

# ESTUDOS DE CASO ANALISADOS NA DISCIPLINA 'PROTEÇÃO DE SUPERFÍCIES' NA UTFPR EM FERRAMENTAS SUJEITAS AO DESGASTE<sup>1</sup>

*Giuseppe Pintaúde<sup>2</sup>*

## **Resumo**

Este trabalho apresenta resultados dos estudos de caso analisados pelos alunos da disciplina Proteção de Superfícies do curso de Tecnologia Mecânica do UTFPR, voltados para a fabricação de ferramentas. Os estudos de caso foram baseados em componentes industriais relacionados com a cadeia de ferramentas, moldes e matrizes, que estavam sujeitos a algum tipo de desgaste. A metodologia utilizada incorpora uma abordagem científica baseada na norma DIN 50320. Em cada um dos casos foi proposta uma solução para minimizar o desgaste. Encontrou-se dificuldade em associar os resultados com aqueles publicados na literatura nacional, que além de ser escassa, utiliza uma abordagem empírica que não faz uso do conceito sistêmico necessário para a análise de componentes sujeitos ao desgaste.

**Palavras-chave:** Desgaste; Seleção de materiais; Educação continuada.

---

<sup>1</sup> Trabalho apresentado no 4º Encontro da Cadeia de Ferramentas, Moldes e Matrizes, 2 a 5 de maio de 2006, Joinville, SC.

<sup>2</sup> Engenheiro Metalúrgico, Dr. em Engenharia, Professor do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais – PPGEM, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR.

## 1 INTRODUÇÃO

O Departamento de Mecânica – DAMEC da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, UTFPR (antigo Centro Federal de Educação Tecnológica do Estado do Paraná, CEFET-PR) administra três cursos de graduação, sendo eles dois de Tecnologia e o de Engenharia Industrial Mecânica.

A disciplina Proteção de Superfícies faz parte da grade curricular da Tecnologia em Mecânica, modalidade Gestão da Manufatura, ministrada pela Área de Materiais do DAMEC. O ementário da mesma é:

- |  |  |
|--|--|
| 1 – Propósito dos revestimentos            | 5 – Propósito da transformação superficial                       |
| 2 – Tipos e aplicações dos revestimentos   | 6 – Processos de transformação superficial                       |
| 3 – Métodos de aplicação dos revestimentos | 7 – Métodos de aplicação da transformação superficial            |
| 4 – Análise e seleção de revestimentos     | 8 – Análise e seleção dos processos de transformação superficial |

No início de cada semestre letivo, os alunos recebem um desafio: propor soluções alternativas para um componente desgastado. Este desafio deve ser cumprido num período de 4 a 5 semanas.

Este trabalho apresenta estudos de caso analisados em sala-de-aula pelos alunos. Os temas são voltados para a seleção de ferramentas em operações de corte, facas circulares e punção. Discute-se a necessidade de aplicação da metodologia na indústria, a falta de literatura nacional na área e também a necessidade de se reproduzir em laboratório os mecanismos de desgaste encontrados na prática industrial.

## 2 METODOLOGIA

A metodologia proposta e aplicada aos projetos apresentados pelos alunos têm como referência básica às diretrizes da DIN 50320 – Análise Sistemática dos Processos de Desgaste e Classificação dos Fenômenos de Desgaste (1). Felizmente, a Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais disponibilizou em 1997 este material em português, possibilitando um fácil acesso às informações contidas neste documento, pois o original se encontra em alemão.

Uma distinção a ser realizada pelos alunos é a de propriedades relevantes de cada um dos elementos e variáveis operacionais do *sistema tribológico* (Figura 1). A DIN50320 é clara neste aspecto, ilustrando com exemplos o papel de variáveis operacionais como força normal e velocidade. Mesmo assim, nota-se que muitos alunos confundem o que venha a ser “variáveis operacionais” e “propriedades dos elementos”, dificuldade esta que é sanada no decorrer do curso.

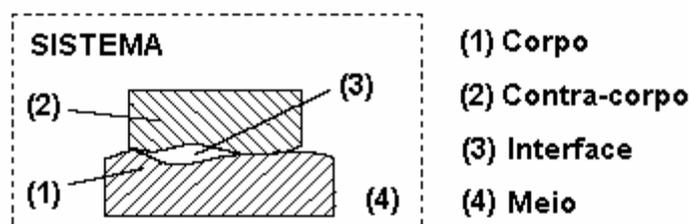


Figura 1. Definição de sistema tribológico.<sup>(1)</sup>

Posteriormente, os alunos são encorajados a exercitarem a quantificação do desgaste, que consiste em: (i) ensaios de desgaste de campo; (ii) ensaios de desgaste laboratório e; (iii) modelagem matemática. O material utilizado para esta finalidade é o livro-texto *Tribology: Friction and Wear of Engineering Materials* <sup>(2)</sup>

Por fim, os alunos caracterizam o desgaste dos componentes utilizando como material de apoio a palestra proferida pelo professor Peter Blau <sup>(3)</sup> em 2001, no *15th International Congress on Wear of Materials* (Tabela 1) e os recursos disponíveis no Laboratório de Superfícies e Contato – LASC, da UTFPR, que são a microscopia óptica com baixo aumento e a rugosidade com apalpador mecânico, associados com programas computacionais, que facilitam a quantificação das medidas.

**Tabela 1.** Classificação dos tipos de monitoramento do desgaste. <sup>(3)</sup>

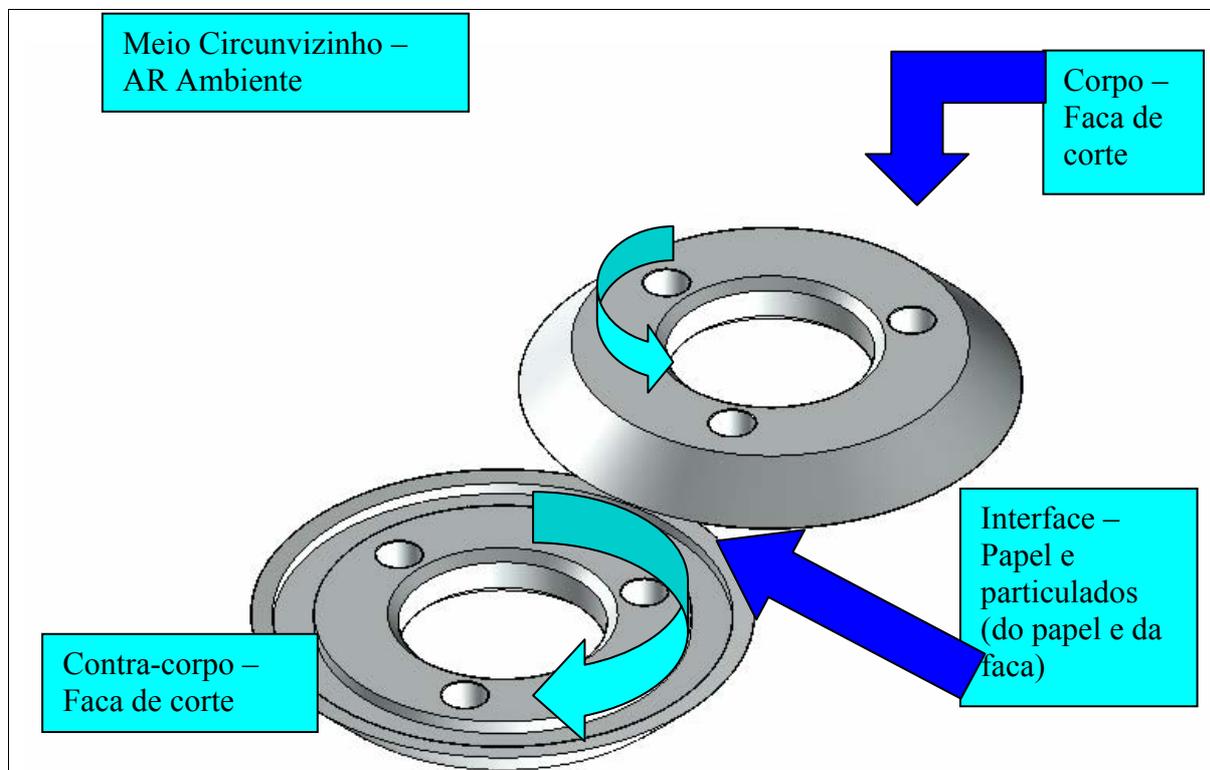
Métodos Diretos	Métodos Indiretos
Observação da superfície (ex. aumento do brilho)*	Vibração de um eixo
Medidas de rugosidade*	Análise de óleo (Ferrografia)
Perda de massa	Torque e/ou corrente de motor
Sensores de deslocamento	

\*utilizadas neste trabalho.

### 3 RESULTADOS

#### CASO 1 – Corte de papel por facas circulares fabricadas em aço AISI D6

A Figura 2 apresenta o sistema tribológico de corte de papel por meio de facas circulares.



**Figura 2.** Sistema tribológico de corte de papel por meio de facas circulares.

O sistema tem por objetivo cortar folhas de papel, com gramatura variando de  $75 \text{ g/m}^2$  à  $150 \text{ g/m}^2$ . Este objetivo é alcançado por meio de um processo em que a folha é tracionada na direção de duas facas circulares de corte, que giram em sentidos opostos entre si e faceadas uma contra a outra. A folha passa entre as mesmas, ocorrendo o corte. A Figura 3 mostra uma fotografia do processo.



**Figura 3.** Papel sendo cortado pelas facas circulares.

As facas circulares operam com uma área de contato pontual, quando novas, sujeitas a uma força de contato que varia de 8 a 12 N e uma rotação de 510 rpm. O ciclo de trabalho diário é de 12 h. Estas condições fazem com que as facas possuam um tempo de vida útil de aproximadamente 2500 h.

#### Descrição dos tribo-elementos

Corpo e contra-corpo: FACA CIRCULAR DE CORTE

As facas circulares possuem um gume de corte com ângulo de  $40^\circ$ , diâmetro entre 47 e 48 mm e são fabricadas em aço AISI D6, temperado e revenido com de dureza entre 58 e 60 HRC. São afiadas por retífica, de modo que a rugosidade média (Ra) atinja a faixa entre 0,2 a  $0,8 \mu\text{m}$ .

Interface: PAPEL

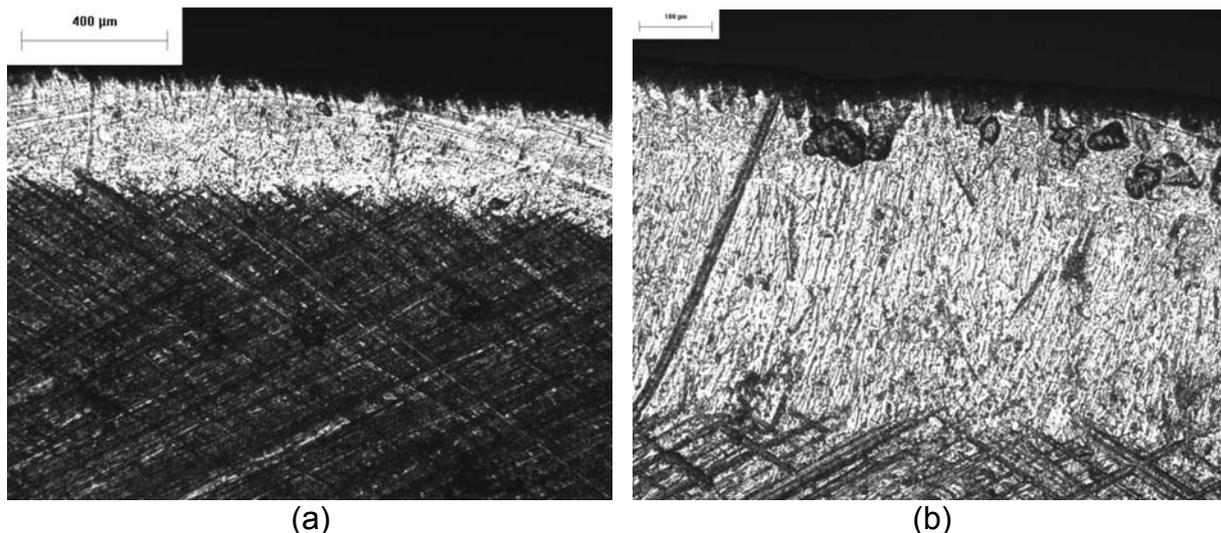
A gramatura do papel cortado é de 75 ou  $150 \text{ g/m}^2$  e é constituído por massa celulósica, carbonato e sulfato de micro-sílica, constituintes que podem ter uma dureza de aproximadamente 1000 HV.

Meio: AMBIENTE CLIMATIZADO

As condições ambientes são controladas de forma que a umidade relativa do ar varie entre 45 e 55% a temperatura entre 18 e  $22^\circ\text{C}$ .

#### Caracterização do desgaste

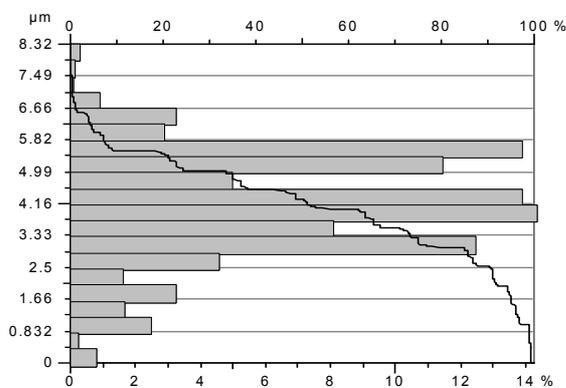
A Figura 4 apresenta a micrografia da superfície original e desgastada das facas circulares.



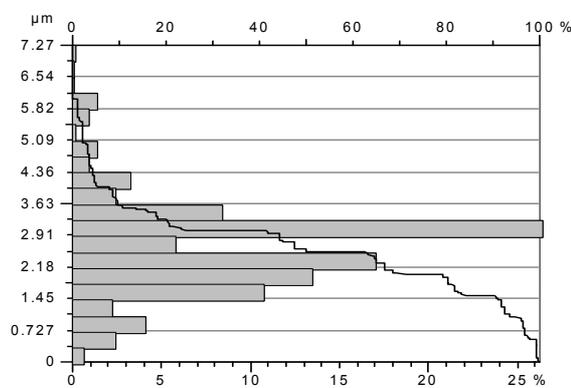
**Figura 4.** Micrografias do gume de corte da faca: (a) região desgastada e região original retificada; (b) ampliação da região desgastada.

A Figura 4 mostra que houve desgaste ocasionado por abrasão, devido à presença do papel no meio interfacial e ao próprio contato entre as facas. Pode-se considerar um outro agente abrasivo, o material arrancado da superfície da faca (Figura 4b, crateras), que possui maior dureza que a matriz do aço AISI D6, pois foi deformado plasticamente. Da mesma forma, este material possui carbonetos de elevada dureza, que potencializam este processo.

A Figura 5 apresenta a distribuição das frequências de alturas de rugosidade antes e após o processo de desgaste dos gumes de corte das facas.



**Figura 5 a).** Frequência de altura das asperezas na superfície antes do processo de desgaste.



**Figura 5 b)** Frequência de altura das asperezas na superfície após o processo de desgaste.

Percebe-se com a comparação entre as Figuras 5a e 5b que houve uma quebra ou deformação dos picos de rugosidade, pois a faca recém-retificada possui asperezas que chegam a alcançar 8 μm, enquanto a faca desgastada possui picos que raramente ultrapassam 5 μm. Na Figura 5a tem-se que, aproximadamente, 67% das asperezas estão acima de 3,5 μm, enquanto na Figura 5b, 19% das asperezas ultrapassam 3,5 μm de altura.

A Tabela 2 apresenta os valores médios de rugosidade das regiões analisadas da faca circular.

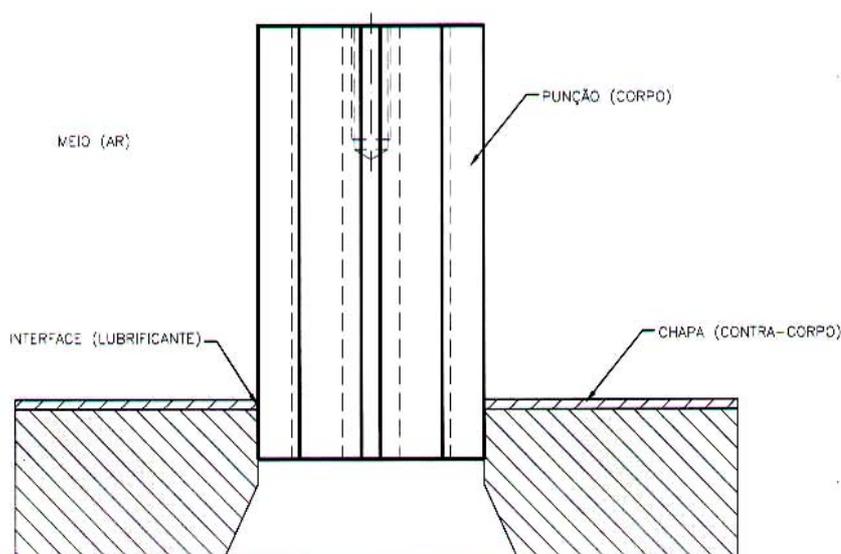
**Tabela 2.** Rugosidade média (Ra) da faca circular analisada (cut-off 0,8 mm).

SUPERFÍCIE	Ra ( $\mu\text{m}$ )				Ra médio ( $\mu\text{m}$ )
	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	
Recém Retificada	1,070	1,086	0,756	1,280	1,048
Desgastada	0,763	0,646	0,771	0,658	0,709

A Tabela 2 mostra que a rugosidade da faca recém-retificada é maior do que a especificada no projeto.

**CASO 2 – Puncionamento de chapa de aço AISI 1020 por ferramenta fabricada em aço AISI D2**

A Figura 6 apresenta o sistema tribológico de corte de chapa por meio de puncionamento.



**Figura 6.** Sistema tribológico de corte de chapa por meio de puncionamento.

Os punções operam com golpes a velocidade constante de 10 mm/s, sujeitas a uma força de corte aproximada de 120 N (1203,2 kgf). O ciclo de trabalho diário é de 12.000 golpes.

Descrição dos tribo-elementos

Corpo: PUNÇÃO

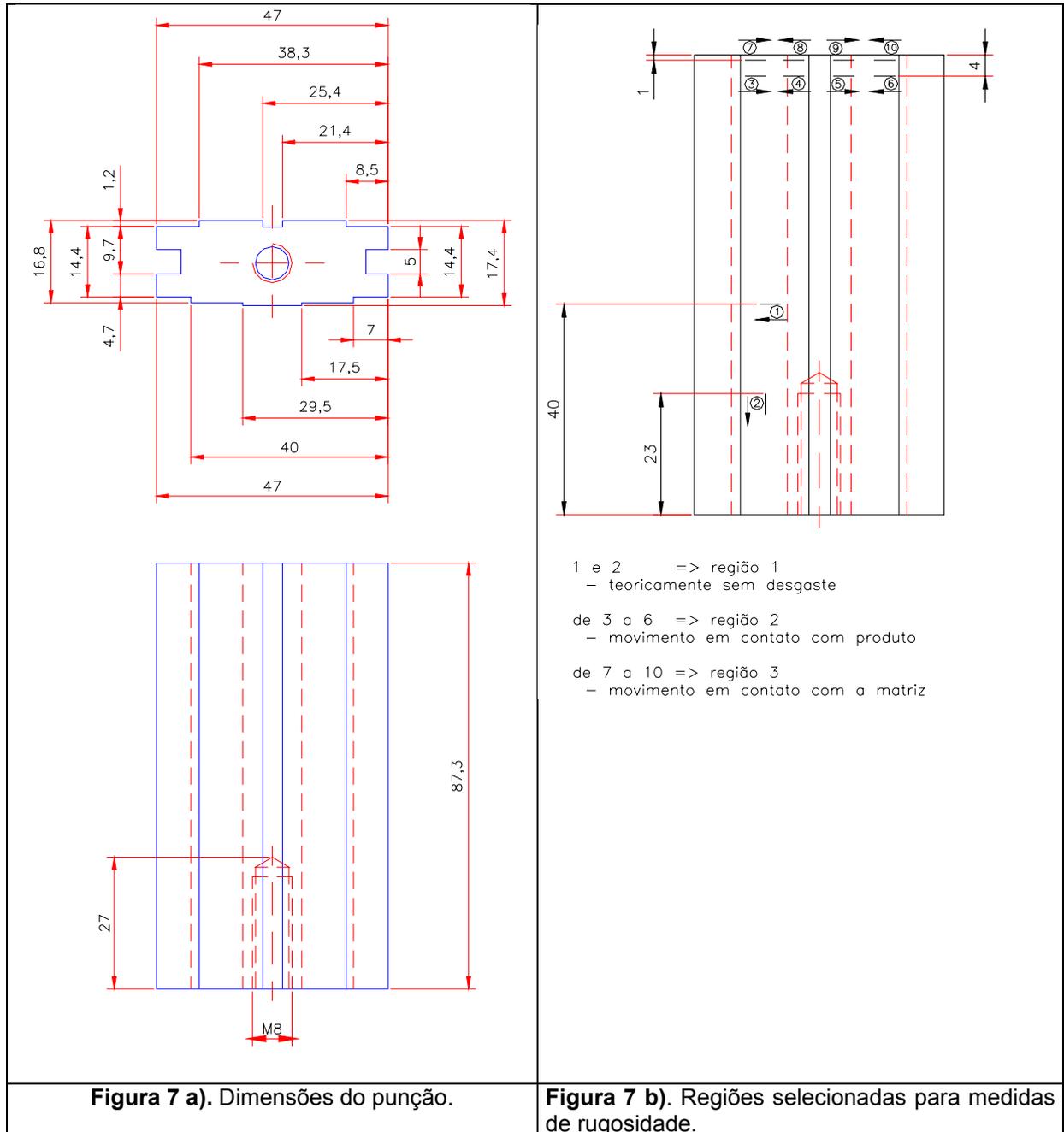
Fabricado em aço ferramenta AISI D2 temperado e revenido, com dimensões de 17,4 x 47 x 87,3 mm. A dureza foi medida diretamente na peça, obtendo-se valor médio de  $56,7 \pm 0,3$  HRC. Este punção foi usinado por eletroerosão a fio, obtendo-se

as dimensões apresentadas na Figura 7, onde também estão apresentadas as regiões selecionadas para medidas de rugosidade.

Contra-corpo: CHAPA DE AÇO SAE 1020 (dureza entre 130 e 165 HB).

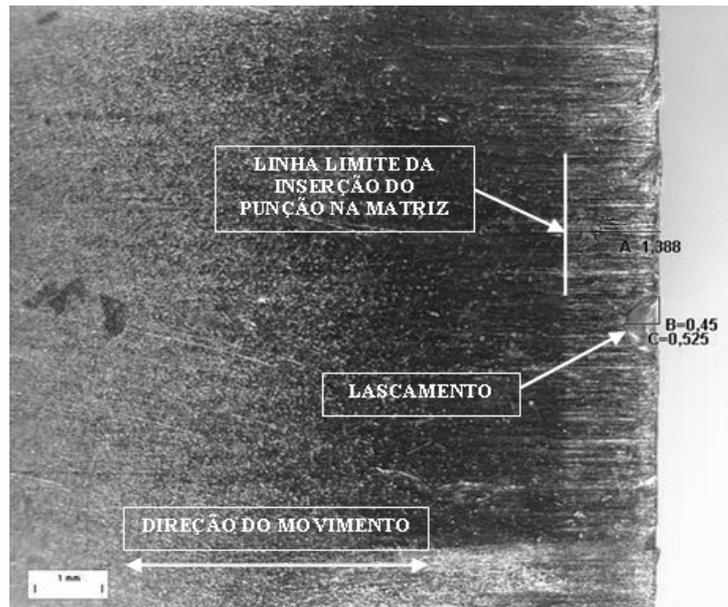
Interface: operação realizada com LUBRIFICANTE.

Meio: AMBIENTE SEM CONTROLE DE UMIDADE E/OU TEMPERATURA.



### Caracterização do desgaste

A Figura 8 apresenta a micrografia da superfície desgastada do punção.



**Figura 8.** Micrografia da superfície desgastada do punção. Indica-se a região limite de contato entre o punção e a chapa.

Pode-se observar na Figura 8 um riscamento intenso na região de contato, indicando a presença de um agente abrasivo, o que diminui a possibilidade de ocorrência de adesão. Além disso, observam-se pequenas lascas nesta superfície de trabalho.

A Tabela 3 apresenta os valores médios de rugosidade das regiões analisadas do punção.

**Tabela 3.** Rugosidade média ( $R_a$ ) ( $\mu\text{m}$ ) do punção analisado (cut-off 0,8 mm).

Região	Valores pontuais das medidas ( $\mu\text{m}$ )
1	0,7; 0,74.
2	0,7; 0,38; 0,22; 0,51.
3	0,35; 0,39; 0,32; 0,21.

Os resultados da Tabela 3 mostram que há uma queda nos valores de rugosidade do punção, à medida que as mesmas sejam feitas mais próximas da região de contato com a chapa.

#### 4 DISCUSSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os casos apresentados, embora sejam sistemas diferentes, apresentaram um grande número de semelhanças.

Observações foram realizadas em sala-de-aula a respeito do processo de preparação da superfície a ser usinada, seja por retífica, seja por eletroerosão a fio. Ambos processos são causadores de modificações na rugosidade inicial, uma variável que deve ser controlada e certamente carece de análise sistematizada em materiais sujeitos ao desgaste.<sup>(4)</sup> Além disso, esses processos podem causar aquecimentos locais na superfície com diversos desdobramentos, desde transformações de fase até introdução de tensões residuais.

Outra semelhança entre os sistemas diz respeito à queda nos valores de rugosidade nas regiões desgastadas, provavelmente por deformação plástica das

asperezas em contato. O processo de deformação plástica pode ser decorrente da ação abrasiva, que gera micro-corte das asperezas. O agente causador da abrasão não foi investigado com detalhe, mas conferido este papel a particulados (carga mineral do papel e poeira no caso do punção).

Além desse mecanismo, foi observado lascamento em regiões próximas às superfícies.

Resultados sobre esses efeitos foram pesquisados pelos alunos na Internet como exemplifica a Figura 10, onde se nota a ausência das seguintes informações:

- descrição do ensaio laboratorial realizado e;
- falta de inter-relação entre os modos de falha observados (a deformação plástica pode ter sido consequência do processo abrasivo).

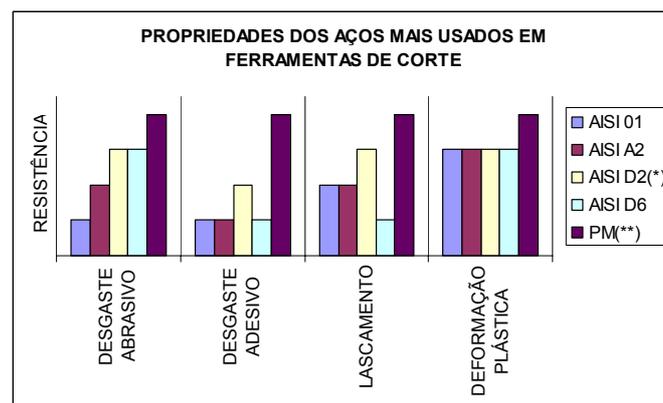


Figura 10. Desempenho de aços usados para ferramentas. <sup>(5)</sup>

Embora as informações encontradas sejam preciosas em relação aos dois casos analisados, seria extremamente útil que a academia brasileira auxiliasse a cadeia de ferramentas, moldes e matrizes, divulgando material suficiente para que a classificação dos fenômenos de desgaste possua uma linguagem comum.

Por outro lado, as indústrias do setor poderiam levar mais casos a serem analisados por grupos de pesquisa em tribologia, de modo que seja possível reproduzir os mecanismos de desgaste atuantes em laboratório.<sup>(6)</sup> Isto propiciaria rapidez de informação na seleção de materiais resistentes e maior entendimento dos mecanismos de desgaste de ferramentas.

## REFERÊNCIAS

- 1 Norma DIN 50320: Análise sistemática dos processos de desgaste. Classificação dos fenômenos de desgaste. **Metalurgia e Materiais**, v.53, n.470, p. 619-622, out. 1997.
- 2 HUTCHINGS, I.M. **Tribology**: friction and wear of engineering materials. London: Edward Arnold, 1992.
- 3 Tutorial Course of "15th Int. Congress on Wear of Materials", Vancouver, 2001.
- 4 LEITE, M.V.; PINTAÚDE, G. Effect of initial surface roughness on wear mechanisms of contact fatigue – tests with austempered ductile iron. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF MECHANICAL ENGINEERING, 18., 2005, Ouro Preto, MG. **Anais...** Rio de Janeiro : ABCM, 2005. Paper 2005-0744. CD-Rom.

- 5 YOSHIDA, S. **Seleção de aços e tratamentos térmicos para ferramentas de conformação a frio – Estamparia**. Disponível em: <<http://www.brasimet.com.br/artigos/Estamparia-Modif..pdf>> Acesso em: 14 ago. 2005.
- 6 MELLO, J.D.B.; CAMIOTO, L. M. Resistência ao desgaste de aços inoxidáveis para cutelaria industrial. **Revista Horizonte Científico**, v. 4, 2005. Disponível em: < <http://www.propp.ufu.br/revistaeletronica/>>. Acesso em; 3 mar. 2006

# CASE STUDIES ANALYZED IN 'PROTECTION OF SURFACES' GRADE AT UTFPR ON TOOLS SUBJECTED TO WEAR

*Giuseppe Pintaúde*

## **Abstract**

This paper presents results of case studies analyzed by undergraduate students of “Protection of Surfaces”, a discipline of Mechanical Technology undergraduate course at UTFPR, specifically for tools. The cases were base on industrial components linked to the manufacturing tools, which were subject to any kind of wear. The employed methodology uses a scientific approach based on the DIN 50320 Standard. In each case was proposed a solution to minimize the wear. It was found some difficulty to link the results to those already published. The Brazilian literature is insufficient and it uses empirical approach without the systematic concepts, which is obligatory to analyze components subject to wear.

**Key words:** Wear, Materials selection; Continuous education.