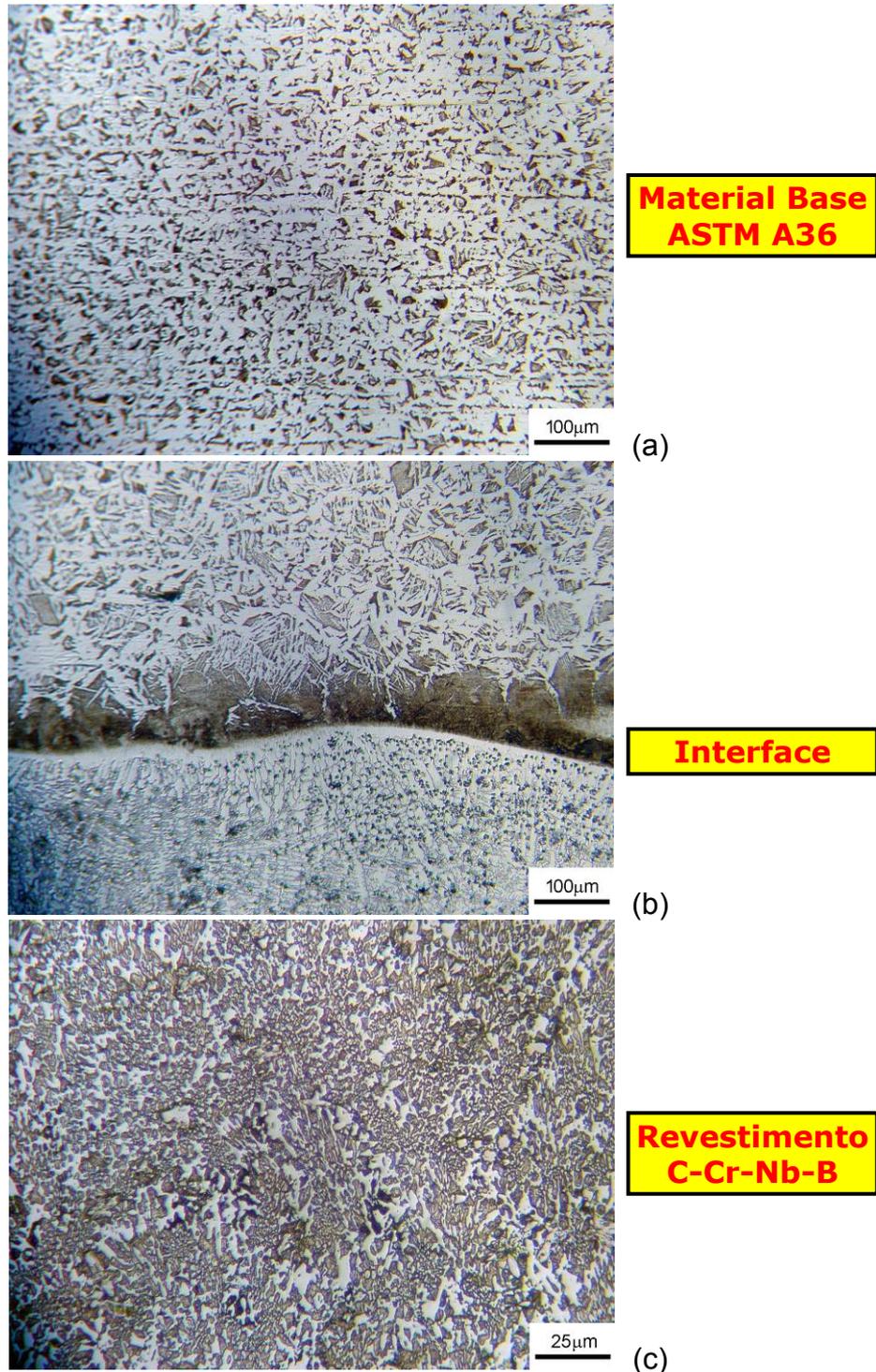
A análise metalográfica da malha de peneira fundida (Figura 4) revelou a presença de uma microestrutura de matriz austenítica com uma rede de carbonetos precipitados em contornos de grão (regiões interdendríticas). Apesar da malha de peneira não ter uma função essencialmente estrutural, é importante ressaltar que essa rede de carbonetos, e em especial para as maiores partículas, fragiliza o material por meio da criação de um meio propício à propagação de eventuais trincas originalmente presentes no componente, ou geradas durante a operação em serviço. Conforme mostra a Figura 5, as partículas de minério presentes nas pelotas podem ser tão pequenas quanto 5  $\mu\text{m}$ , e, portanto possuem espaço mais do que suficiente para “sulcar” a matriz austenítica por entre as partículas de carboneto, cujos espaçamentos podem chegar aos 100  $\mu\text{m}$  (Figura 4b). Uma distribuição mais homogênea de carbonetos de tamanhos menores, além de minimizar o problema de fragilização, reduz o espaçamento interpartículas, o que pode, em princípio, promover um aumento da resistência ao desgaste respectivamente pelo aumento da macrodureza média e pela diminuição do caminho livre médio encontrado pelas partículas abrasivas na matriz austenítica do material que constitui a grelha. Por outro lado, a análise micrográfica da malha de peneira revestida (Figura 6) revelou uma fina distribuição de carbonetos na região de revestimento por solda dura, com espaçamentos máximos interpartículas de cerca de 5  $\mu\text{m}$ . Portanto, neste caso, além de se ter uma alta densidade de partículas extremamente duras, o caminho livre médio entre elas é extremamente reduzido dificultando o sulcamento e riscamento da superfície da grelha pela ação abrasiva das partículas de minério.



**Figura 4** - (a) Vista geral da microestrutura da malha de peneira fundida; (b) Detalhe dos contornos de grão. Ataque: Reagente de Vilella.



**Figura 5** - Partículas de minério de ferro obtidas de pelotas, observadas no MEV.

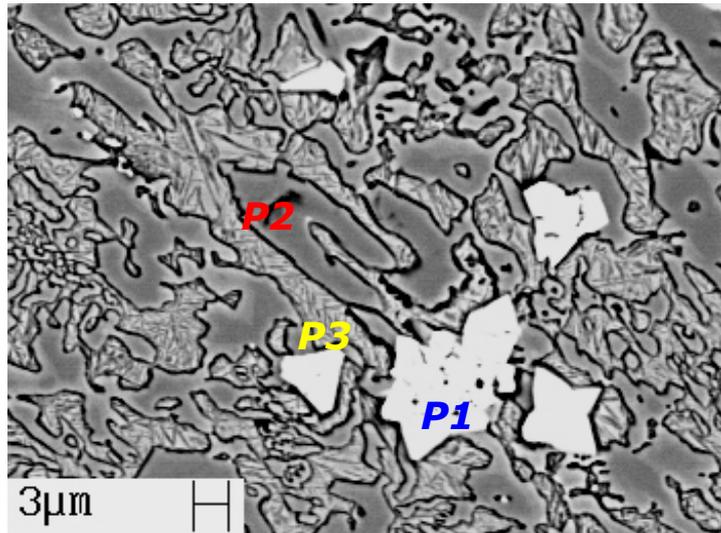


**Figura 6** - (a,b,c) Microestruturas típicas das três regiões exibidas pela malha de peneira revestida. Ataques: Nital 1% (metal base), e Vilella (revestimento).

### 3.5 Análise por MEV e EDX

A análise por EDX das partículas de segunda fase observadas na Figura 6c, mostrada em ampliação na Figura 7, indicou a presença de carbonetos de cromo e nióbio, conforme mostra a Tabela 4. Merece ser ressaltado que, embora certamente presente no revestimento, o boro (na forma de boretos) não pode ser identificado pela microsonda devido ao seu baixo peso atômico. Na matriz, não foi detectada a

presença do nióbio, significando que este elemento está totalmente combinado com o carbono na forma de carbonetos.



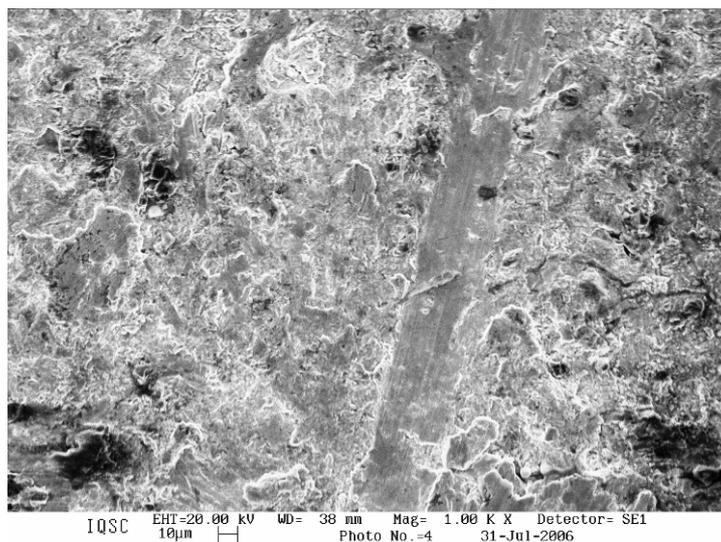
**Figura 7:** Pontos analisados por EDX no revestimento de solda depositado sobre a malha de peneira.

Observa-se na superfície do material fundido (Figura 8) a predominância de regiões sulcadas pelo abrasivo e algumas marcas de deformação plástica decorrentes provavelmente de choques acidentais na manipulação da amostra e que não possuem influência no processo de desgaste.

**Tabela 4** - Análise semi-quantitativa por EDX de amostra metalográfica do revestimento de solda depositado sobre a malha de peneira (% aproximada em peso).

	Fe	Cr	Si	Nb	Ti	O
Ponto 1 (Carboneto)	2	2	-	94	3	-
Ponto 2 (Carboneto)	58	40	-	-	-	2,2
Ponto 3 (Matriz)	91	8	2	-	-	0,2*

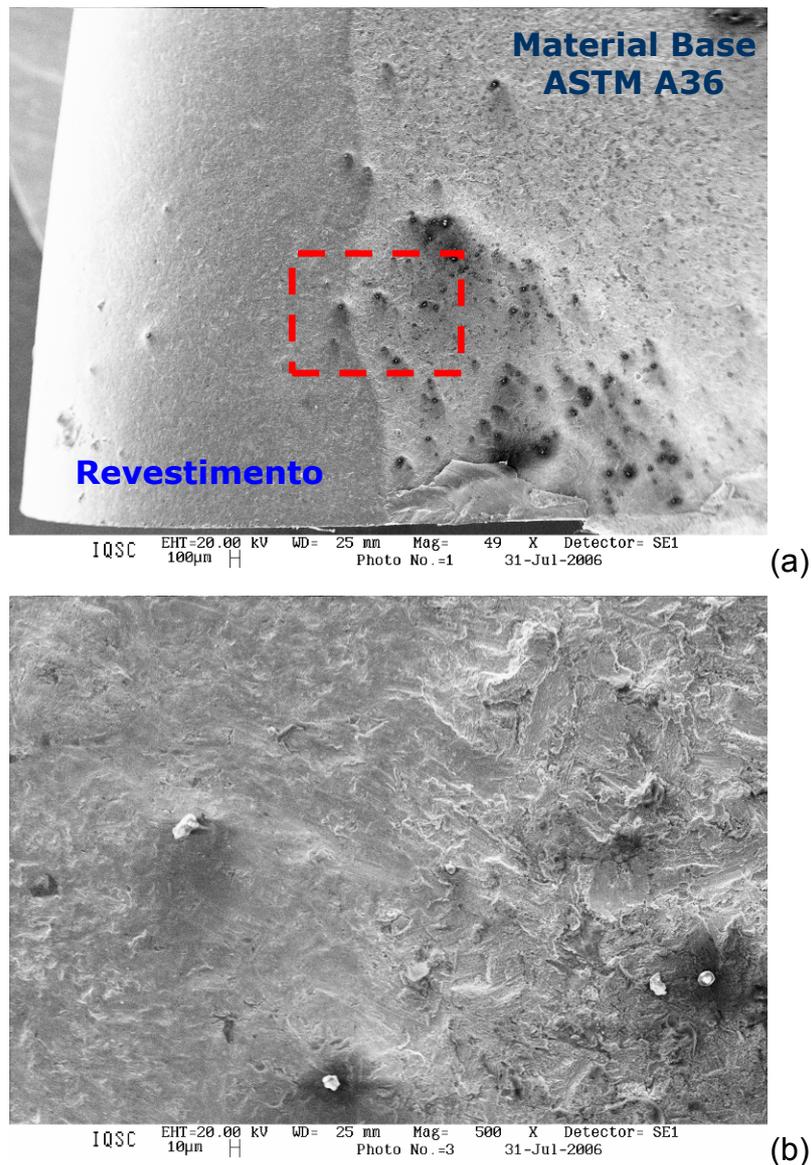
\* Valor dentro do erro experimental das medições por EDX



**Figura 8** - Análise por MEV da superfície da malha de peneira fundida.

A análise por MEV da malha de peneira revestida, Figura 9, mostra em detalhes a superfície exposta ao processo de desgaste. Observa-se que o metal base, que

apresenta uma menor resistência intrínseca ao desgaste, apresenta uma topografia muito mais irregular do que o material do revestimento, este exibindo um aspecto polido.



**Figura 9** - (a) Vista geral por MEV da superfície da malha de peneira revestida, mostrando a diferença de aspecto entre o metal base, à direita, e o revestimento, à esquerda; (b) Detalhe do destaque em (a).

#### 4 PRINCIPAIS CONCLUSÕES

- O material da malha de peneira fundida encontra-se fora das especificações de composição para o aço ASTM A297-HH modificado quanto aos teores de Cr, Mo e W. Para a malha revestida, o metal base encontra-se dentro das especificações de composição para o aço ASTM A36;
- Análises por EDX confirmaram a presença maciça de carbonetos de Cr e Nb no revestimento de solda dura;
- Os materiais sofrem dano por desgaste abrasivo livre a dois corpos. A perda de massa se dá principalmente pelo mecanismo de sulcamento;
- Na malha de peneira fundida, o espaçamento entre as partículas de carbonetos da microestrutura é grande o suficiente para permitir que

partículas de minério desgastem a matriz de austenita, que é a fase mais mole da liga;

- Na malha de peneira revestida, a alta concentração de carbonetos finamente dispersos propicia uma alta resistência ao desgaste tanto pelo reduzido espaçamento interpartículas, quanto pela alta dureza intrínseca dos carbonetos.

## **5 RECOMENDAÇÕES**

- Aplicar recobrimento de alta dureza sobre a superfície da malha de peneira, tal como a deposição por solda dura ou aspersão térmica, procurando-se o menor espaçamento interpartículas possível;
- Se possível, adotar um metal base com maior dureza.

## **BIBLIOGRAFIA**

- 1 Lansdown, A.R.; Price, A.L. (1986) Materials to resist wear: a guide to their selection and use. Oxford: Pergamon Press, 128 p.
- 2 Surface engineering for corrosion and wear resistance (2001), Edited by: Davis, J.R., Woodhead Publishing.