

## VANTAGENS DA ADIÇÃO DE NIOBIO EM CONSUMÍVEIS DE SOLDA PARA REVESTIMENTOS DUROS

MALUF, O.<sup>1\*</sup>; CANNIZZA, E.<sup>2</sup>; MUÑOZ RIOFANO, R.<sup>3</sup>; ANGELONI, M.<sup>4</sup> DIAS, G.<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Fatec Sertãozinho – Mecânica – Processos de Soldagem 1; <sup>2</sup> EHT Cannizza Consultoria em Engenharia Ltda;

<sup>3</sup> Fatec Sertãozinho – Manutenção Industrial 3; <sup>4</sup> Fatec Sertãozinho – Manutenção Industrial 4; <sup>5</sup> Fatec Sertãozinho – Manutenção Industrial 5;

\*omar.maluf@fatec.sp.gov.br

*Advantages of Adding Niobium to Welding Consumables for Hard Coatings*

Eixo Tecnológico: Engenharias) Engenharia de Materiais e Metalurgia.

### Resumo

Os consumíveis comerciais, com e sem nióbio, estudados proporcionaram depósitos de elevadas dureza e resistência ao desgaste quando submetidos à abrasão do tipo roda de borracha (ASTM G65) e abrasão-impacto, cujo abrasivo foi o coríndon marrom, representando, experimentalmente, fenômenos comuns nas moendas de usinas sucroenergéticas. Como os ensaios de abrasão-impacto danificam mais severamente a superfície revestida, pode-se agora chegar a resultados mais significativos sobre o desempenho dos depósitos, permitindo compará-los com aqueles obtidos no ensaio roda de borracha, que utilizou como abrasivo areias quartílicas, malhas 30/40 e 60/70. Os resultados de perda de massa por abrasão-impacto foram bastante esclarecedores, pois mostraram, com qualquer dos abrasivos, a mesma tendência de desempenho para o mesmo revestimento considerado. Desta forma, fica nítido que a presença do nióbio melhora o desempenho do revestimento sob abrasão e abrasão-impacto.

**Palavras-chave:** *Revestimento por soldagem, Nióbio, Abrasão, Abrasão-Impacto, Abrasivos.*

### Abstract

The commercial consumables, with and without niobium, studied provided deposits of high hardness and wear resistance when subjected to rubber wheel type abrasion (ASTM G65) and impact abrasion, whose abrasive was brown corundum, representing, experimentally, common phenomena in the mills of sugar-energy plants. As the abrasion-impact tests damage the coated surface more severely, it is now possible to reach more significant results on the performance of the deposits, allowing them to be compared with those obtained in the rubber wheel test, which used quartzite sands, meshes and 30/40 and 60/70. The results of mass loss due to abrasion-impact were quite enlightening, as they showed, with any of the abrasives, the same performance trend for the same coating considered. Therefore, it is clear that the presence of niobium improves the performance of the coating under abrasion and abrasion-impact.

**Keywords:** *Welding coating, Niobium, Abrasion, Abrasion-Impact, Abrasives.*

### 1. Introdução

O Brasil é o segundo maior produtor de etanol, superado apenas pelos EUA, que, no entanto, utiliza um caminho menos produtivo, que é obtê-lo a partir do milho. No entanto, toda essa produção a partir da cana de açúcar, exige muito dos equipamentos das usinas sucroalcooleiras, provocando desgaste abrasivo nos componentes, diminuindo sua durabilidade. A recuperação dos componentes é realizada revestindo a região desgastada com consumíveis (eletrodos ou arames) de solda que proporcionam elevada dureza, utilizando os processos e parâmetros recomendados pelos fabricantes [1].

Os eletrodos revestidos são utilizados devido ao seu baixo custo e facilidade de aplicação, enquanto os arames tubulares têm sido preferidos pela alta produtividade aliada à alta qualidade de solda. Eletrodos ricos em cromo são grandemente usados para a aplicação de revestimentos duros, devido ao seu baixo custo e disponibilidade. Entretanto, ligas ricas em vanádio e tungstênio, apesar de mais caras, oferecem melhor desempenho devido à boa combinação entre

*Anais da VII Mostra de Docentes em RJJ*

dureza e tenacidade. Eletrodos ricos em carbonetos complexos (diferentes dos CrC) também são usados, especialmente quando o desgaste abrasivo é acompanhado por outros mecanismos de desgaste [2].

Sabe-se que os carbonetos afetam as propriedades mecânicas dos materiais por sua presença dentro dos grãos e em seus contornos [3]. Dependendo da composição da liga e do tratamento térmico recebido, podem apresentar distintos tipos de carbonetos, como MC, M<sub>7</sub>C<sub>3</sub>, M<sub>6</sub>C, M<sub>23</sub>C<sub>6</sub> e Cr C, onde M representa um ou mais tipos de átomos metálicos.

Ensaio abrasivos em ligas fundidas desse sistema indicaram que é possível obter um menor desgaste de ligas austeníticas fundidas contendo (Fe,Cr)C, pela substituição parcial desse carboneto de cromo por carbonetos de Nióbio (NbC), para certas porcentagens de fases e características microestruturais [4]. A microestrutura de maior resistência à abrasão foi o carboneto primário em uma matriz eutética de carbonetos mais austenita, obtidas em revestimento com maior teor de Cr e C [5]. Isso ocorreria pelo aumento da fração volumétrica dos carbonetos e pela diminuição da largura das dendritas de austenita, as quais ficaram menos expostas à ação das partículas abrasivas [6].

O objetivo deste trabalho, foi avaliar, de maneira comparativa, a resistência ao desgaste abrasivo, abrasivo-impacto e a microestrutura de revestimentos duros, obtidos com consumíveis de solda, alguns com teores significativos de nióbio na formulação e outros praticamente isentos deste elemento. Além dos ensaios do tipo Roda de Borracha, ASTM G65, usando areia mais grossa e mais abrasiva, 30/40 mesh, foram realizados ensaio de desgaste abrasão-impacto. As análises microscópicas foram feitas por MEV/EDX.

A análise comparativa dos revestimentos, permitiu ranqueá-los quanto ao desempenho e identificar o efeito que a presença do nióbio tem na microestrutura e o que isto representa em termos de incremento na durabilidade do componente submetido ao desgaste por abrasão e desgaste abrasão-impacto.

Este conhecimento adquirido facilita melhores tomadas de decisão quando da necessidade de optar por um revestimento (consumível de soldagem) para componentes submetidos a situações similares àquelas dos parâmetros experimentais estabelecidos.

## 2. Materiais e métodos

### 2.1. Materiais

Chapas de aço AISI A36, com dimensões de 300mmx300mm x 1”, foram usadas como material base para deposição dos revestimentos por solda.

Atualmente no mercado existem diversas classes comerciais de Nióbio para aplicação em revestimento duro (Tab. 1). Diversos tipos de consumíveis comerciais, com e sem Nb, foram caracterizados em termos de resistência ao desgaste. Os corpos de prova apresentados na Tabela 1 foram agrupados de modo a facilitar a comparação de desempenho, levando em conta a composição química (Nb e Cr) dos depósitos realizados.

**Tab 1.** – Dados de teor de Nb, Cr e dureza HRC por consumível.

Consumível	Corpos de prova	Nb (%)	Cr (%)	Dureza (HRC)
Arame	Amostra 1	5,0	20,0	63
	Amostra 2	-	23,0	57
	Amostra 3	3,0	16,0	65
	Amostra 11	-	19,0	59

*Anais da VII Mostra de Docentes em RJI*

	Amostra 12	3,0	16,0	57
	Amostra 13	4,0	20,0	56
	Amostra 17	5,0	20,0	64
	Amostra 19		22,5	57
	Amostra 20	-	42,0	56
	Amostra 22	2,4	18,0	58
	Amostra 24	7,0	19,2	62
	Amostra 27	3,0	17,2	61
	Amostra 28	-	17,0	61
Eletrodo	Amostra 4	-	28,0	64
	Amostra 5	-	28,0	63
	Amostra 6	5,0	25,0	63
	Amostra 14	-	22,2	57
	Amostra 15	7,0	18,1	59
	Amostra 25	-	35,3	65
	Amostra 26	8,1	22,6	60

Fonte: Elaboração dos autores.

## 2.2. Metodologia

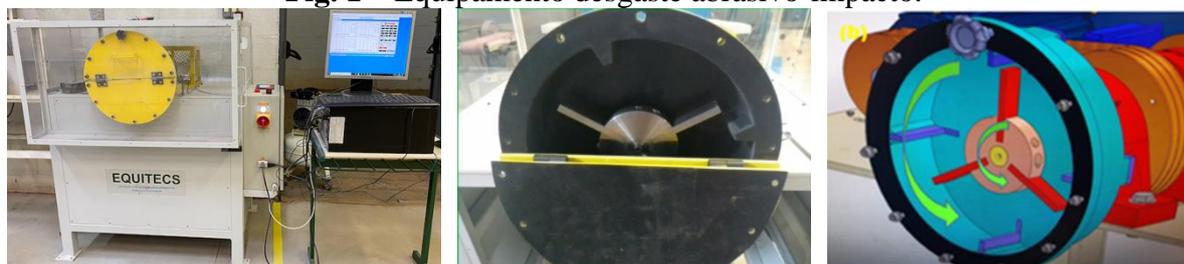
Os depósitos foram realizados no Laboratório de Processos de Fabricação – Campus de Sertãozinho, utilizando máquina de solda multiprocessado, marca Lincoln, e dispositivo de deslocamento automático e tecimento (tartaruga), com a tocha na vertical formando um ângulo de 90° com a superfície da chapa.

Foram extraídas amostras das chapas soldadas para se efetuar a avaliação microestrutural dos revestimentos. Para tal, as amostras foram embutidas, lixadas, polidas e posteriormente atacadas com reagente Nital 2%. A análise microestrutural foi realizada por microscopia eletrônica de varredura (MEV) equipado com sistema de energia dispersiva (EDS). Para a medição de dureza, foi utilizado um Durômetro de bancada Rockwell C, com carga de 150kg.

A partir das placas de aço revestidas, com diferentes consumíveis de solda, obteve-se, de cada uma, por corte e retífica, 3 espécimes para abrasão, segundo norma ASTM G65, (procedimento A) e 3 para abrasão-impacto. Para o ensaio abrasivo usou-se areia de malhas 30/40 e 60/70.

A máquina abrasão-impacto foi desenvolvida e instalada na FATEC Sertãozinho (Fig. 1). Este teste consegue reproduzir melhor as condições reais a que os componentes são submetidos em uso, pois avalia a resistência ao desgaste do material quando sujeito a abrasão-impacto. Este teste representa melhor o ambiente ao qual os componentes/equipamentos são submetidos em serviço. O elemento abrasivo é óxido de alumínio fundido marrom calcinado (coríndon), com granulometria de 4/10mm.

**Fig. 1** – Equipamento desgaste abrasivo-impacto.



Fonte: Elaboração dos autores.

Os desgastes, abrasivo e abrasivo-impacto foram avaliados em função da perda de massa dos corpos de prova pela comparação entre a massa antes e após o ensaio, através da aferição realizada em balança de precisão.

### 3. Resultados e Discussão

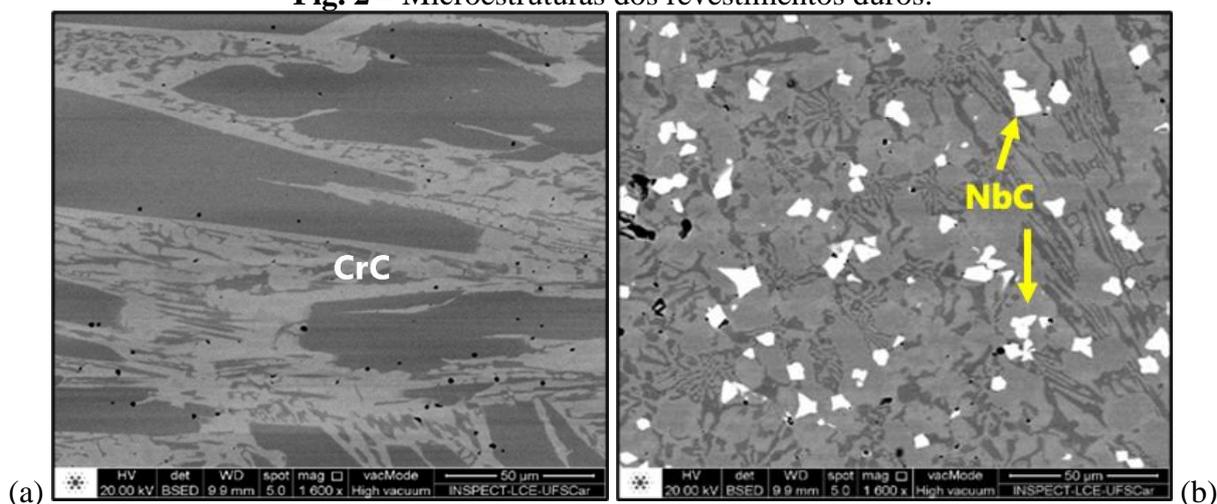
#### 3.1. Microestrutura dos revestimentos

As microestruturas analisadas via microscopia eletrônica de varredura (MEV), mostram uma matriz martensítico/eutético com possível resquício de austenita e carbonetos. Na Figura 2a é apresentada a microestrutura do revestimento FeCrC, destacando a formação de carbonetos de cromo (CrC) dispersos na matriz, mas sem a geometria hexagonal, características dos carbonetos  $M_7C_3$ .

A microestrutura do revestimento FeCrC+Nb é apresentada na Figura 2b, mostrando a presença de carbonetos de nióbio (NbC), na forma primária, e/ou em frações mais finas, oriundas de reações mais complexas do sistema quaternário. As maiores durezas apresentadas por estes revestimentos podem estar relacionadas à fina distribuição dos carbonetos NbC na matriz, incrementando a resistência ao desgaste abrasivo-impacto.

A presença de NbC aumenta as propriedades mecânicas da camada revestida porque funciona como refinador das células eutéticas dos Carbonetos de Cr e melhora a tenacidade da camada porque refina a microestrutura à base de carboneto de Cr. Como as densidades de Fe, CrC e NbC são semelhantes, os carbonetos precipitam homoganeamente em toda a espessura do revestimento duro.

Fig. 2 – Microestruturas dos revestimentos duros.



Fonte: Elaboração dos autores.

#### 3.2. Teste de abrasão ASTM G65

A Figura 3 apresenta comparativamente a resistência ao desgaste abrasivo dos revestimentos com Cr e Cr+Nb, usando areia malha 30/40. Observa-se que a resistência ao desgaste dos revestimentos contendo Cr, foram inferiores à resistência ao desgaste dos revestimentos

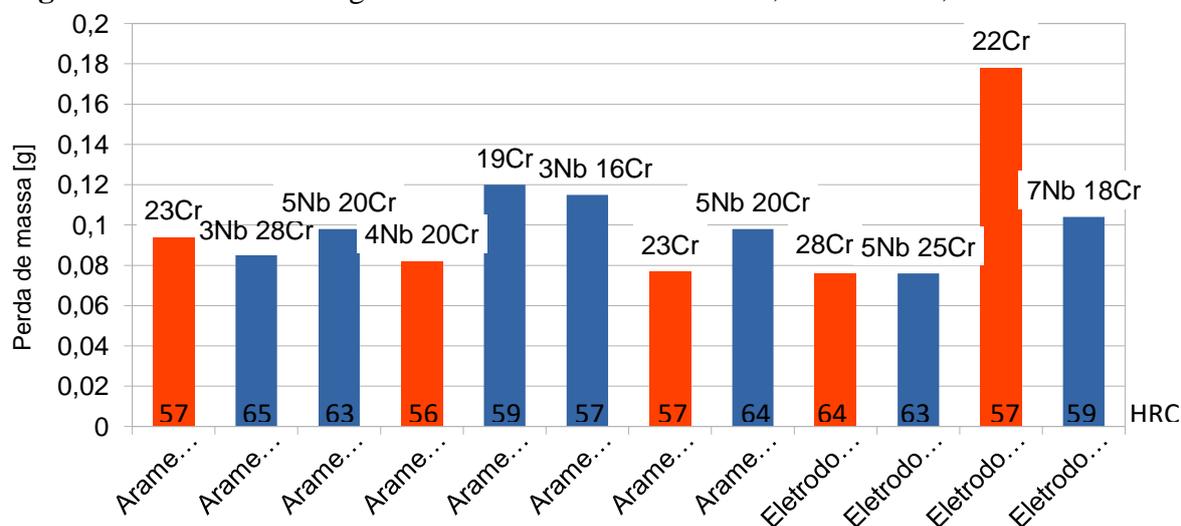
*Anais da VII Mostra de Docentes em RJI*

contendo Cr+Nb. Esta superioridade na resistência ao desgaste abrasivo pode estar associada à presença de carbonetos de nióbio na estrutura, que, segundo Chatterjee e Pal (2003) [7], além de proteger a matriz, têm uma influência na nucleação de carbonetos de cromo refinados caso este elemento exista na composição do material, aumentando a resistência a abrasão a baixas tensões. Quanto maior o teor de Nb, maior é a resistência ao desgaste (Fig. 4).

Atamert & Badeshia (1988) [8] afirmam que os carbonetos de cromo são grandes, duros e frágeis e quando removidos da matriz, durante o processo de desgaste, a perda de material da superfície se torna mais intensa.

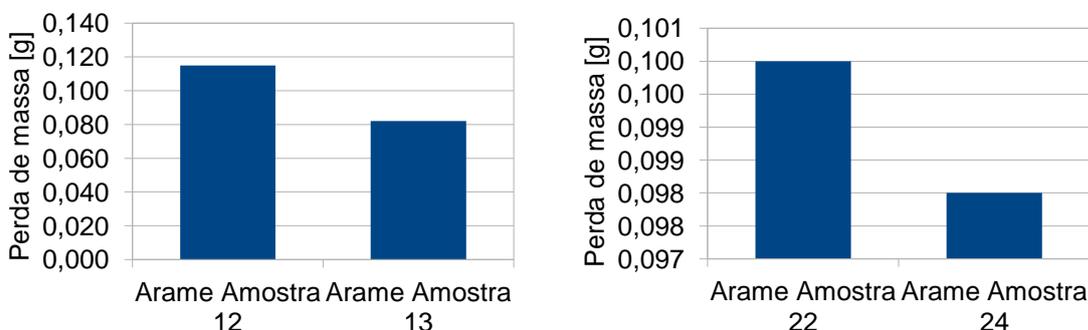
Consumíveis contendo Nb, com conteúdo semelhante de Cr, apresentam até 55% de melhoria na resistência ao desgaste.

**Fig. 3** – Resultados de desgaste abrasivo dos revestimentos, ASTM G64, areia 30/40 mesh.



Fonte: Elaboração dos autores.

**Fig. 4** – Comparação da resistência ao desgaste abrasivo com areia 30/40 mesh, em revestimentos com diferentes teores de Nb.



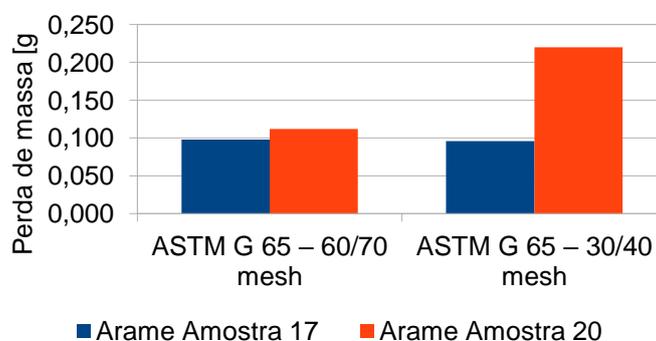
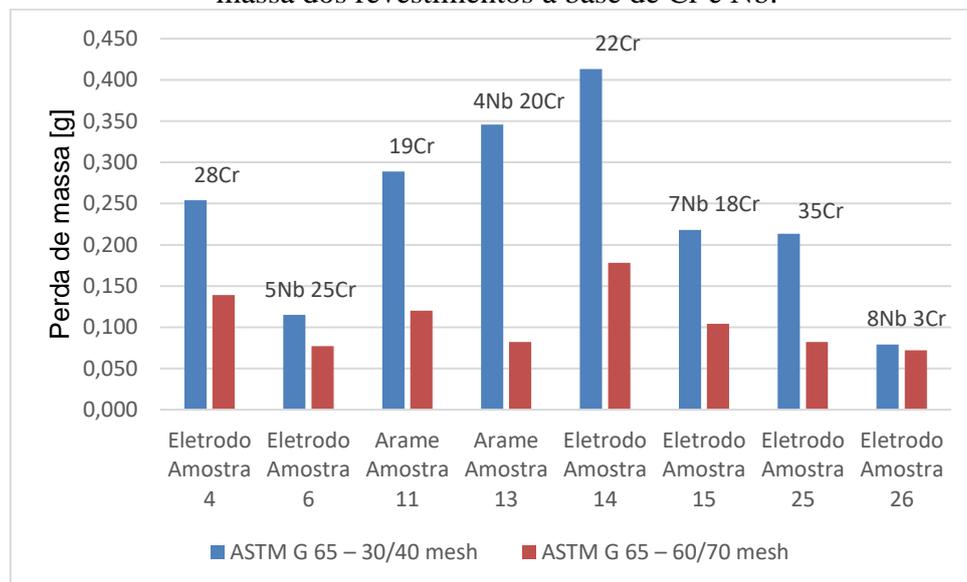
Fonte: Elaboração dos autores.

O efeito da granulometria do abrasivo/areia (malhas 30/40 e 60/70), na perda de massa dos revestimentos, são mostrados na Figura 5. Nota-se que utilizando grãos de areia mais grosseiros, a diferença entre a resistência ao desgaste dos consumíveis à base de Nb é maior que a dos

Anais da VII Mostra de Docentes em RJ

consumíveis à base de Cr, indicando que os consumíveis contendo Nb são mais eficazes quando a severidade do desgaste é maior.

**Fig. 5** – Efeito da granulometria do abrasivo/areia de malhas 30/40 e 60/70, na perda de massa dos revestimentos à base de Cr e Nb.



Fonte: Elaboração dos autores.

### 3.3. Teste de abrasão-impacto

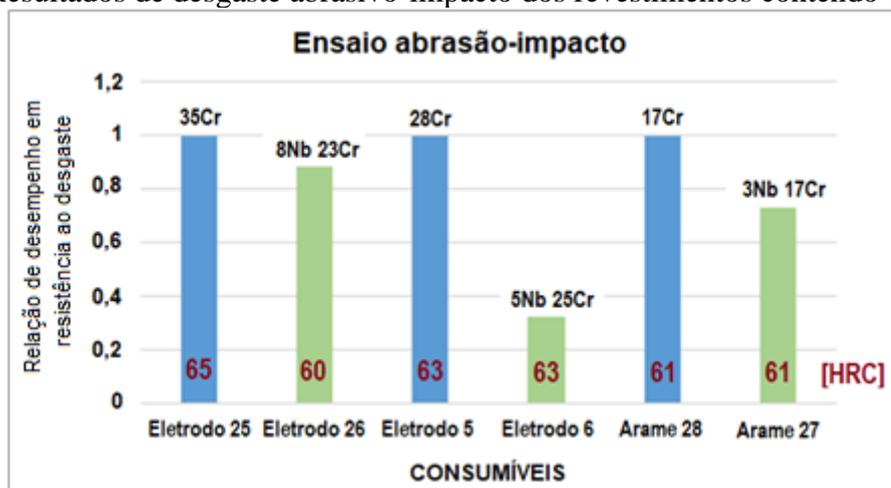
Sob condições de Abrasão-impacto, os consumíveis contendo Nb apresentaram resistência ao desgaste significativamente melhor em comparação com os consumíveis comerciais à base de Cr (Fig. 6). Este efeito pode ser devido ao fato de que a adição de Nb aumenta a tenacidade dos revestimentos, praticamente, sem prejuízos a dureza superficial.

Cabe ressaltar que, o desgaste abrasão-impacto inclui os efeitos da colisão das partículas de abrasivo com a superfície sólida e movimentos de arranhões; outros fatores devem ser considerados, tais como tamanho e formato das partículas, ambiente e taxa de impacto e abrasão. O comparativo dos ensaios de desgaste abrasivo e abrasivo-impacto mostrados na Figura 7, demonstra que o revestimento que possui Nb teve menor perda de massa no desgaste abrasivo-impacto.

*Anais da VII Mostra de Docentes em RJJ*

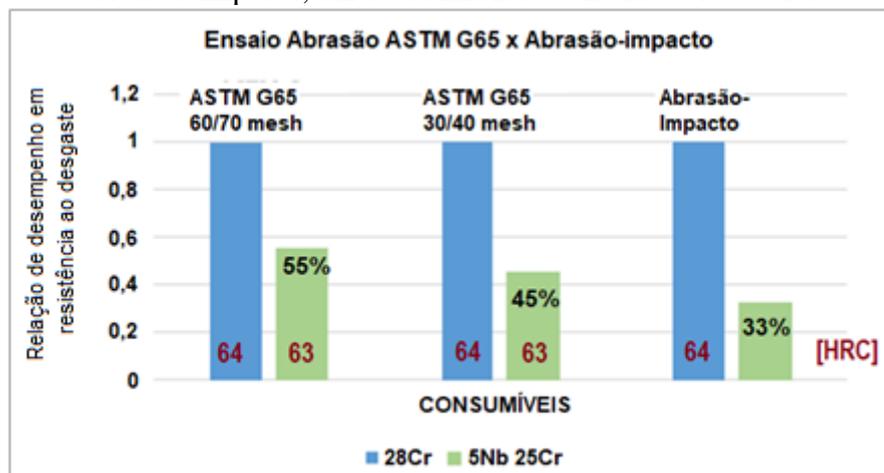
As Figuras 6 e 7 trazem os valores de perda de massa normalizados a partir dos corpos de prova que apresentaram as maiores perdas (sem adição de Nb, destacados na cor azul). Cada corpo de prova isento de Nb em sua composição é comparado a um corpo de prova que possui Nb, posicionado imediatamente à direita desse (destacado pela cor verde).

**Fig. 6 – Resultados de desgaste abrasivo-impacto dos revestimentos contendo Cr e/ou Nb.**



Fonte: Elaboração dos autores.

**Fig. 7 – Comparativo da resistência ao desgaste abrasivo (areia malhas 30/40 e 60/70) e abrasivo-impacto, em revestimentos contendo Cr e/ou Nb.**



Fonte: Elaboração dos autores.

#### 4. Conclusões

O NbC formado in situ durante o revestimento da camada protetora, aumenta a resistência ao desgaste devido ao fato de o NbC ser um carboneto muito duro, que também funciona como refinador das células eutéicas dos carbonetos de Cr.

Como as densidades do Fe, CrC e NbC são semelhantes, os carbonetos precipitam homogeneamente em toda a espessura do revestimento duro.

#### *Anais da VII Mostra de Docentes em RJI*

A presença de NbC aumenta as propriedades mecânicas dos revestimentos. A adição de Nb aumenta a tenacidade do revestimento duro.

Consumíveis contendo Nb, possuindo teores semelhantes de Cr, apresentam até 55% de melhoria na resistência ao desgaste nos ensaios segundo ASTM G 65.

O desempenho dos consumíveis contendo Nb aumenta à medida que a severidade do ensaio é maior, conforme demonstram os resultados.

#### **Agradecimento**

À Faculdade de Tecnologia do Estado de São Paulo – Campus de Sertãozinho, pela disponibilização dos laboratórios de Processos de Fabricação e de Ensaios Mecânicos e à ELFUSA Geral de Eletrofusão Ltda. pela doação do coríndon utilizado nos ensaios de abrasão impacto.

#### **Referências**

- [1] DE SOUZA, D. D. B. G.; FERRARESI, V. A. Aplicação de revestimento duro utilizando o processo FCAW duplo arame para diferentes tipos de consumíveis utilizados na indústria sucroalcooleira TT - Application of hardfacing of different types consumables used in sucroal-cooleira industry with the FC. **Matéria** (Rio Janeiro), v.22, n.1, 2017, [Online]. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1517-70762017000100424&lang=pt%0Ahttp://www.scielo.br/pdf/rmat/v22n1/1517-7076-rmat-22-01-e11794.pdf](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1517-70762017000100424&lang=pt%0Ahttp://www.scielo.br/pdf/rmat/v22n1/1517-7076-rmat-22-01-e11794.pdf). Acesso em: 11 set. 2021.
- [1.1] BUCHELY, M. F.; GUTIERREZ, J. C.; LEÓN, L. M.; TORO, A. The effect of microstructure on abrasive wear of hardfacing alloys. **Tribology International**. V.259, p. 52-61, 2005.
- [2] FAN, C.; CHEN, M. C.; CHANG, C. M.; WU, W. Microstructure change caused by (Cr,Fe)<sub>23</sub>C<sub>6</sub> carbides in high chromium Fe-Cr-C hardfacing alloys. **Surf. Coatings Technol.**, v.201, n.3-4, p. 908-912, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2006.01.010>.
- [3] GREGOLIN, J. A. R.; ALCANTARA, N. G. Solidification and phase equilibria in the Fe-C-Cr-NbC system. **Metall. Trans. A**, v.22, n.10, p. 2181-2186, 1991. DOI:[10.1007/BF02664984](https://doi.org/10.1007/BF02664984).
- [4] WIECZERZAK, K.; BALA, P.; STEPIEN, M.; CIOS, G.; KOZIEL, T. The characterization of cast Fe-Cr-C alloy. **Arch. Metall. Mater.**, v.60, n.2A, p. 779-782, 2015. DOI:[10.1515/amm-2015-0206](https://doi.org/10.1515/amm-2015-0206).
- [5] LU, L.; SODA, H.; MCLEAN, A. Microstructure and mechanical properties of Fe-Cr-C eutectic composites. **Mater. Sci. Eng. A**, v.347, n.1-2, p. 214-222, 2003. DOI: [10.1016/S0921-5093\(02\)00588-9](https://doi.org/10.1016/S0921-5093(02)00588-9).
- [6] BA, Lei; GAO, Ojan; CEN, Wang WANG, Jing; WEN, Zhenjiang. The impact-abrasive wear behavior of high wear resistance filling pipeline with explosion treatment.
- [7] CHATTERJEE, S.; PAL, T. K. Wear behavior of hardfacing deposits on cast iron. **Wear**, n.255, p. 417-425, 2003.
- [8] ATAMERT, S; BHADSHIA, H. K. D. H. Microstructure and stability of Fe-Cr-C hardfacing alloys. **Materials Science and Engineering A**, n.130, p. 101-111, 1988.