

AVALIAÇÕES TRIBOLÓGICAS DO AÇO FERRAMENTA AISI D2 NITRETADO A PLASMA¹

Maycoln Depianti Conci²
Adonias Ribeiro Franco Júnior³

Resumo

O aço ferramenta AISI D2 é um dos mais utilizados para trabalho a frio na indústria por apresentar uma excelente combinação de resistência e tenacidade. A resistência ao desgaste, que é uma das propriedades mais importantes desse tipo de aço, pode ser melhorada pela utilização do tratamento termoquímico de nitretação a plasma. O presente trabalho estuda o efeito de variáveis do processo de nitretação no aprimoramento das propriedades tribológicas, como dureza superficial e coeficiente de desgaste do aço ferramenta AISI D2. Amostras foram tratadas por 1 hora, 3 horas e 6 horas, em temperatura de 500°C, com uma pressão fixada em 4 Torr, utilizando-se diferentes misturas gasosas de nitrogênio, hidrogênio e argônio na formação de camadas nitretadas. A resistência ao desgaste microabrasivo foi avaliada através de ensaios de desgaste abrasivo do tipo “esfera livre”. Os melhores resultados em termos de resistência ao desgaste microabrasivo foram obtidos para tempos de tratamento mais curtos, sendo que a introdução de 2% de argônio acarretou um aumento de aproximadamente 200 HV na dureza superficial do material. Este incremento nas propriedades tribológicas da superfície é atribuído à melhor combinação dos gases no processo onde o nitrogênio difundido na matriz martensítica e os carbonetos não dissolvidos nos tratamentos térmicos propiciaram um aumento significativo da dureza superficial e, conseqüentemente, um aumento na resistência ao desgaste.

Palavras-chave: Desgaste microabrasivo; Aço ferramenta AISI D2; Nitretação a plasma.

TRIBOLOGICAL EVALUATION OF THE PLASMA NITRIDED AISI D2 TOOL STEEL

Abstract

The AISI D2 tool steel is used in cold working due to a good combination of strength and toughness. The wear resistance, which is the most important property of these steels, can be improved by using the thermo-chemical treatment of plasma nitriding. This work studies the effect of variables of the plasma nitriding used for improving tribological properties, such as surface hardness and wear coefficient of the AISI D2 tool steel. Samples were treated for 1 h, 3 h and 6 h, at 500°C, at pressure of 4 Torr, in different gas atmospheres of nitrogen, hydrogen and argon. The wear resistance of the nitride materials was evaluated using the micro-abrasion wear testing. The best results in terms of micro-abrasion wear resistance were obtained for shorter times of treatment, and the addition of 2% of argon to the gas mixture led to an increase of about 200 HV in the surface hardness of the material. This increase is attributed to the best combination of treatment gases, where the nitrogen diffused through the martensitic matrix and the non-dissolved carbides provided a significant increase in surface hardness and, as a result, an increase in wear resistance.

Key words: Microabrasive wear; AISI D2 tool steel; Plasma nitriding.

¹ Contribuição técnica ao 67º Congresso ABM - Internacional, 31 de julho a 3 de agosto de 2012, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

² Eng. Mecânico, Prof., Mestrando em Eng. Metalúrgica e de Materiais, Instituto Federal do Espírito Santo (IFES), Brasil.

³ Eng. Metalúrgico, Prof., Dr. em Engenharia Metalúrgica, IFES, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

A tribologia é uma ciência que trata da tecnologia de superfícies que possuem movimento relativo entre si e que envolve o estudo do atrito, desgaste e lubrificação. Pela norma DIN 50320, o desgaste é a perda progressiva de material da superfície de um corpo sólido por ação mecânica. Diferentemente dos outros mecanismos de falha, o desgaste apresenta-se como uma variável de projeto que, normalmente, não é equacionável de maneira precisa, sendo assim, um parâmetro tratado predominantemente de forma empírica e qualitativa.⁽¹⁾ Portanto, as dificuldades na previsão do comportamento do desgaste estão associadas às variações dos parâmetros que compõem o sistema tribológico.⁽²⁾

A indústria metal-mecânica para a fabricação de ferramentas de conformação e corte a frio tem o aço AISI D2 como um dos mais amplamente utilizados por combinar propriedades de resistência e tenacidade. Entretanto, a tenacidade deste aço é fortemente dependente da distribuição dos carbonetos tipo M7C3.^(3,4) Este aço é destinado à fabricação de matrizes de estampos de grande porte, matrizes de extrusão a frio, onde a resistência ao desgaste é uma das propriedades mais importantes relacionada à dureza e aos carbonetos não dissolvidos nos tratamentos térmicos. Os níveis de resistência ao desgaste podem ser otimizados pela utilização de tratamentos termoquímicos superficiais de nitretação por plasma. O objetivo do presente trabalho foi efetuar o tratamento superficial de nitretação iônica no aço ferramenta AISI D2 e identificar as alterações ocorridas nas camadas nitretadas com variação do tempo de tratamento e composição de mistura de gases. Estas modificações microestruturais são responsáveis pelo aprimoramento das propriedades mecânicas na superfície da liga tendo influência direta na resistência ao desgaste do material.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Fornecido no estado recozido, na forma de barras cilíndricas com 31 mm de diâmetro pela empresa Villares Metals S.A, com dureza máxima de 255 HB, o aço AISI D2 tem composição química básica: Fe-1,55%C-12,0%Cr, com adições dos elementos de liga Mo e V da ordem de 1,0% em peso visando melhorar a resposta ao revenimento.⁽⁵⁾ Através do espectrômetro de emissão óptica da marca Oxford Instruments, modelo Foundry-Master Pro, localizado no Instituto Federal do Espírito Santo (IFES), foi determinada a composição química do material. A Tabela 1 apresenta a porcentagem dos principais elementos químicos presentes no aço.

Tabela 1. Composição química (% em massa) por espectrometria do aço AISI D2

C	Mn	Si	Cr	Mo	P	S	Ni
1,52	0,41	0,26	14,1	0,77	0,0075	0,0040	0,30

A face lateral dos corpos de prova foi torneada e as das bases lixadas até 600# para dimensões de aproximadamente 30 mm de diâmetro por 4,5 mm de espessura. Para o aço ferramenta AISI D2, o fabricante recomenda o emprego de temperaturas de revenimento de 200°C a 300°C.⁽⁶⁾ No entanto, essas amostras foram austenitizadas a 1.080°C por 30 minutos e temperadas em óleo, e em seguida passaram por revenimento a 540°C por 2 horas. A descarbonetação e a oxidação dos corpos de prova foram evitadas colocando-os numa câmara metálica com

injeção de argônio (4 l/min), de 50 mm de diâmetro por 150 mm de comprimento. Para o aço ferramenta AISI D2, as temperaturas de austenitização e revenimento foram indicadas com base em trabalhos de Mendanha, Goldenstein e Pinedo.⁽³⁾

Para a análise microestrutural do aço ferramenta AISI D2, as amostras foram polidas com pasta de alumina de granulometria 1 µm. Os exames metalográficos foram realizados por metalografia óptica convencional por meio de um microscópio óptico, modelo Metallux 3, da marca Leitz do laboratório metalográfico do IFES. Para os materiais recozidos, após têmpera e revenimento bem como para análise microestrutural das camadas nitretadas o ataque por 20 segundos, com Nital 3%, permitiu um bom contraste entre os carbonetos e a matriz.

Para os tratamentos termoquímicos de nitretação a plasma das amostras foi utilizado um reator de nitretação a plasma pulsado localizado no laboratório de redução do IFES. O reator consiste de uma câmara cilíndrica (70 cm de altura por 50 cm de diâmetro) de aço inoxidável com um sistema de vácuo, um sistema de alimentação para os gases utilizados no tratamento, dois eletrodos, sendo as paredes da câmara atuando como anodo e o porta amostra (disco de 22 cm de diâmetro por 5 mm de espessura) agindo como catodo, uma fonte de alta tensão, frequência de 4 KHz, além de um termopar para medir a temperatura, e um medidor de pressão. O controle dos parâmetros do processo está interfaceado a um microcomputador dotado de um programa que permite no decorrer do tratamento a seleção, o monitoramento e registro de variáveis do processo.

Foram realizados tratamentos de nitretação na temperatura de 500°C, por tempos de 1 hora, 3 horas, 6 horas. Para cada uma dessas condições foram usadas duas diferentes proporções de nitrogênio, hidrogênio e argônio na mistura gasosa: [10% N₂ + 90% H₂] e de [9% N₂ + 89% H₂] com a adição de argônio [1% Ar] (Tabela 2).

Tabela 2. Parâmetros empregados na nitretação das amostras

Temperaturas	Tempos			Composição da Mistura Gasosa [% vol. N ₂ e % vol. H ₂]	
	1 h	3 h	6 h	[10%N ₂ + 90%H ₂]	[9%N ₂ + 89%H ₂ + 1%Ar]
500°C					
Pressão	4 Torr (530 Pa)				
Tensão Entre Eletrodos	500 V				
Duração do Pulso	200 µs				
Tempo de Relaxação do Plasma	50 µs				

Para o delineamento dos perfis de dureza das camadas nitretadas as medidas foram realizadas a 20 µm, 30 µm, 50 µm, 70 µm, 100 µm, 150 µm, 200 µm e 250 µm da superfície nitretada através de microdurômetro vickers, aplicando uma carga de 200 gf. Para a análise da dureza superficial, também foram realizadas medidas de topo das amostras tratadas.

Para os testes de desgaste microabrasivo foi utilizado um equipamento de microabrasão do tipo “esfera livre”, da marca *CSM Instruments*. O coeficiente de desgaste (K) foi calculado usando a equação de Archard (Equação 1).

$$K = \frac{V}{L.F_N} = \frac{\pi.b^4}{32\phi.L.F_N} \quad (1)$$

Onde V representa o volume desgastado, ϕ é o diâmetro da esfera de ensaio, L é a distância deslizada, FN é a força normal aplicada - que neste tipo de ensaio é ajustada pelo peso da esfera e a inclinação da amostra - e “ b ” representa o diâmetro da calota de desgaste (Figura 1c).

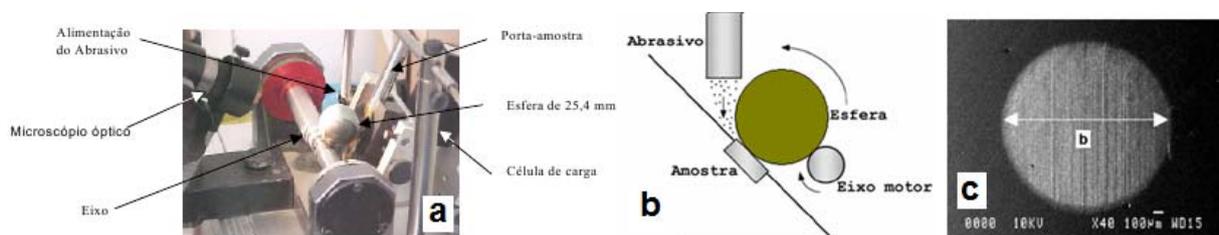


Figura 1. (a) Equipamento de microabrasão; (b) esquema do equipamento de ensaio de desgaste microabrasivo por esfera livre; e (c) vista de uma cratera de desgaste com diâmetro “b”.

A esfera utilizada no ensaio possui um diâmetro de 25,4 mm. O abrasivo usado foi uma lama SiC de concentração de 0,75 g/cm³ com uma vazão de uma gota a cada três segundos. A carga aplicada foi de 0,27 N. Esse procedimento foi similar ao dos trabalhos de Rutherford e Hutchings.⁽⁷⁾

Segundo Trezona, Allsopp e Hutchings,⁽⁸⁾ com o aumento da carga de ensaio e da concentração de SiC na lama, o mecanismo de rolamento ainda prevalece, uma vez que a indentação da superfície da amostra por cada uma das partículas se dá suavemente.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 mostra a microestrutura do aço ferramenta AISI D2, no estado como recebido (Figura 2a), temperado (Figura 2b) e revenido (Figura 2c).

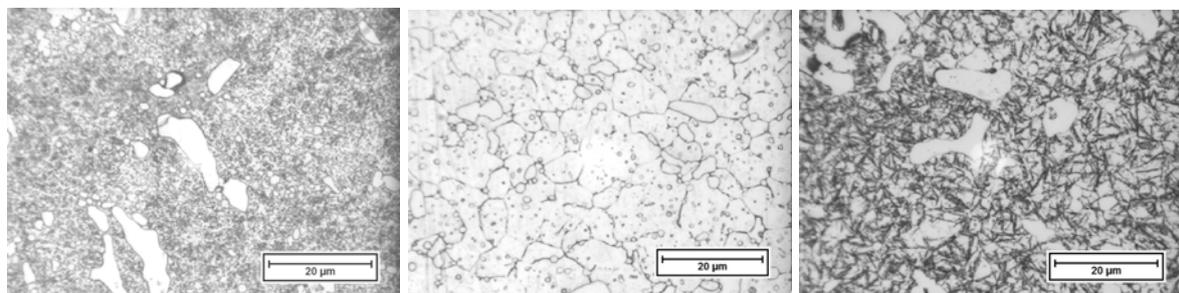


Figura 2. (a) Recozido, dureza: 230 HB; (b) austenitizado a 1.080°C, por 30 minutos, e resfriado em óleo, dureza: 65 HRC; e (c) austenitizado a 1.080°C, resfriado em óleo e revenido a 540°C, dureza: 56 HRC (seção transversal). Ataque químico: Nital 3%.

Na microestrutura do aço ferramenta AISI D2 recozido observa-se a presença de carbonetos globulares (pequenos) e de formato irregular (grandes) distribuídos na matriz ferrítica. Já na estrutura do material apenas austenitizado, tanto os carbonetos grandes e os pequenos carbonetos globulares estão numa matriz de martensita. Na estrutura do material revenido a 540°C podemos ver martensita revenida e carbonetos do tipo M7C3 entre outros carbonetos complexos. Tais carbonetos são formas muito estáveis e quando associados aos nitretos e carbonitretos formados durante o processo de nitretação serão responsáveis por conferir maior dureza e resistência ao desgaste ao material.

A Figura 3 mostra os perfis de dureza das camadas nitretadas com 10% de N₂, a 500°C, por 1 hora, 3 horas e 6 horas com e sem a adição de argônio e a Figura 4 os resultados de desgaste microabrasivo das respectivas camadas nitretadas.

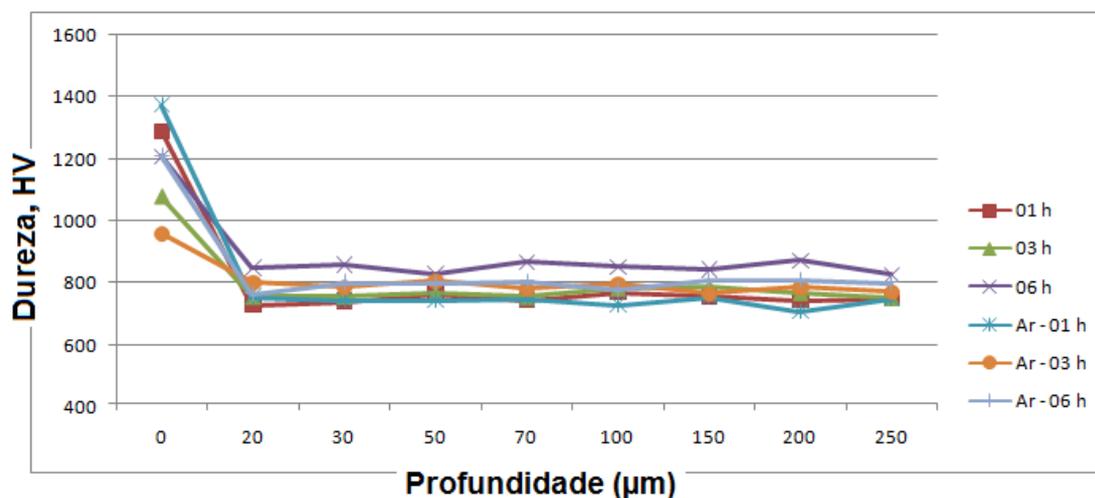


Figura 3. Perfis de dureza das camadas nitretadas com uma mistura gasosa de 10% N₂, a 500°C por 1 hora, 3 horas e 6 horas com e sem a adição de argônio.

Observa-se que tempos de nitretação mais longos (6 horas) não promovem uma elevação da dureza da camada nitretada perto da superfície do material, o que resulta em queda da resistência ao desgaste como pode ser visto nos gráficos da Figura 4. Em virtude do caráter sistêmico do desgaste tais alterações sugerem mudanças nos mecanismos de desgaste.

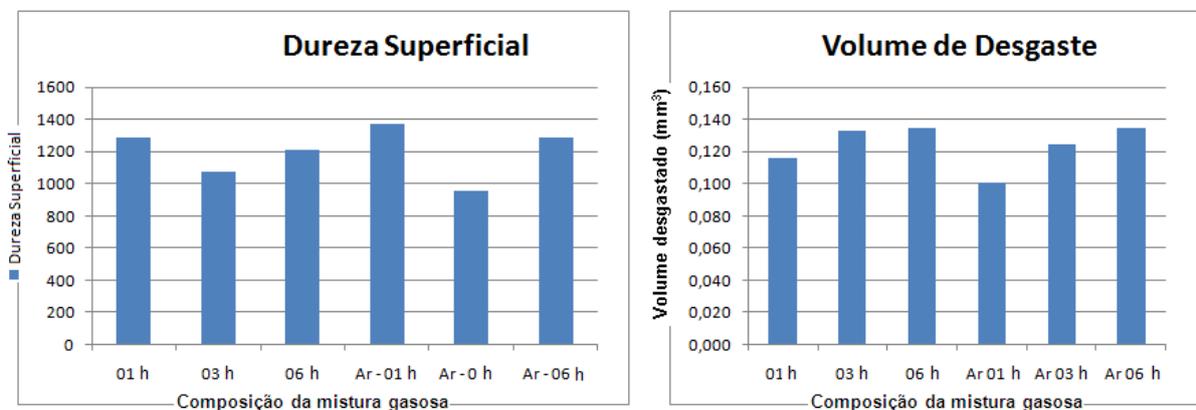


Figura 4. Dureza superficial e volume desgastado do aço AISI D2. Nitretação a 500°C por 1 hora, 3 horas e 6 horas com e sem a adição de Argônio.

A Figura 5 mostra a camada nitretada obtida por 6 horas e na temperatura 500°C. Se por um lado tempos mais longos favorecem a formação de camadas mais espessas em relação àquelas obtidas em tempos mais curtos, por outro lado, levam a uma diminuição da resistência ao desgaste abrasivo do material.

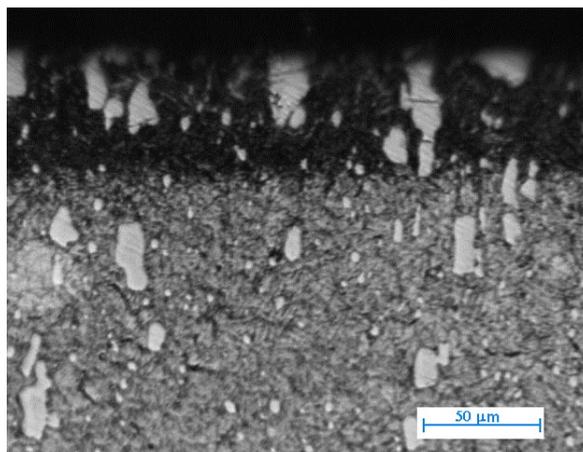


Figura 5. Microestrutura da camada nitretada após nitretação com uma mistura gasosa de 10% de N₂, por um tempo de 6 horas. Ataque Nital.

A Figura 6 apresenta os resultados de coeficiente de desgaste microabrasivo para as camadas nitretadas obtidas em diferentes tempos, com e sem a adição de argônio à mistura de tratamento. Frente ao material não nitretado ($K=1,05 \times 10^{-12}$ m²/N), verifica-se que todas as camadas nitretadas apresentaram um menor coeficiente de desgaste microabrasivo: $8,92 \times 10^{-13}$; $9,34 \times 10^{-13}$ e $9,43 \times 10^{-13}$ m²/N, coeficientes estes respectivos aos tempos de 1 hora, 3 horas e 6 horas (sem a adição de argônio); e $7,50 \times 10^{-13}$; $8,81 \times 10^{-13}$ e $9,93 \times 10^{-13}$ m²/N respectivos aos tempos de 1 hora, 3 horas e 6 horas (com a adição de 2% de argônio). Portanto, há um aumento na resistência ao desgaste microabrasivo quando o material é submetido ao tratamento termoquímico de nitretação.

Verifica-se que, de todas as condições, o tratamento realizado por apenas 1 h, com a adição de 2% de argônio à atmosfera de nitretação, é o que oferece a máxima resistência ao desgaste microabrasivo ao aço ferramenta AISI D2 ($K=7,50 \times 10^{-13}$ m²/N).

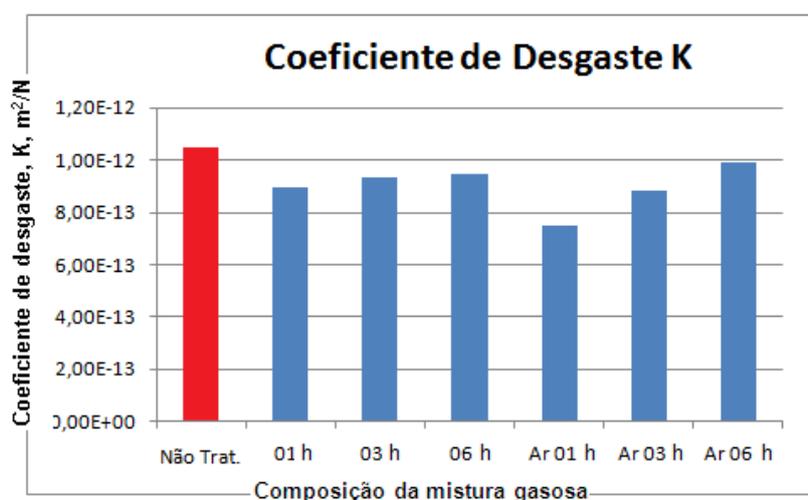


Figura 6. Comparação entre os coeficientes de desgaste das amostras tratadas e não tratada.

Segundo Franco Junior,⁽⁵⁾ a diminuição na resistência ao desgaste microabrasivo com o aumento do tempo de nitretação está associada à formação da camada branca (CB) e à precipitação de nitretos em contornos de grão da austenita prévia, perto da superfície do material. No entanto, a formação de CB não foi evidenciada neste trabalho.

4 CONCLUSÃO

A resistência ao desgaste microabrasivo do aço ferramenta para trabalho a frio AISI D2 nitretado aumenta com a sua dureza superficial. A adição de 2% de argônio à mistura de gás usada no tratamento termoquímico de nitretação, realizado em curtos tempos (como o de 1 h), permite obter na superfície do aço camadas nitretadas de alta dureza superficial e de alta resistência à abrasão.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Propemm-IFES que tornou possível a realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- 1 MISRA, A. and FINNIE, J., A Review of the Abrasive Wear of Metals”, Trans. of the ASME. (104): 94-101, 1982.
- 2 ZUM GAHR, Karl-Heinz. Microstructure and wear of materials. Tribology series,. Amsterdam: Ed. Elsevier, 1987.
- 3 MENDANHA, A., GOLDENSTEIN, H., PINEDO, C.E. 2003. Tenacidade do aço ferramenta para trabalho a frio AISI D2 – parte I: Influência da microestrutura de partida; parte II: Influência do ciclo de tratamento térmico. In: Anais do 1º Encontro de Integrantes da Cadeia Produtiva de Ferramentas, Moldes e Matrizes”, 29 – 30 de outubro de 2003, São Paulo/SP.
- 4 BOURITHIS, L., PAPADIMITRIOU, G.D., SIDERIS, J. Comparison of wear properties of tool steels AISI D2 and O1 with the same hardness. Tribology International, v.39, p.479-489, 2006.
- 5 FRANCO JUNIOR, A. R. (2003). Obtenção de Revestimentos Dúplex por Nitretação a Plasma e PVD-TiN em Aços Ferramenta AISI D2 e AISI H13, Tese de Doutorado, EP-USP. São Paulo, 2003.
- 6 VILLARES METALS S.A. Aços para trabalho a frio VD-2. Aços ferramenta Villares, Catálogo técnico, 1992(b).
- 7 RUTHERFORD, K.L.; HUTCHINGS, I.M. A micro-abrasive wear test, with particular application to coated system. Surface and Coatings Technology, v. 79, pp. 231-239, 1996.
- 8 TREZONA R.I.; ALLSOPP D.N.; HUTCHINGS I.M. Transitions between two-body and three-body abrasive wear: influence of test conditions in the microscale abrasive wear test. Wear, v. 225-229, n.1, pp. 205-214, 1999.