

# Corrosão em aços ferramenta AISI D2 e H13: impactos na durabilidade e desempenho industrial de materiais aplicados na mineração

**Nirvana C. Ribeiro (PQ)1,2\*, Victor Campideli (PG)1,3, Leandro M. Pinto (PQ)1, Felipe S. Mion (G)1,3; Aline L. A. Nascimento (G)1,3; Cristian Viáfara (PQ)1, José J. Penagos (PQ)1**

¹ Instituto Tecnológico Vale (ITV-Mi), Ouro Preto, MG, Brasil.

2 Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, Brasil.

3 Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, MG, Brasil.

\*e-mail: nirvanaribeiro@hotmail.com

**RESUMO**

RESUMO - Os aços ferramenta **AISI D2** e **AISI H13** são amplamente utilizados em diferentes setores industriais que exigem elevada resistência ao desgaste e à corrosão, como na compactação de minério de ferro. Estudos eletroquímicos foram realizados nos aços de estudo, e mostraram que o aço H13 mostrou menor suscetibilidade à corrosão. Contrariamente, o aço D2, apesar de seu teor de cromo de 12,19%, apresentou maior potencial de corrosão em circuito aberto e maior densidade de corrente de corrosão. Este comportamento pode estar associado à depleção de cromo, na interface dos carbetos, devido à formação de células galvânicas locais que favorecem a corrosão nessas zonas. Este estudo destaca a importância de se considerar uma abordagem sistêmica para a seleção de materiais, contemplando as características eletroquímicas, o tribossistema e fatores operacionais aos quais o material será submetido.

*Palavras-chave: corrosão, aços ferramenta, mineração.*

# Introdução



Na indústria da mineração, os componentes metálicos estão frequentemente expostos à reação química ou eletroquímica com os elementos do meio ambiente, denominada como corrosão. Esse fenômeno gera despesas consideráveis com manutenções e perdas de eficiência dos componentes, uma vez que a corrosão deteriora materiais, além de potencializar outros fenômenos de desgaste. Adicionalmente, a corrosão mostra-se associada aos fatores metalúrgicos (1) e à composição química dos materiais metálicos como ferros fundidos e aços (2-3).

Nesse contexto, este estudo busca caracterizar a composição química e microestrutura e, investigar as propriedades eletroquímicas dos aços ferramenta AISI D2 e H13, com o intuito de considerar o efeito da corrosão em equipamentos destinados à compactação de minério de ferro altamente abrasivo instalados em ambiente marítimo.

# Experimental

O desenvolvimento do trabalho foi dividido em três etapas principais: caracterização dos aços, ensaio de polarização linear, e caracterização da superfície após corrosão.

*Composição química*

A análise química dos aços foi feita por espectroscopia de emissão ótica por centelhamento e combustão no equipamento *Arms Find*.

*Microestrutura*

Os materiais foram cortados por eletroerosão (Electrout Novick modelo (AR-35)) a 0,90 mm min-1 e embutidos a quente em embutidora metalográfica Arotec (modelo: PRE-30 A/2). As amostras foram lixadas até #600. As microestruturas foram reveladas com Nital 5% por 15 s de imersão. Após a determinação das propriedades eletroquímicas, as amostras foram submetidas a lavagem com água destilada e secas com o auxílio de fonte de calor. As micrografias foram feitas com microscópio ótico Olympus (modelo BX53).

*Ensaio de polarização linear*

A preparação de amostras para o ensaio de polarização linear requereu a fixação da fita condutora sobre o fio, e em seguida, sob as amostras com área mínima de 1x1 cm. Posteriormente, as amostras foram embutidas a frio e submetidas ao processo de cura por 24 h. Em um béquer, verteu-se a solução eletrolítica (NaCl 3,5%) e, em seguida, posicionou-se a amostra e os eletrodos conforme demonstrado na Figura 1. Para a operação do potenciostato (AutoLab PGSTAT302N), identificam-se os itens: eletrodo de referência (RE), contra eletrodo de platina (CE) e o eletrodo de trabalho (WE).

Logotipo

O conteúdo gerado por IA pode estar incorreto.

**Figura 1.** Esquema ilustrativo para montagem da célula eletroquímica.

As medidas de polarização foram realizadas após um período de estabilização do potencial de circuito aberto (OCP) de 1 h. Os parâmetros utilizados neste ensaio foram tempo de intervalo de 0,1 s taxa de varredura de 0,001 Vs-1 e potencial (VSCE) inicial de -0,3 mV e final de 0,3 mV no software Nova 2.1. O Ecorr e jcorr foram estimados por meio da extrapolação de Tafel.

# Resultados e Discussão

*Caracterização dos aços*

Na Tabela 1 são apresentadas as composições químicas dos aços ferramenta estudados. Segundo a norma ASMT A681 (4), os valores obtidos para os aços H13 e D2 apresentam conformidade (5).

**Tabela 1.** Composição química (% em massa) dos aços.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Material** | **% massa** | | | | | |
| **C** | **Si** | **Mn** | **Cr** | **Mo** | **V** |
| **H13** | 0,44 | 0,71 | 0,35 | 4,87 | 1,18 | 0,94 |
| **H13**  **(ASTM A681)** | 0,32-0,45 | 0,80-1,25 | 0,20-0,60 | 4,75-5,50 | 1,10-1,75 | 0,80-1,20 |
| **D2** | 1,59 | 0,37 | 0,38 | 12,19 | 1,02 | 0,68 |
| **D2**  **(ASTM A681)** | 1,40-1,60 | 0,10-0,60 | 0,10-0,60 | 11,00-13,00 | 0,70-1,20 | 0,50-1,10 |

A Figura 2a mostra a microestrutura martensítica revenida do aço H13. Observa-se o esperado para uma estrutura temperada e revenida, com o formato acicular característico da martensita (6). A Figura 2b apresenta a microestrutura do aço D2, de matriz martensítica com a presença de carbetos de cromo.

Uma imagem contendo comida, pessoas, verde, azulejado

O conteúdo gerado por IA pode estar incorreto. Uma imagem contendo Interface gráfica do usuário

O conteúdo gerado por IA pode estar incorreto.

Figura 2. Microestrutura dos aços ferramenta (100x): a) AISI H13 e b) AISI D2. Fonte: Adaptado de Ribeiro, 2025 (5).

O potencial de corrosão calculado para o aço H13 foi de -0,51 V e -0,65 V para o aço D2. Os dados de densidade de corrente de corrosão foram obtidos pelo software Nova 2.1, sendo igual a 1,85 µAcm-2 para o aço H13 e 3,67 µAcm-2 para o aço D2. Tais resultados mostraram coerência com as curvas obtidas na Figura 3a e 3b, onde o aço D2 mostrou maior suscetibilidade à corrosão.

Gráfico

O conteúdo gerado por IA pode estar incorreto. Gráfico

O conteúdo gerado por IA pode estar incorreto.

**Figura 3.** Ensaio de polarização dos aços ferramenta: a) OCP; b) curva de polarização.

A Figura 4 mostra as micrografias das superfícies após ensaio de polarização. Nota-se corrosão uniforme na superfície do aço H13 e corrosão pontual no aço D2. Essas características mostraram-se em acordo com o trabalho de Cardoso et al. (2019) que afirma a possibilidade da depleção do cromo nas regiões de interface entre carbetos e matriz (7). Tal fato, corrobora com as formas de corrosão encontradas.

Imagem em preto e branco

O conteúdo gerado por IA pode estar incorreto.

**Figura 4.** Superfícies após ensaio de polarização (50x): a) AISI H13 e b) AISI D2.

Este empobrecimento potencializa a geração de corrosão galvânica (5, 7). Este fenômeno é comumente notado em ferros fundidos de alto cromo (8), porém, o teor de cromo do aço D2 igual a 12,19% possibilita o acontecimento deste mecanismo e, consequentemente, podem criar ataques localizados.

# Conclusões

O aço H13 apresentou potencial para aplicação na indústria da mineração. Entretanto, estudar a componente de corrosão de forma isolada no tribossistema em questão mostrou a necessidade de contemplar os demais parâmetros e fenômenos de desgaste aos quais os materiais metálicos estão submetidos à corrosão.

# Agradecimentos

Os autores agradecem ao Instituto Tecnológico Vale (ITV-Mi) e à Vale S.A.

# Referências

1. V. Gentil. Corrosão. LTC, 6 ed., Rio de Janeiro, **2017**.
2. H. H. Uhlig; R. W. Revie. *Corrosion and Corrosion Control: An Introduction to Corrosion Science and Engineering. Wiley-Interscience,* Canada, **2008**.
3. ASM HANDBOOK. *Metallography and microstructures. ASM International*, 2004. 1184 p.
4. ASTM. *Standard Specification for Tool Steel Alloy. Designation*: A681-08, 2022.
5. N. C. Ribeiro, Dissertação (mestrado), Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, 2025.
6. COLPAERT, H. Metalografia dos produtos siderúrgicos comuns. Blücher, 4 ed., São Paulo, **2008**.
7. J. L. Cardoso et al. *Corrosion behavior of austenitic stainless steel in CO2-saturated synthetic oil field formation water. Materials Research*, **2019**, v. 22, n. 4.
8. SALASI, M.; STACHOWIAK, G. B.; STACHOWIAK, G. W. *Three-body tribocorrosion of high-chromium cast irons in neutral and alkaline environments*. Wear, **2011**, v. 271, p. 1385-1395, 2011.