

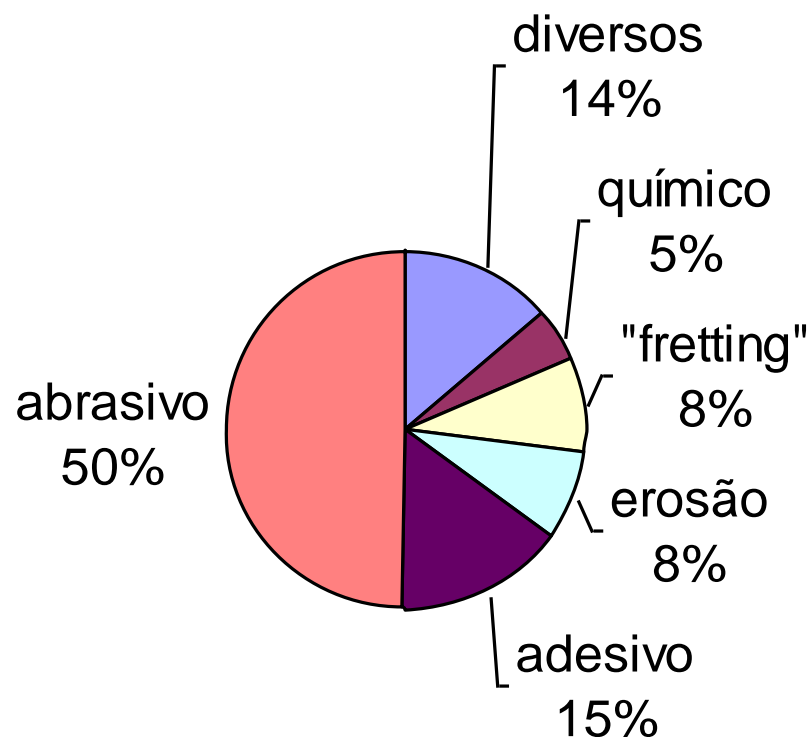
# DESGASTE ABRASIVO

# DESGASTE ABRASIVO

- Por que estudar desgaste abrasivo?
- Classificações versus mecanismos
- Ensaaios de desgaste: para quê?
- Efeitos de algumas variáveis
- Discussão sobre “severidade”

# Por que estudar desgaste abrasivo?

## importância do desgaste abrasivo



# Por que estudar desgaste abrasivo?

- Mineração e movimentação de terra
- Processamento de materiais
- Processamento e transporte de pós e lamas
- Sistemas envolvendo gás+partículas (turbinas, exaustão)
- Contaminação por partículas abrasivas em equipamentos mecânicos
- Processos de retífica, lixamento e polimento
- Corte por jato abrasivo



## Definições:

### • Desgaste abrasivo

Dureza

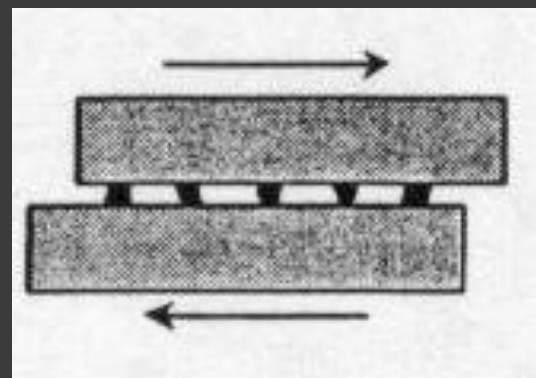
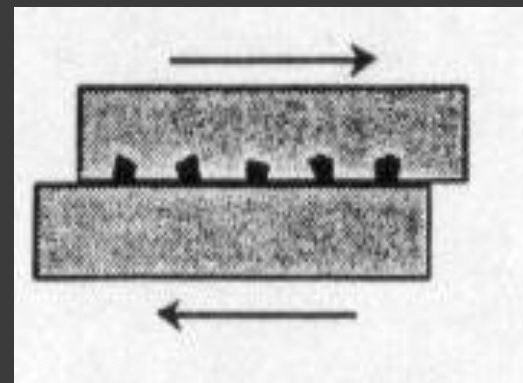
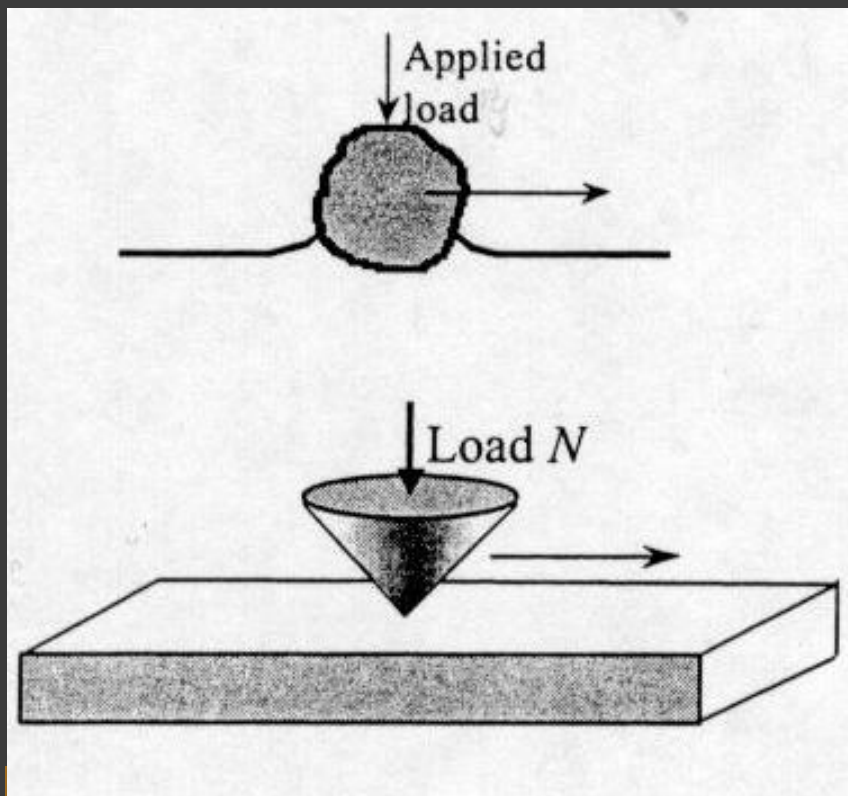
- Elevado limite elástico e tenacidade
- Tenacidade

### Erosão

Dureza  
Tenacidade

# Definições (ASTM G40)

**Desgaste abrasivo:** desgaste devido a partículas ou protuberâncias duras forçadas contra e movendo-se ao longo de uma superfície sólida.



**DESGASTE ABRASIVO**

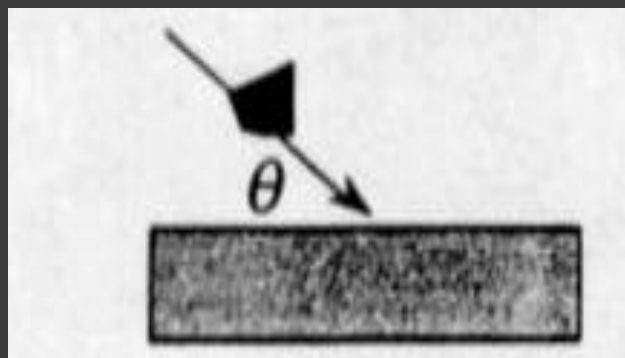
# Definições (ASTM G40)

**Desgaste erosivo:** perda progressiva de material de uma superfície sólida devido a interação mecânica com um fluido, um fluido multi-componente ou impacto (“impinging”) de líquido ou partículas sólidas.

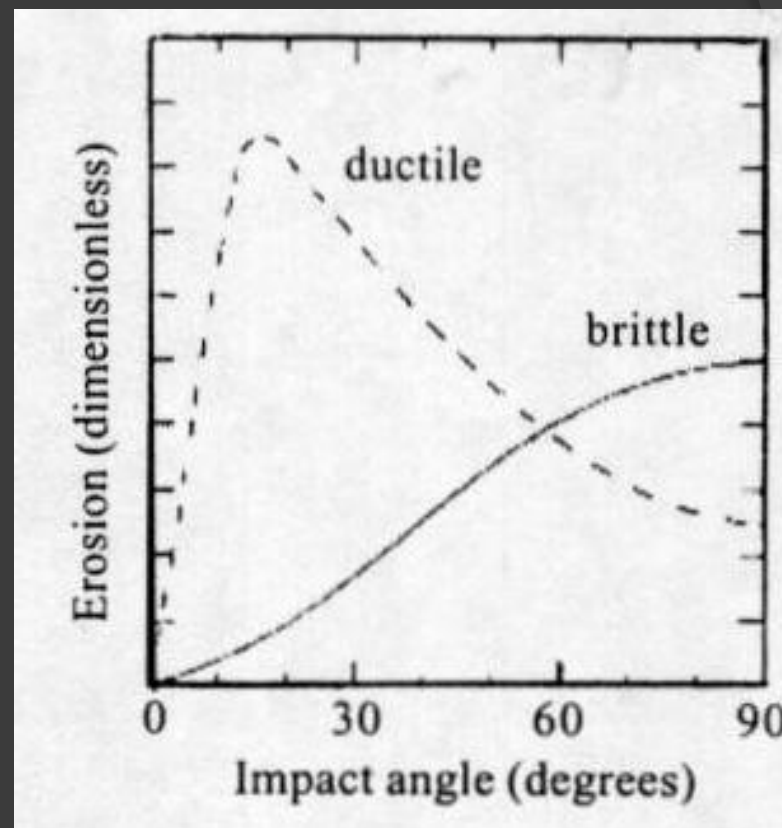
- Fatores: VELOCIDADE e ÂNGULO de incidência
- Presença de partículas duras; caso de lamas
- Similaridade com desgaste abrasivo



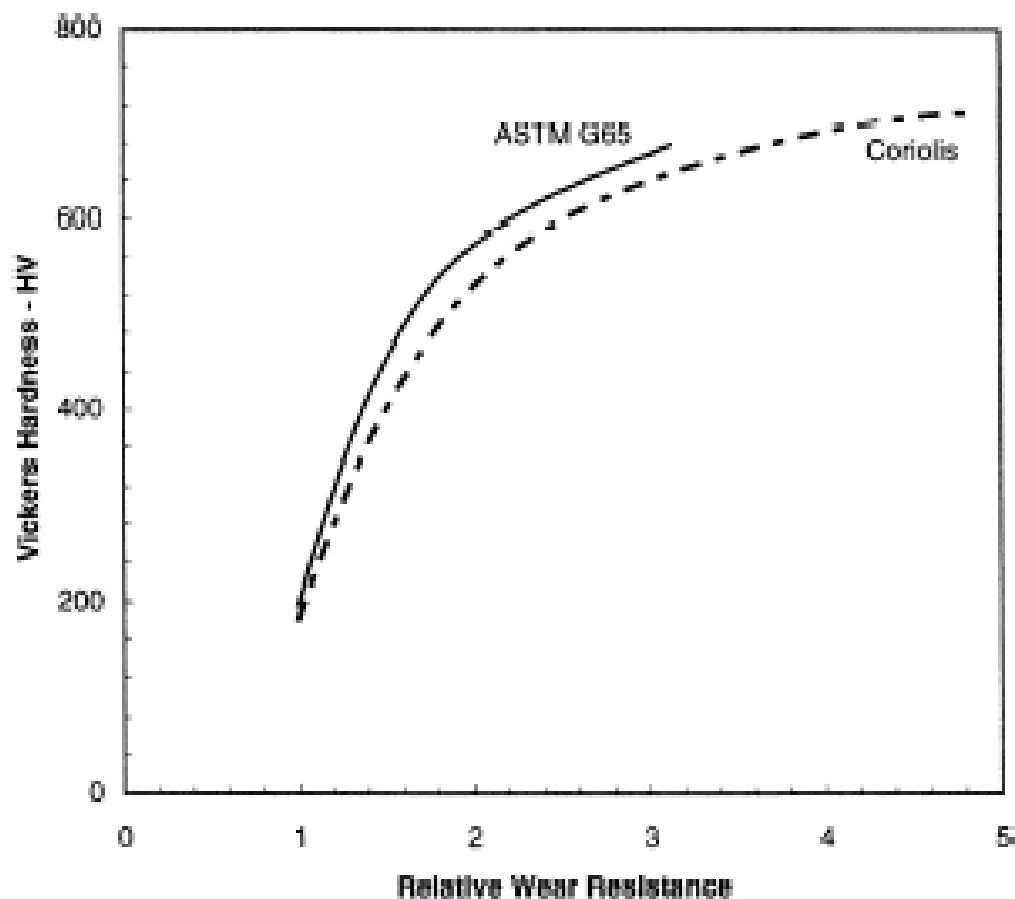
# abrasão – erosão



$$E = k V^n f(\Theta)$$



# abrasão – erosão por lama



Resultados similares em ensaio de erosão e de roda de borracha (aços com dureza entre 200 e 600 HV)

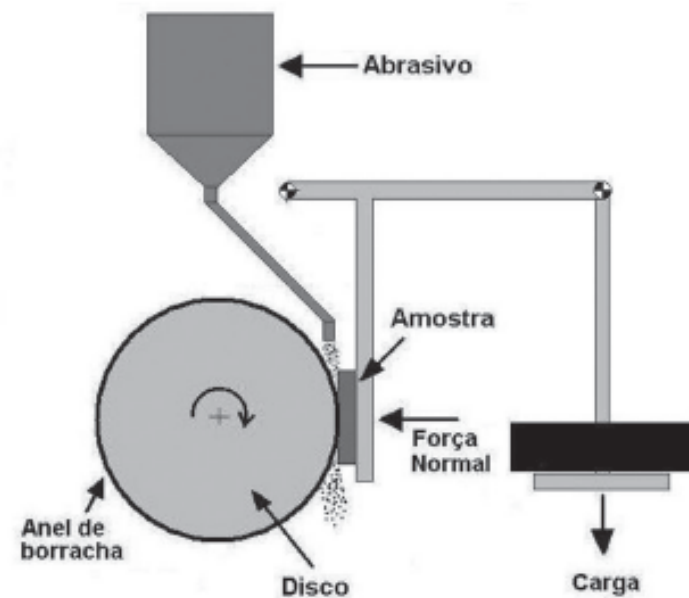


Figura 2. Esquema do abrasômetro Roda de Borracha.



# Classificações vs mecanismos

classificações

mecanismos

2 corpos / 3 corpos

“ low-stress ”

“ high-stress ”

“ gouging ”

Severo/moderado

Rolamento

Deslizamento/grooving

erosão

Sulcamento

Impressões

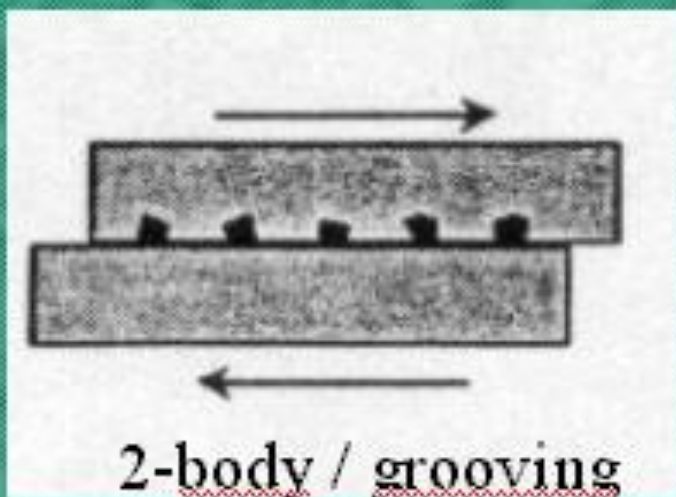
Microcorte

Microtrincamento

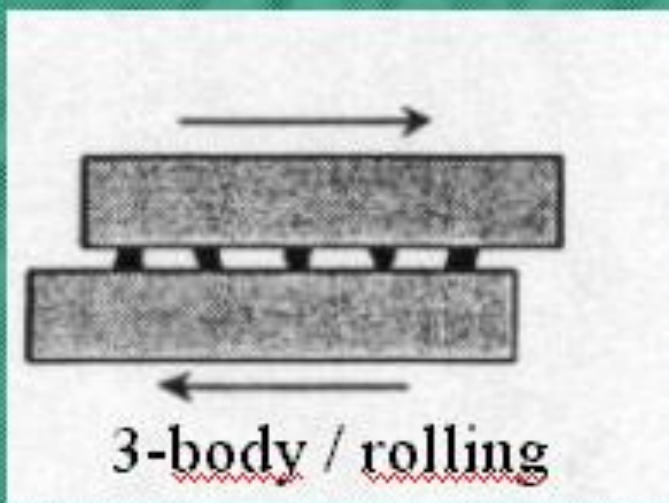
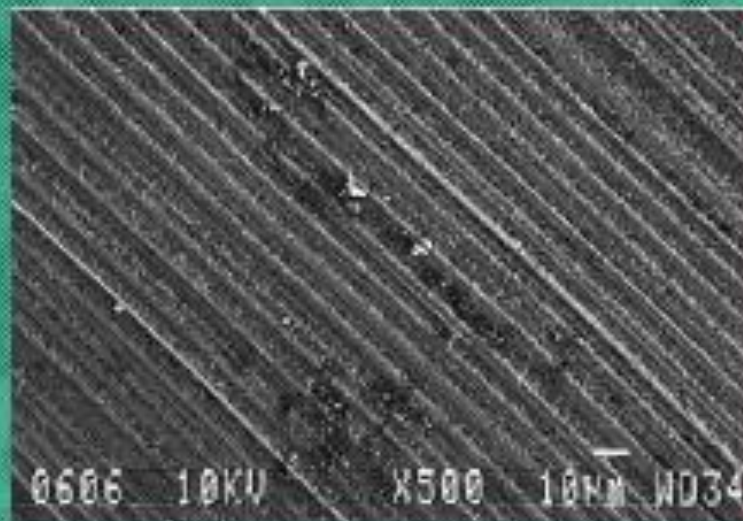
Microfadiga



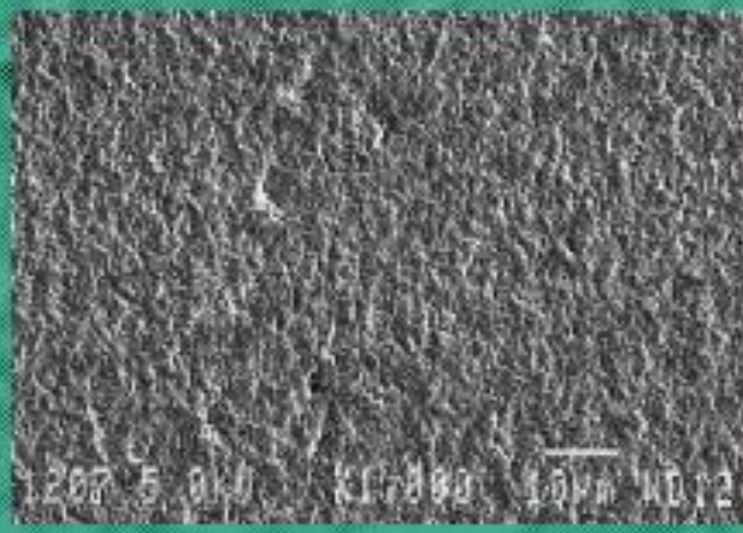
# Classificações vs mecanismos



Cort  
e/sul  
cam  
ento



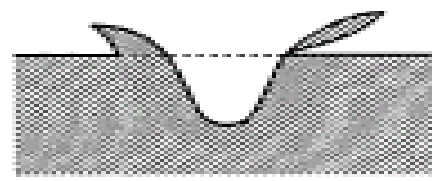
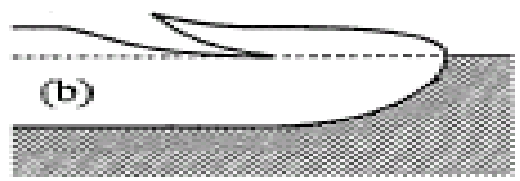
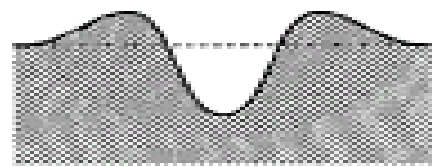
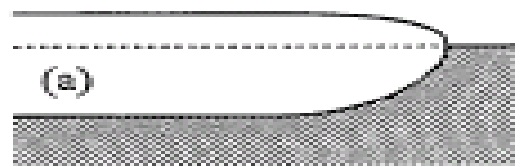
Sulca  
ment  
o/imp  
ressõ



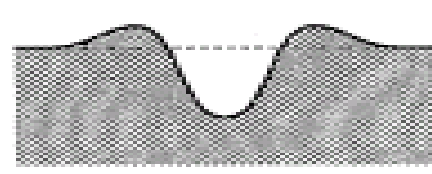
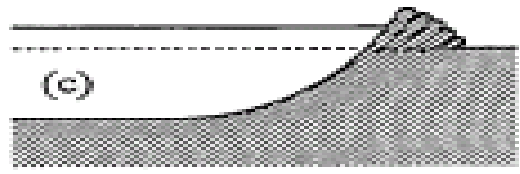
DESGASTE ABRASIVO

# Classificações vs mecanismos

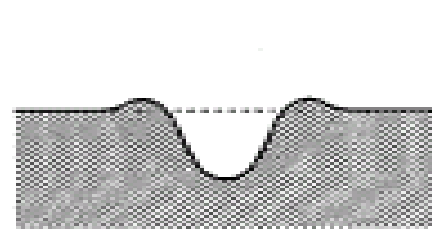
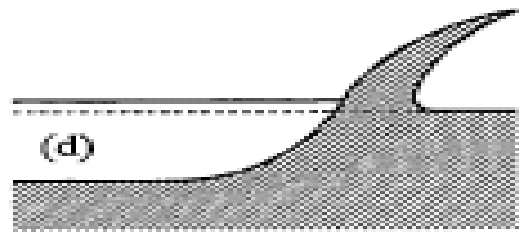
Sulcamento



Proa



Microcorte



Remoção  
por  
microfadiga

# Classificações versus mecanismos

Discussão “filosófica” : Por que classificar?

Classificar significa agrupar casos em conjuntos, admitindo-se que os elementos de cada conjunto tenham características comuns que levam a um desenvolvimento semelhante ou permitem um tratamento similar.

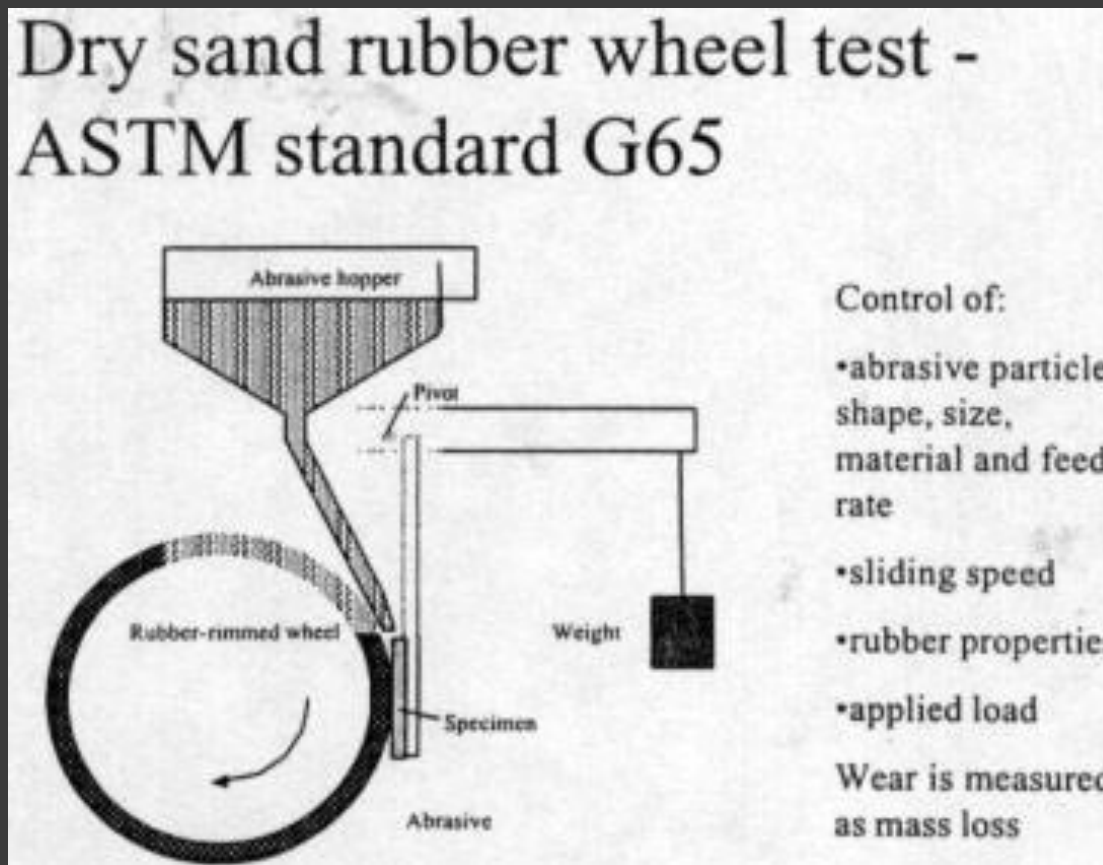
No caso de desgaste, as conseqüências práticas de classificar os tipos de desgaste seriam:

- Associar testes padronizados com situações práticas.
- Orientar a seleção e o desenvolvimento de materiais resistentes ao desgaste.



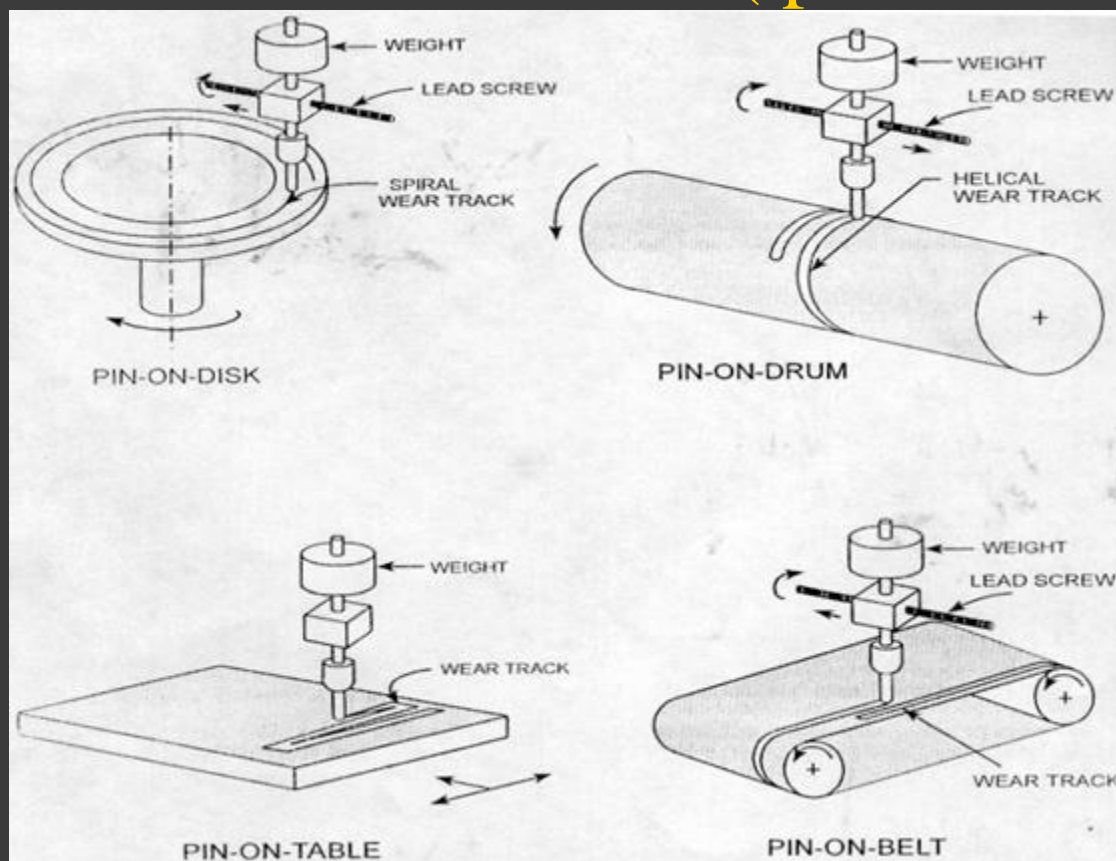
# referentes a cada classificação

- 3 corpos → ASTM G-65 (roda de borracha)



# Definir testes padronizados referentes a cada classificação

2 corpos → ASTM G-132 ( pino contra lixa)



# Orientar a seleção e o desenvolvimento de materiais resistentes ao desgaste

- 3 corpos → atuar sobre a resistência à fadiga
- 2 corpos → atuar contra o microcorte, p.ex. com a introdução de mais ou maiores partículas duras



# Problemas com a classificação

## 2 corpos vs. 3 corpos

Pressupõe mecanismos que nem sempre se verificam, ou que se alteram durante o processo.

- **Nos ensaios tomamos precauções para manter os pressupostos, evitando: engastamento de abrasivo na roda de borracha ; degradação do abrasivo da lixa; “clogging”.**
- **Nos casos práticos não temos controle sobre estas possibilidades.**

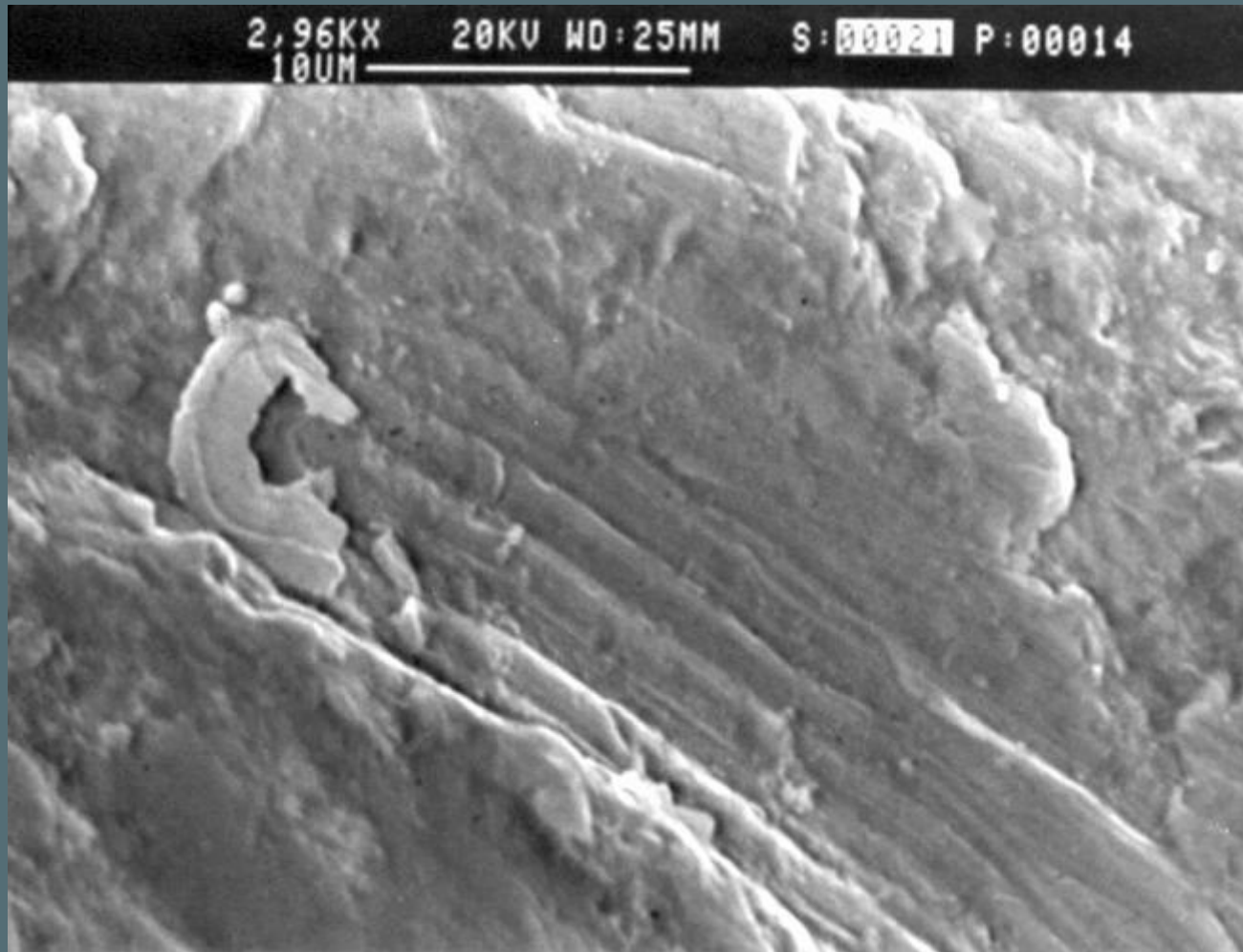
# **IPT** Problemas com a classificação 2 corpos vs. 3 corpos

Muitos casos práticos não se enquadram

- Calha de minérios : 2 corpos, porém distante do mecanismo pressuposto na definição clássica.
- Bolas de moinho: 3 corpos, mas se observam riscamentos “típicos” de 2 corpos.
- Britador: mecanismos diferentes em cada mandíbula



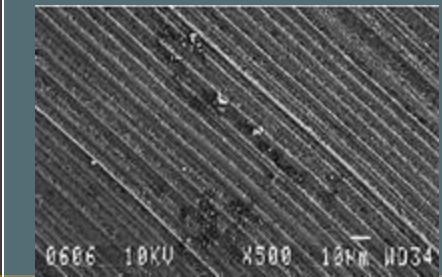
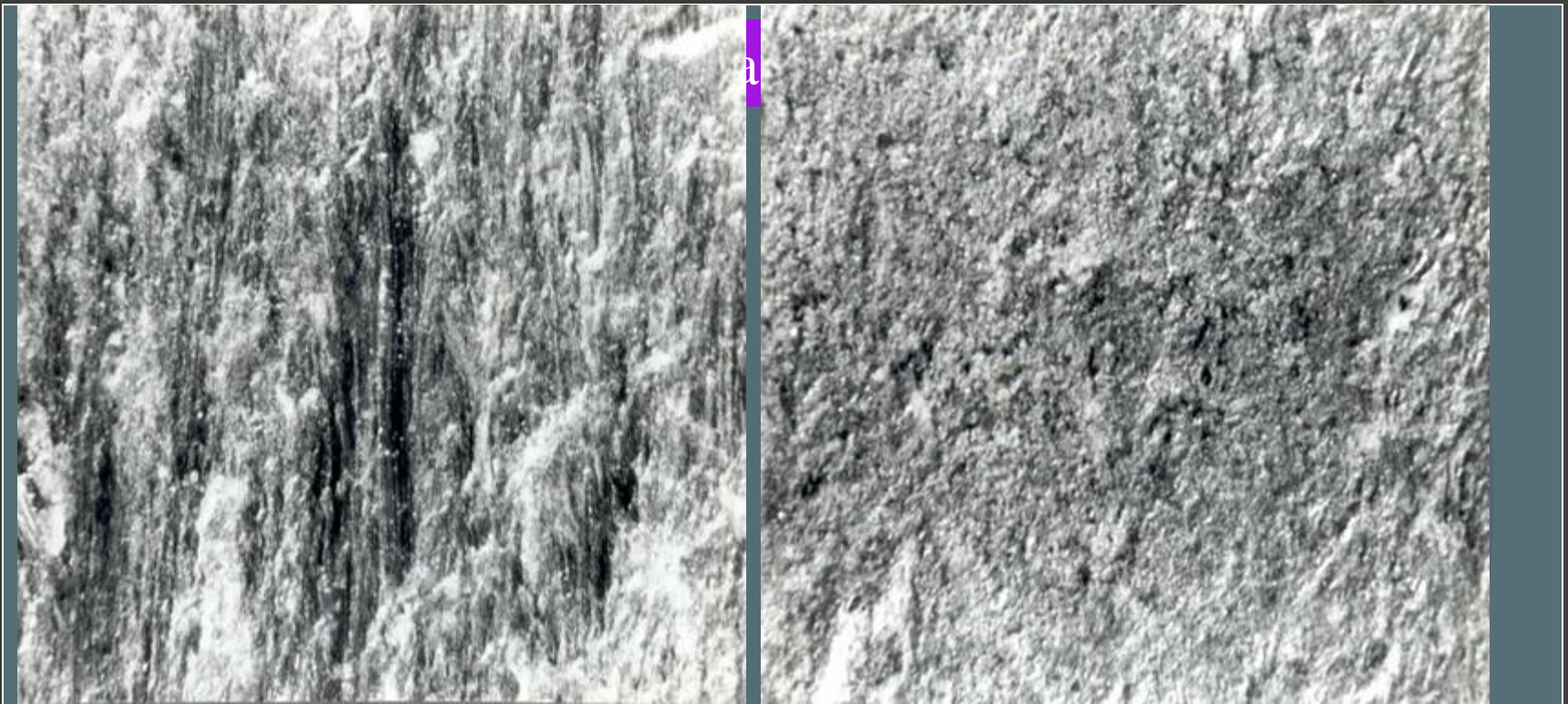
**IPT** Problemas com a classificação  
2 corpos vs. 3 corpos



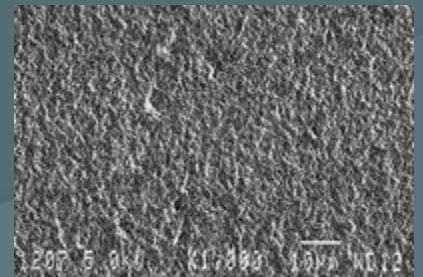
**DESGASTE ABRASIVO**

**58** congresso anual  
**ARBIM**  
RIO DE JANEIRO, julho 2003

**IPT** Problemas com a classificação  
2 corpos vs. 3 corpos



1 ensaio,  
2 mecanismos !!



# Problemas com a classificação 2 corpos vs. 3 corpos

À medida em que se dispõe de metodologias para identificar os mecanismos atuantes nos casos práticos, parece pouco produtiva a insistência no sistema de classificação 2 corpos vs. 3 corpos.

Ver. J. D. Gates, Wear, 214 (1998), 139-146



# “Low stress / high stress / gouging”

Esta classificação vem diretamente da prática na indústria de mineração:

- **Low stress (scratching):** calhas, alimentadores – processos em que o minério não é moído.
- **Ensaio : roda de borracha**
- **Seleção de material:** priorizar elevada dureza e presença de partículas duras (não há necessidade de compromisso com tenacidade)

# Low stress / high stress / gouging

- **High stress (grinding): moinhos – ocorre quebra do grão de minério.**

- **Ensaaios : pino contra lixa**

- **Seleção de material: compromisso entre resistência mecânica (dureza) e tenacidade ; partículas duras com tamanho e fração volumétrica controlados e maior tenacidade.**

# Low stress / high stress / gouging

- Gouging: deformações macroscópicas nas superfícies : britadores.
  - Ensaio : britador de laboratório
  - Seleção de material: priorizar tenacidade .



# Low stress / high stress / gouging

Qual a utilidade, atualmente, dessa classificação? É possível adotar critérios mais científicos e quantitativos:

- medição / estimativa de valores de tensões.
- análise das superfícies de desgaste
- medição de efeitos de endurecimento superficial

# Para que fazer ensaios ?

1º passo : definir o problema

- Resolução de problemas?
- Seleção de materiais?
- Desenvolvimento de materiais ?
- Pesquisa básica sobre desgaste?

# Resolução de problemas

Caso típico: aumento inesperado das taxas de desgaste (diminuição de vida útil):

- Situação ideal: os materiais utilizados são ensaiados regularmente, utilizando-se um dos ensaios padronizados. Ensaios na situação de “crise” revelam possíveis desvios.
- Alguns ensaios podem evidenciar mudanças na agressividade do sistema ( p. ex. materiais processados tornam-se mais abrasivos)
- Importância de materiais e resultados de referência.

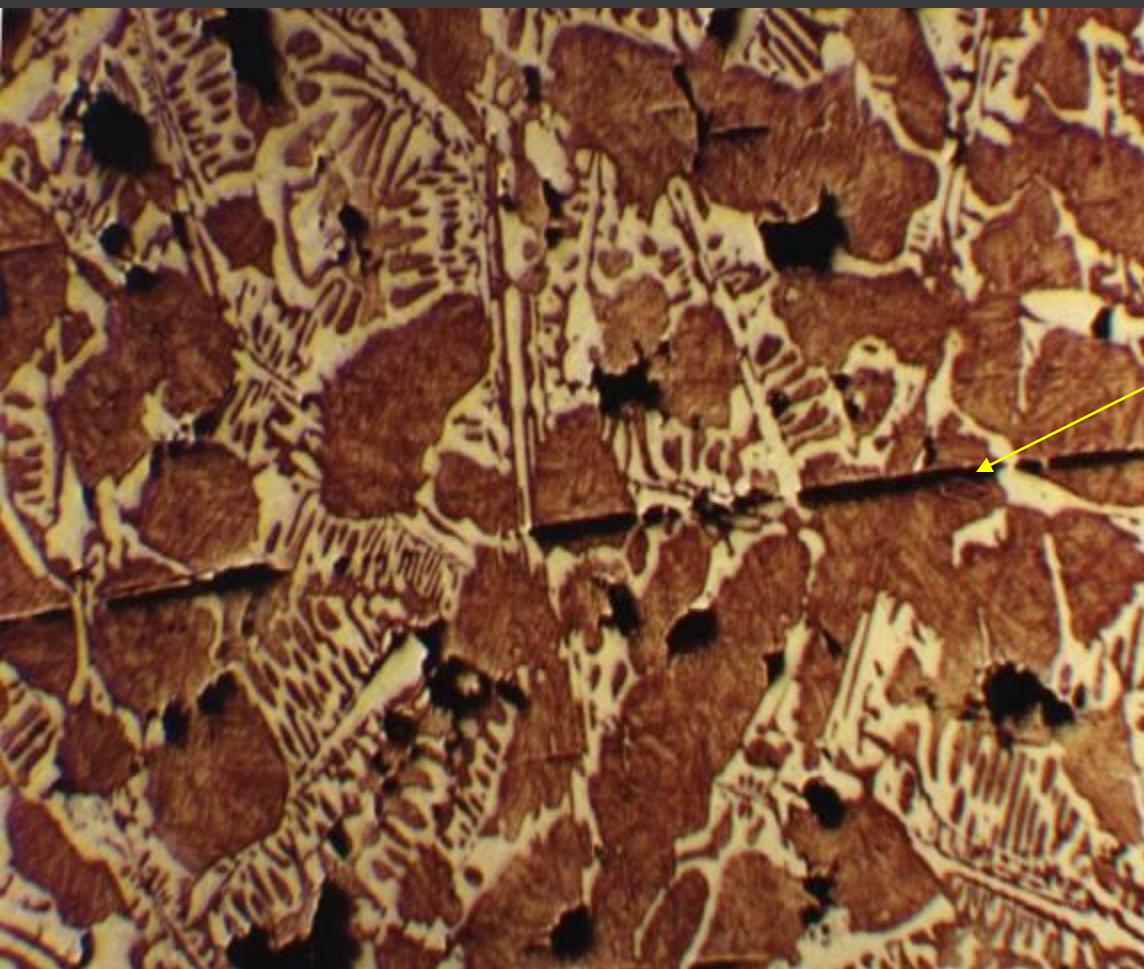
# Seleção ou desenvolvimento de materiais

## Casos típicos:

- Estudos de viabilidade técnica com vistas a redução de custos / aumento de vida útil
- Mudança de condições de operação de equipamentos
- Novos processos / equipamentos
- Mudança dos materiais processados
- Competição entre empresas fornecedoras de materiais e peças

- **Analisar o tipo predominante de desgaste**
- **Critérios adicionais (\$, outras propostas de fornecimento)**
- **Utilizar os materiais tradicionais como referência ( “baseline” )**
- **Testes padronizados versus simulação**

# Seleção ou desenvolvimento de materiais



Superfície de cilindro de laminação

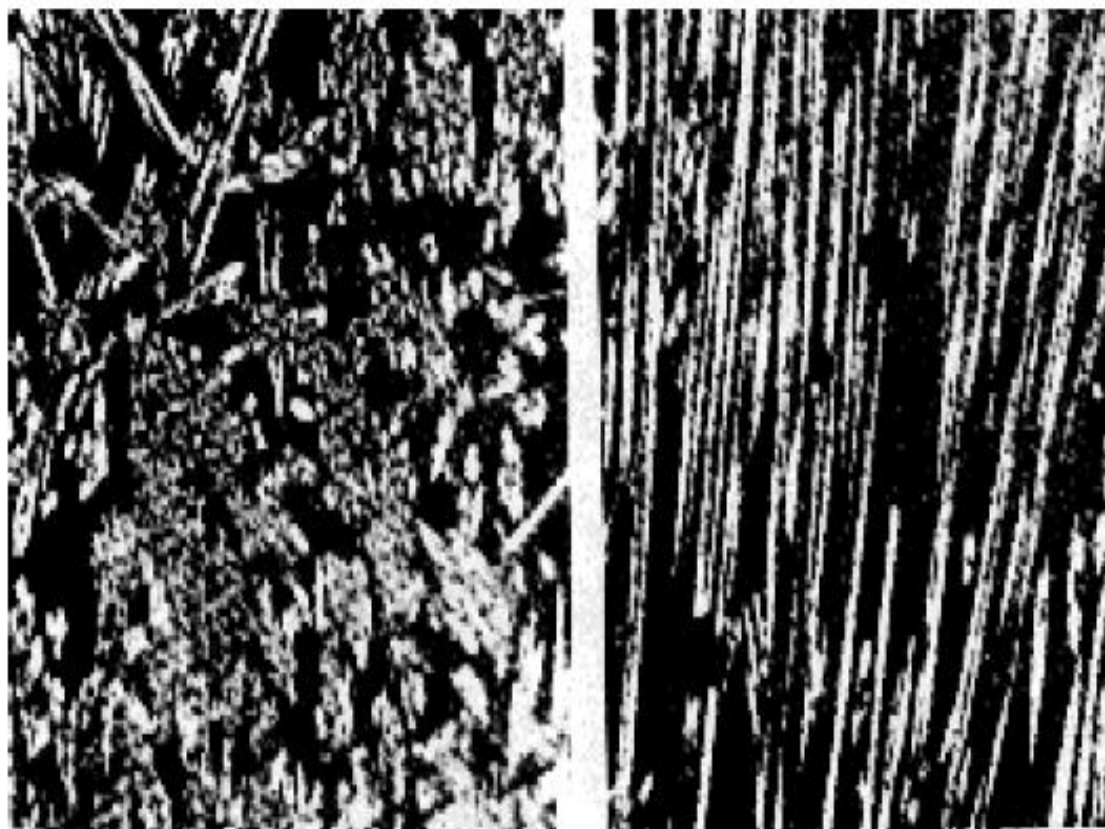
Observou-se desgaste abrasivo da matriz (região sem carbonetos)

Os desenvolvimentos metalúrgicos para aumentar dureza da matriz serão avaliados por ensaio pino-contra-lixia

**DESGASTE ABRASIVO**



A figura 6 apresenta duas estruturas de metal depositado de composição de 5% de C e 35% de Cr e foram depositado com eletrodo de 4mm de  $\varnothing$ . As microestruturas mostram depósitos realizados com 130 A e 160 A. O revestimento depositado com menor corrente apresenta uma grande quantidade e densidade de carbonetos de pequenas dimensões. No outro em cambio, os carbonetos apresentam-se de maneira completamente distinta, ficando mais exposta a matriz.



**Figura 6.** Microestrutura de revestimentos depositados por arco elétrico com eletrodo de 4mm de  $\varnothing$ . A) corrente 130 A e B) corrente 160 A. Ataque reativo Marble. 50x.

# Seleção ou desenvolvimento de materiais

## Testes padronizados

- Facilitam comparação com dados anteriores e de terceiros
- Há disponibilidade em várias empresas e centros de pesquisa
- Existem normas e informações sobre precisão, reprodutibilidade, n° mínimo de ensaios, etc
- As interações abrasivo/material nos ensaios podem ser muito diferentes da situação real
- São obtidos “rankings” mas não dados para projeto ou previsão de vida

# Seleção ou desenvolvimento de materiais

## Simulações

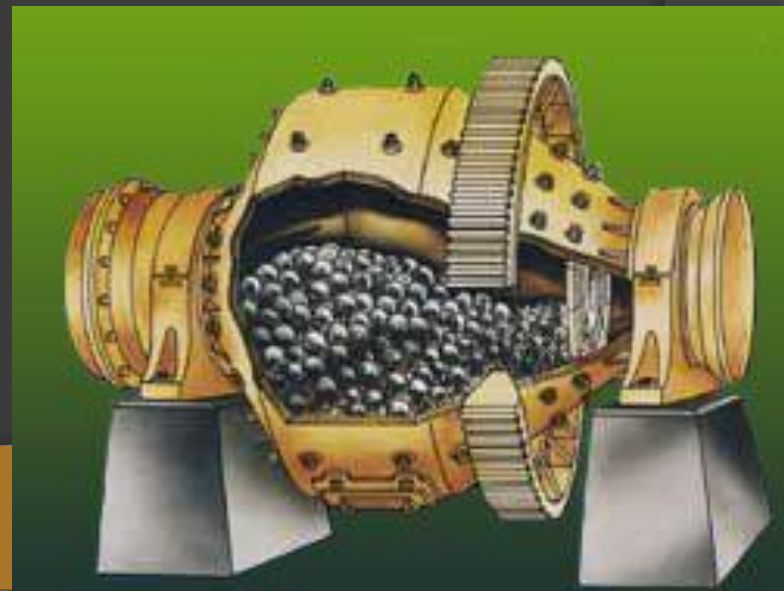
Possibilidade de reproduzir interações abrasivo material esperadas no caso prático.

Possibilidade de obter taxas de desgaste da mesma natureza que no caso prático

•Casos de sucesso: britador ; **moinho de bolas**; ensaio com lamas abrasivas - “Credibilidade” .

•Falta de padronização: cada um faz o “seu” ensaio. Risco de procedimentos variarem muito .

Não há garantia de que modelos em escala reduzida produzam as mesmas solicitações que o caso real.



**DESGASTE ABRASIVO**



# Seleção ou desenvolvimento de materiais

## Simulações: Caso de bolas de moinho

### Laboratório

Diam moinho = 0,4 m

Bolas : 50 mm ( 10 por material)

Abrasivo: minério de fosfato

Tempo : 100 a 200 h

### Campo

Diam moinho = 4,8 m

Bolas : 50 mm ( 1.000 a 2.000 por material)

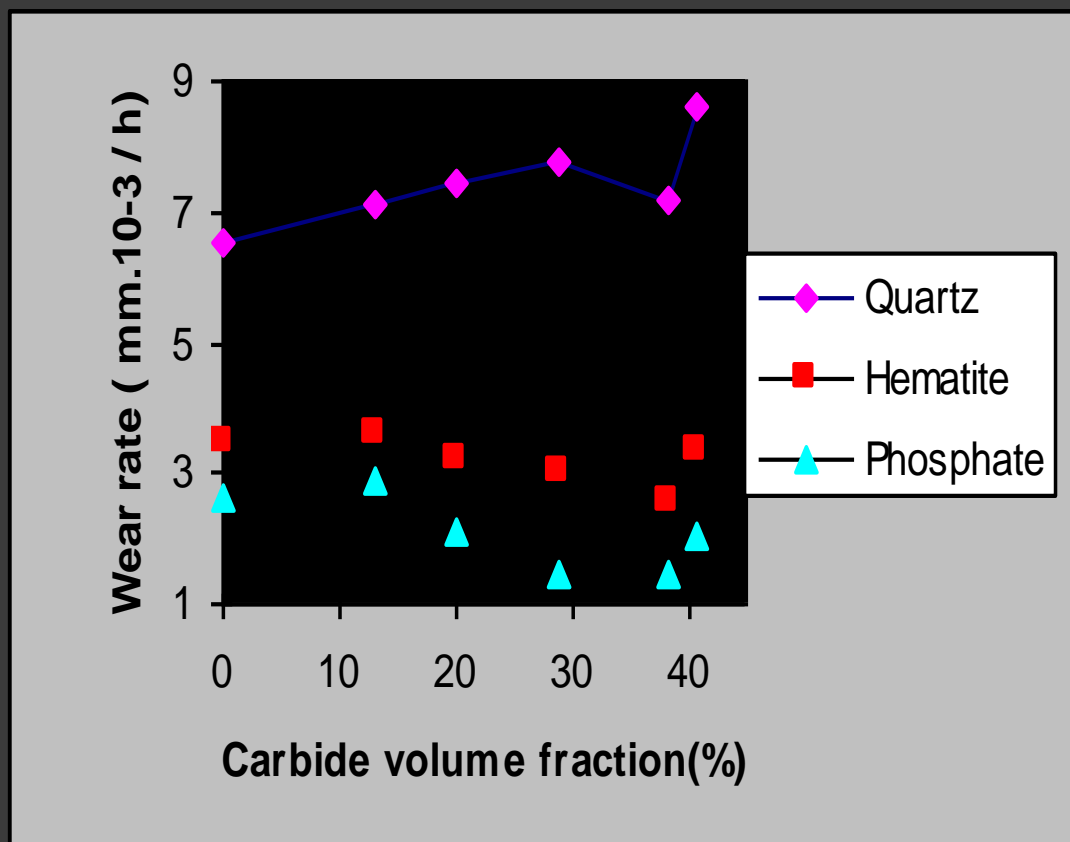
Abrasivo: minério de fosfato

Tempo : 1.000 a 2.000 h

simulação das variáveis de moagem: moagem contínua ,  
% sólidos, rotação do moinho, recirculação

# Seleção ou desenvolvimento de materiais

Simulações: Caso de bolas de moinho



# Seleção ou desenvolvimento de materiais

## Simulações: Caso de bolas de moinho

Material das bolas	Taxa de desgaste Laboratório (Moinho 0,4m)	Taxa de desgaste Campo (moinho 4,8 m)
Fofo alto Cr- Fornecedor A	1,87	4,10
Aço forjado, T & R Fornecedor B	3,55	7,97
Fator de desgaste B/A	<b>1,90</b>	<b>1,94</b>

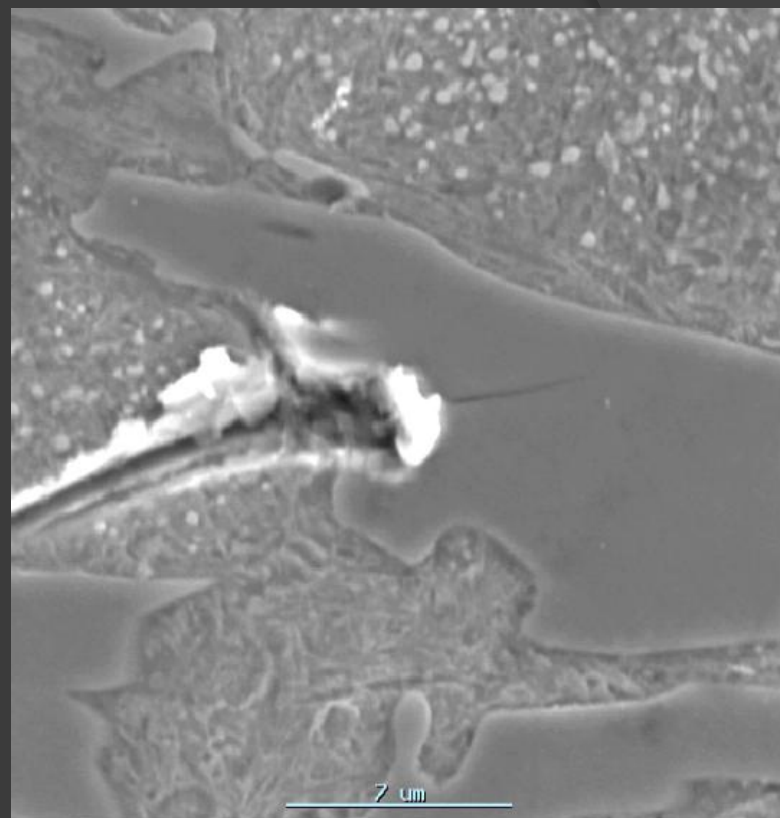
# Seleção ou desenvolvimento de materiais

## Outras possibilidades

- Nem sempre o ensaio precisa ordenar os materiais por desempenho ou prever taxas de desgaste proporcionais à da aplicação prática
- O conjunto de ensaios pode revelar a tendência para ocorrência de transições, em determinadas condições de severidade

# Pesquisa básica sobre desgaste

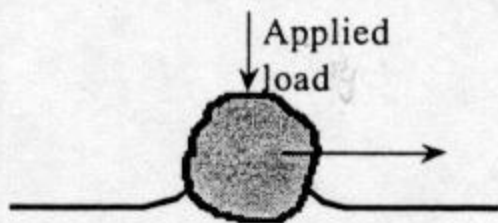
- Evento único
  - ensaios de riscamento
- Transições
  - mapas de desgaste
- Medições em escala micro e nano
  - técnicas de micro e nano dureza



# Efeito de algumas variáveis

Aplicação a ferros fundidos alto cromo

## Simple model for plastic grooving



$$Q = \frac{KN}{H}$$

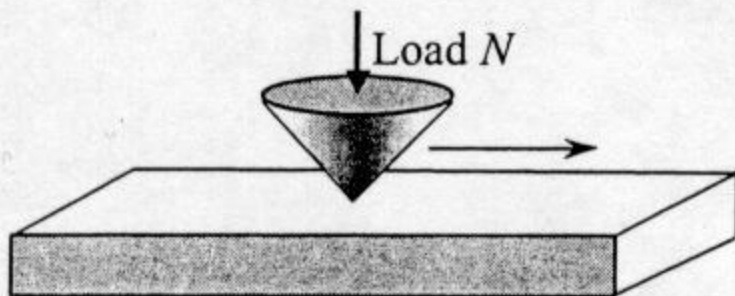
where

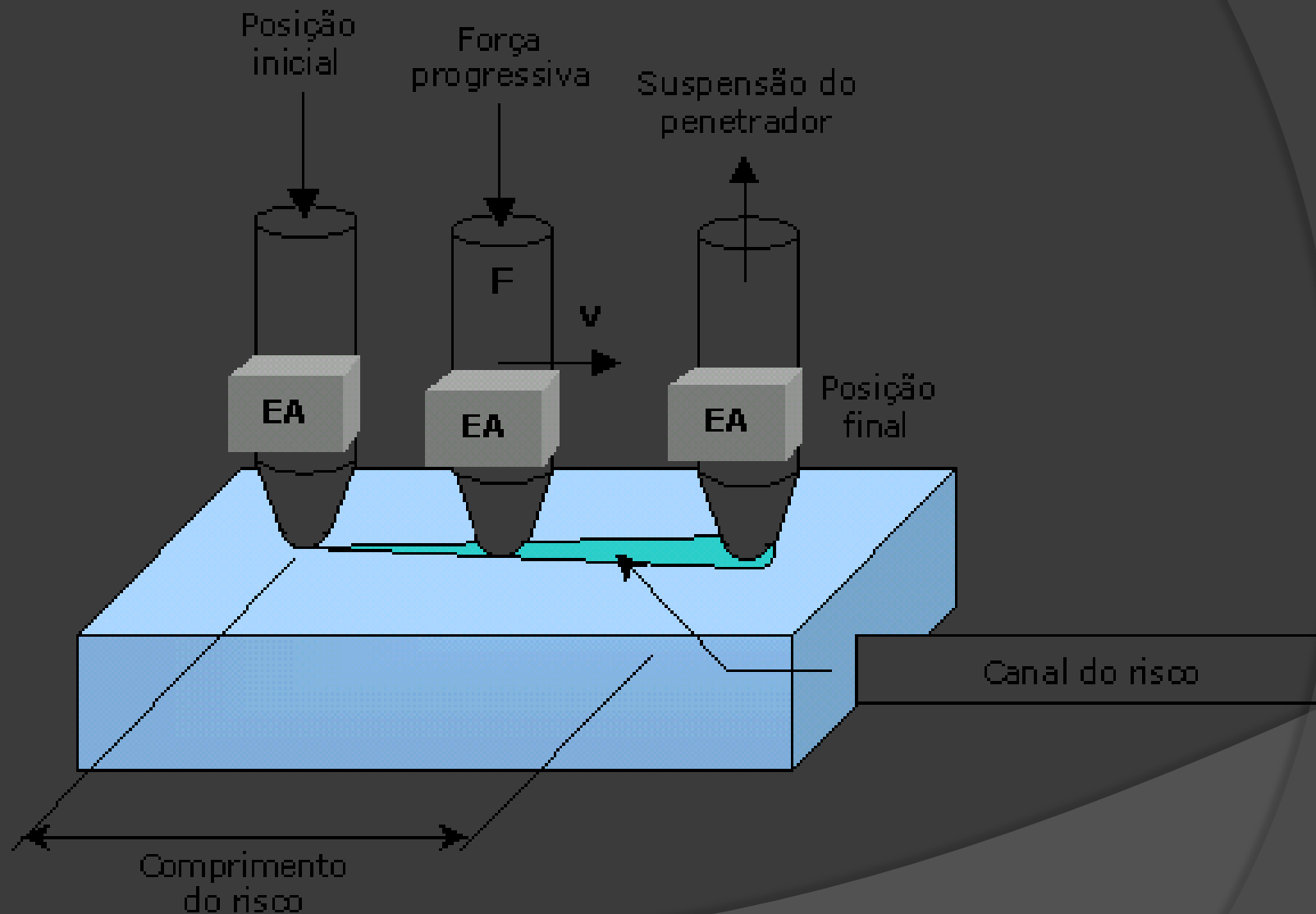
$Q$  = volume removed per unit sliding distance

$N$  = normal load on particle

$H$  = indentation hardness

$K$  is dimensionless, typically  $10^{-2}$  to  $10^{-3}$  for abrasion of metals







# Efeito da carga

Aplicação a ferros fundidos alto cromo

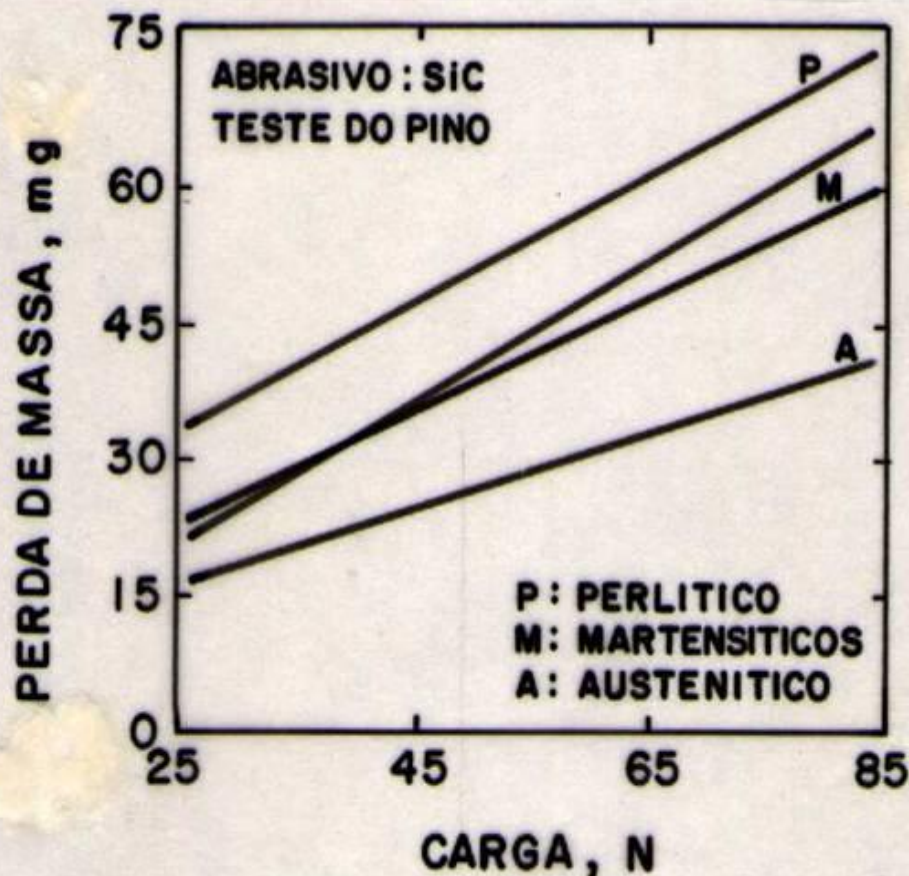
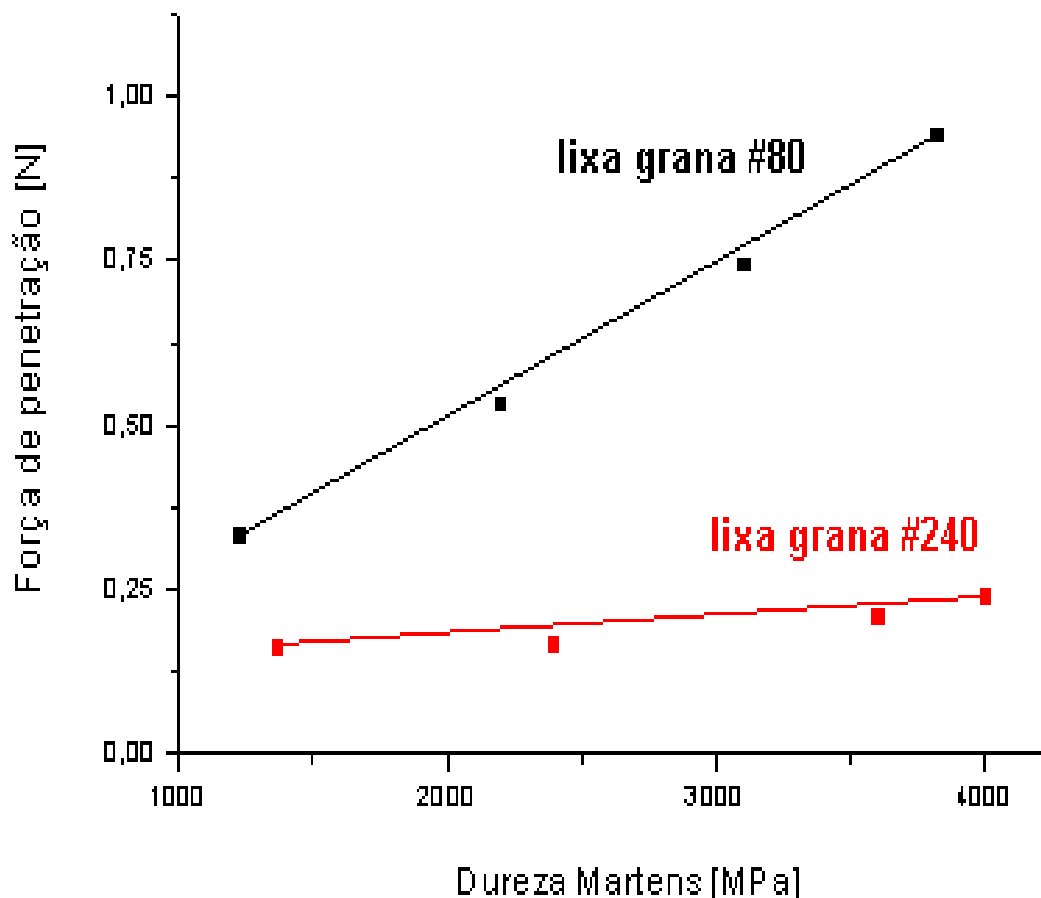


Figura 27. Desgaste em função da carga aplicada(100).

Perda de massa varia linearmente com a carga aplicada

(desde que não haja mudança de mecanismo)



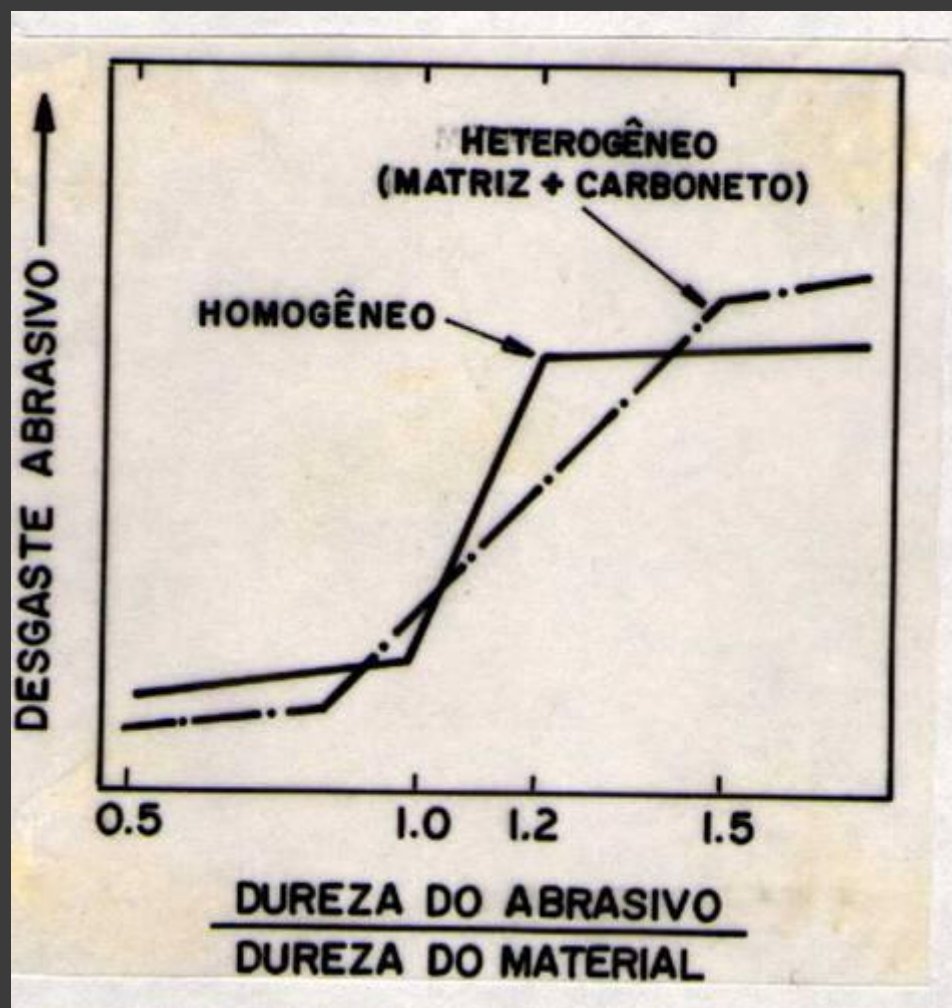


Técnicas de microdureza instrumentada :

Avaliação da força exercida por 1 grão abrasivo

# Efeito da dureza

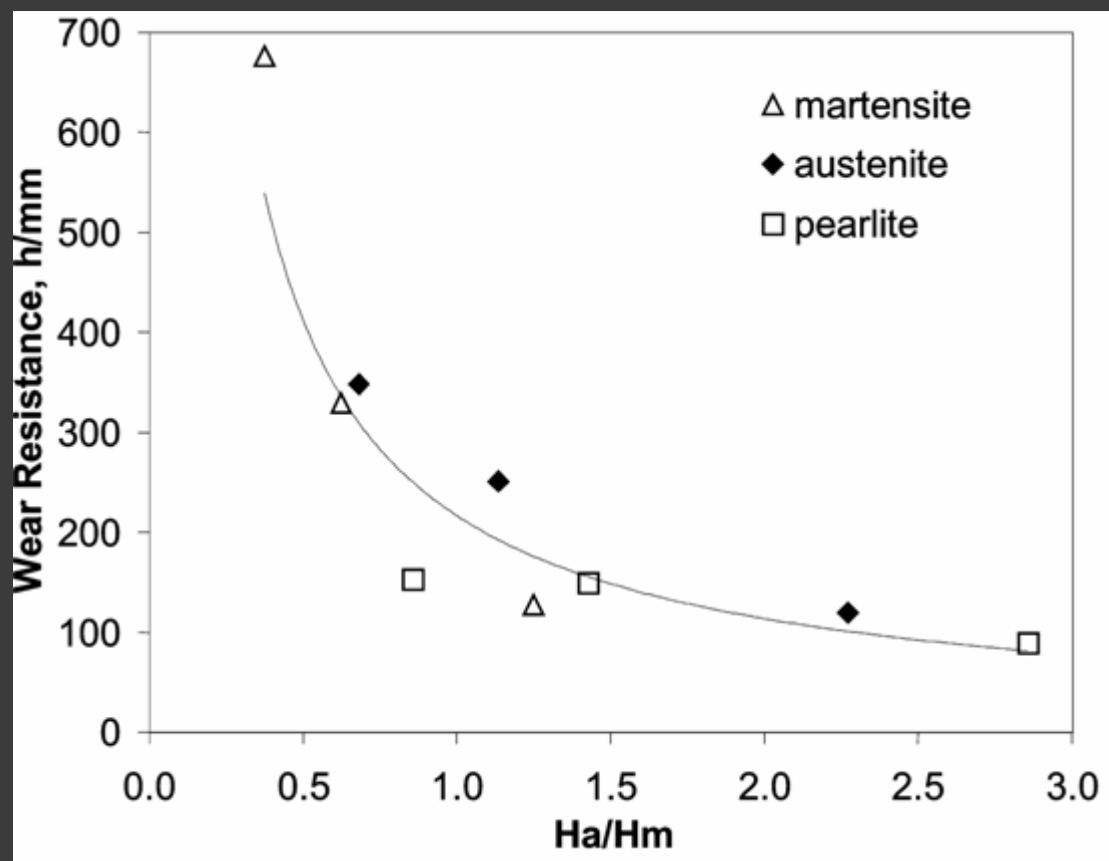
## Aplicação a ferros fundidos alto cromo



Há uma transição rápida de desgaste moderado para severo, quando a dureza do abrasivo supera a do material

# Efeito da dureza

## Aplicação a ferros fundidos alto cromo



Há uma transição rápida de desgaste moderado para severo, quando a dureza do abrasivo supera a do material

# Efeito da dureza

## Aplicação a ferros fundidos alto cromo

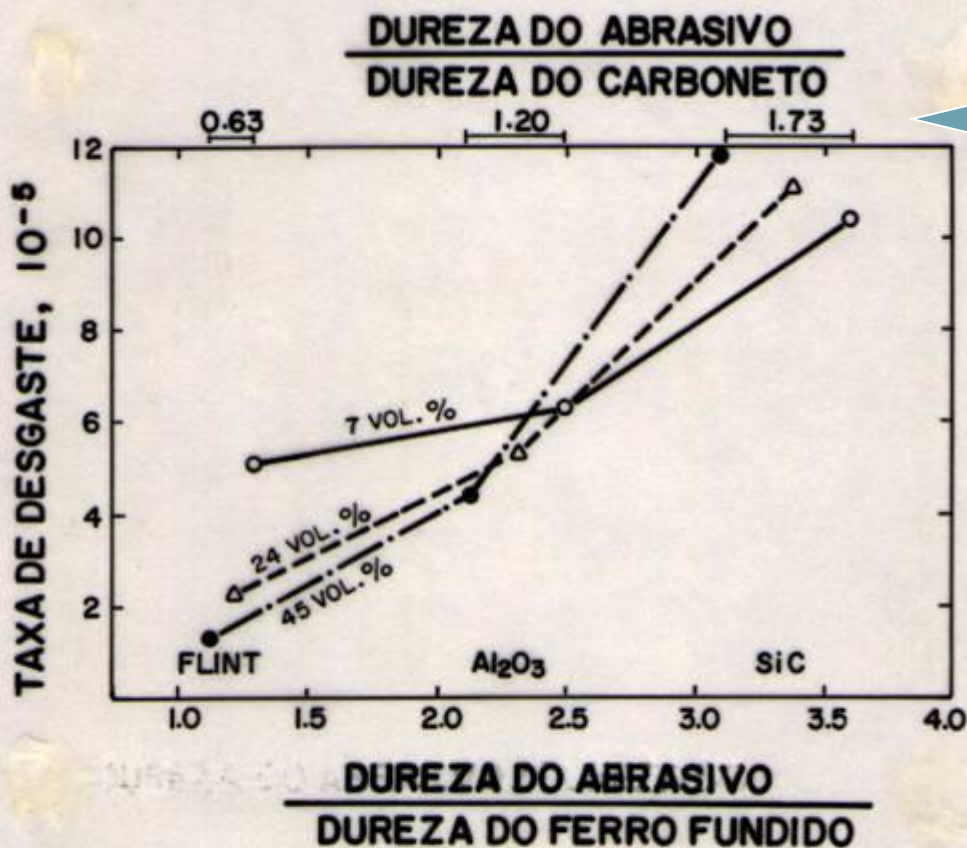


Figura 33. Taxa de desgaste de FFBAC em função da relação entre dureza do abrasivo e dureza dos carbonetos(68).

Abrasivos mais duros que os carbonetos causam desgaste rápido.

Comparar com situações práticas!!



# Efeito do tamanho do abrasivo

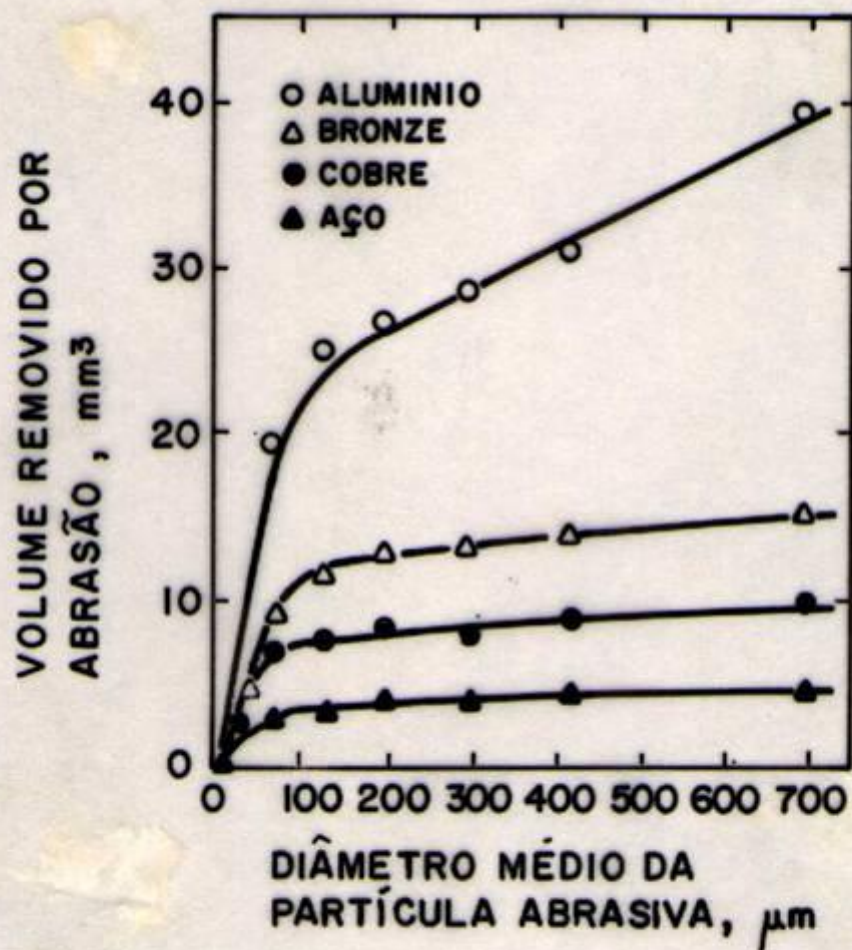


Figura 28. Desgaste em função do tamanho da partícula abrasiva.

Grande variação até ~100 μm.

Filtragem pode ter efeito relevante em alguns equipamentos.

# Efeito do tamanho do abrasivo

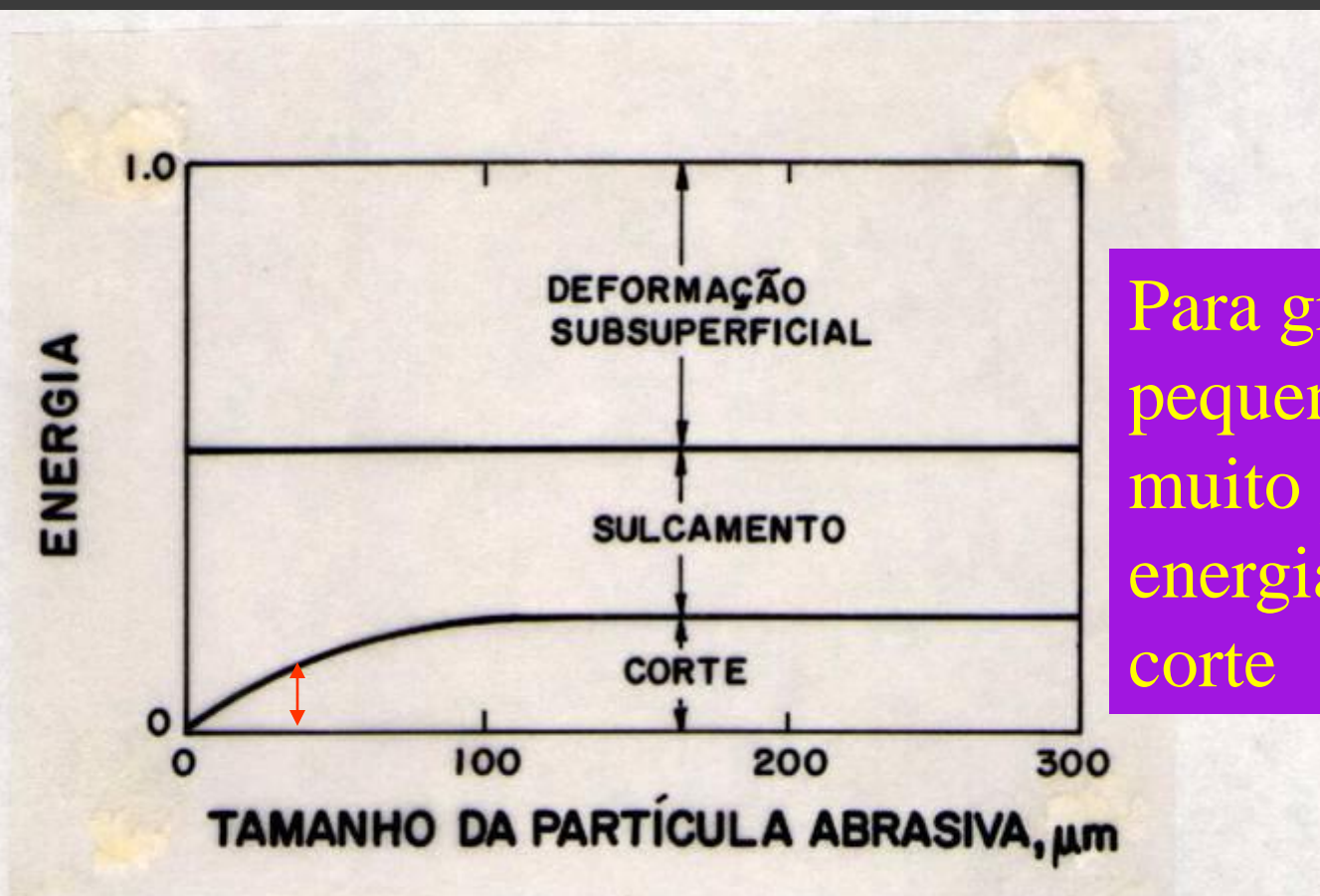
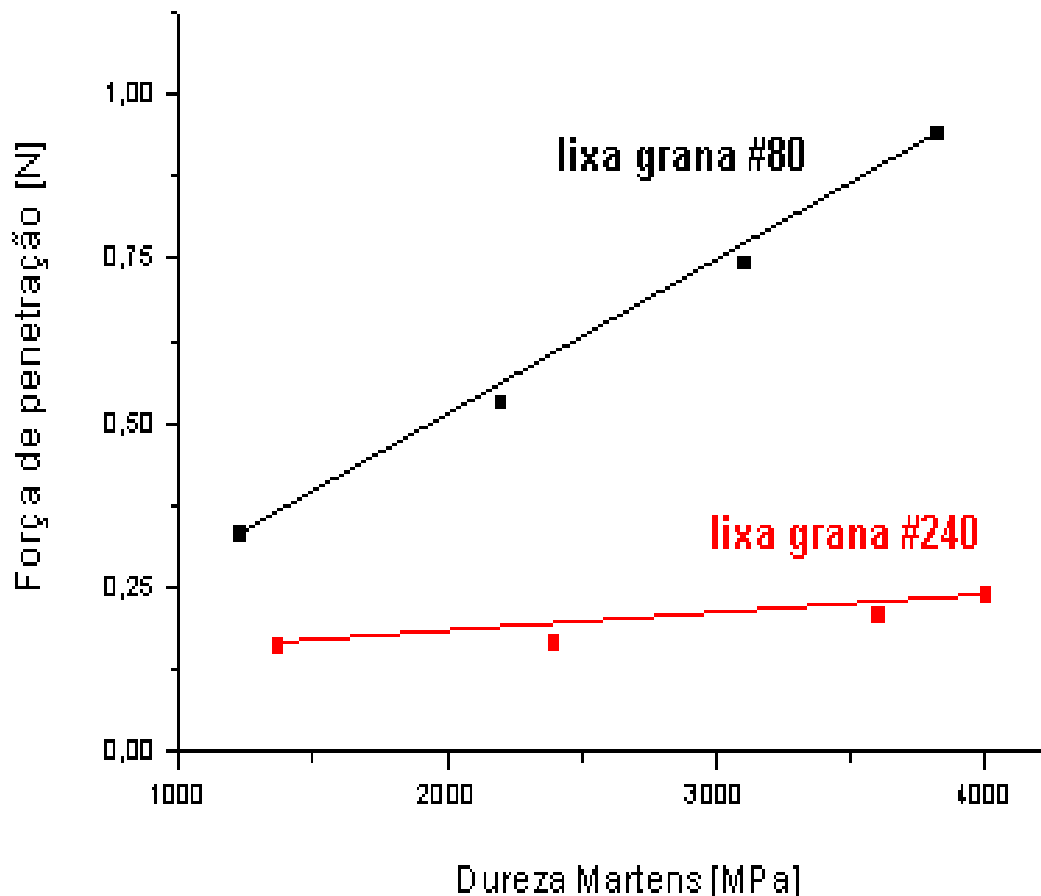


Figura 29 Esquema dos componentes de energia na abrasão em função do tamanho do abrasivo (95)

Para grãos pequenos, uma parte muito pequena da energia resulta em corte

# Efeito do tamanho do abrasivo



Grãos maiores resultam em maior força aplicada, na escala microscópica



# Efeito do tamanho do abrasivo

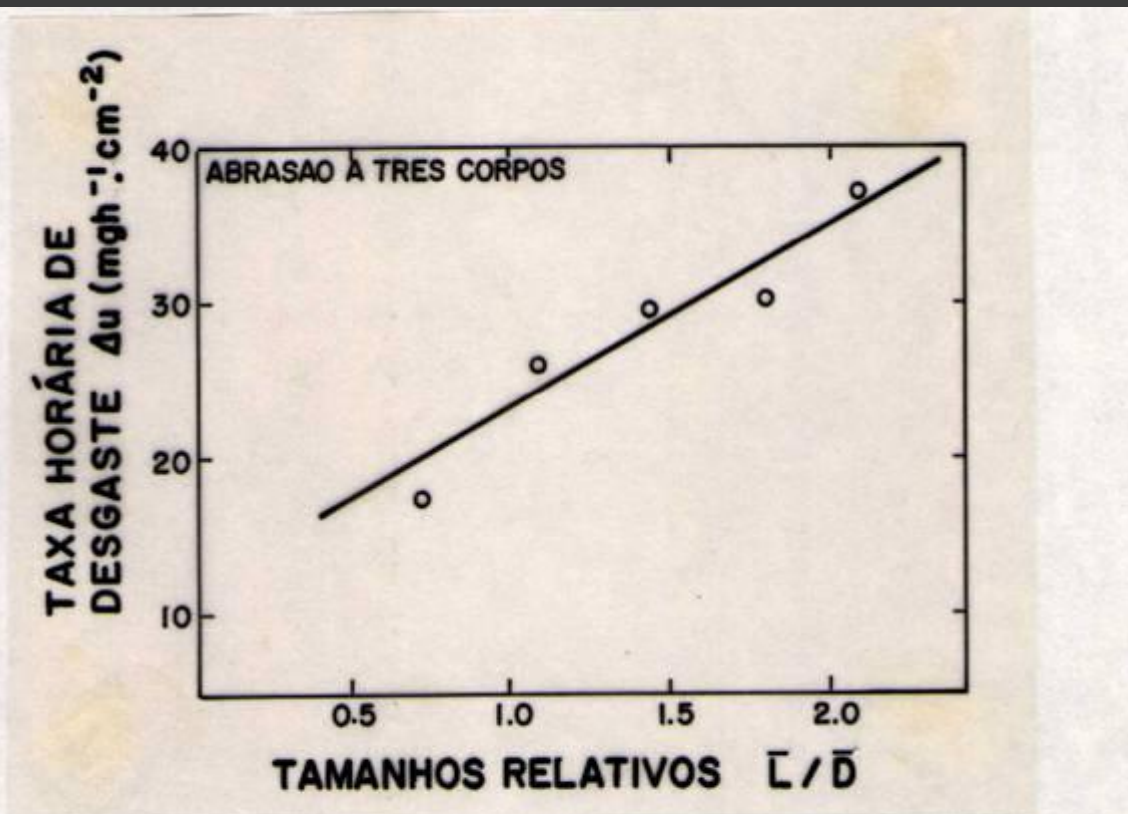
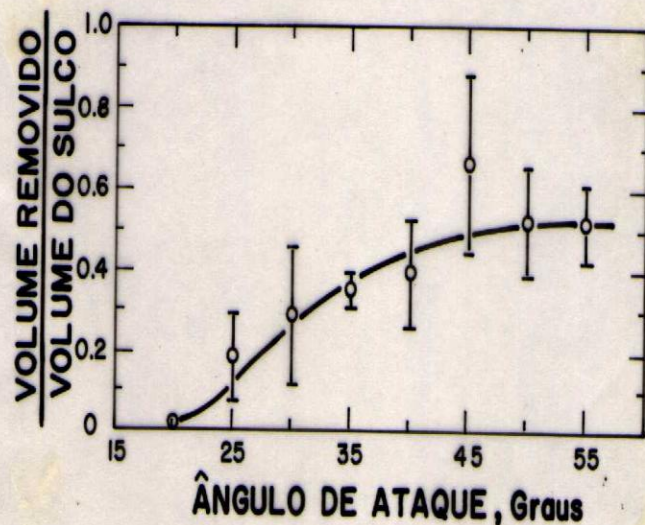
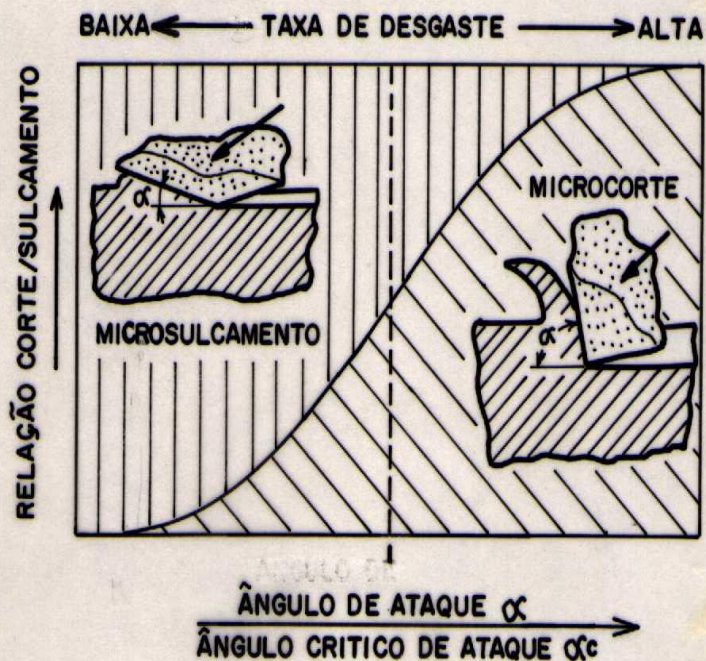


Figura 44. Variação do desgaste com a relação de tamanhos dos sulcos L e dos carbonetos D(9).

A eficiência das partículas duras do material depende do tamanho em relação ao sulco produzido pelo abrasivo.

# Efeito da forma do abrasivo



(b)

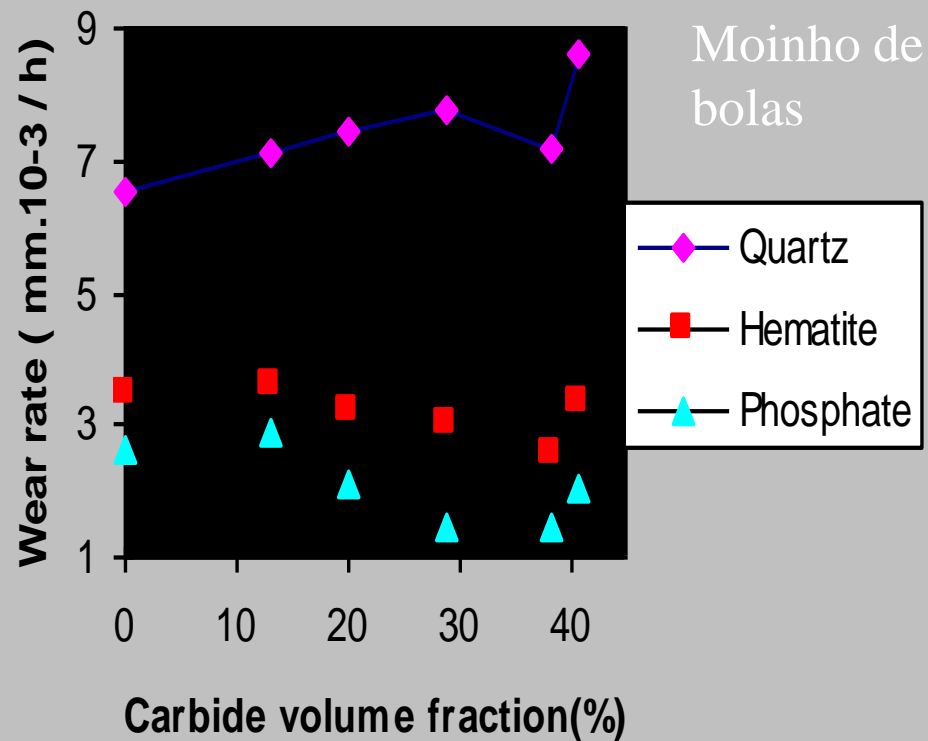
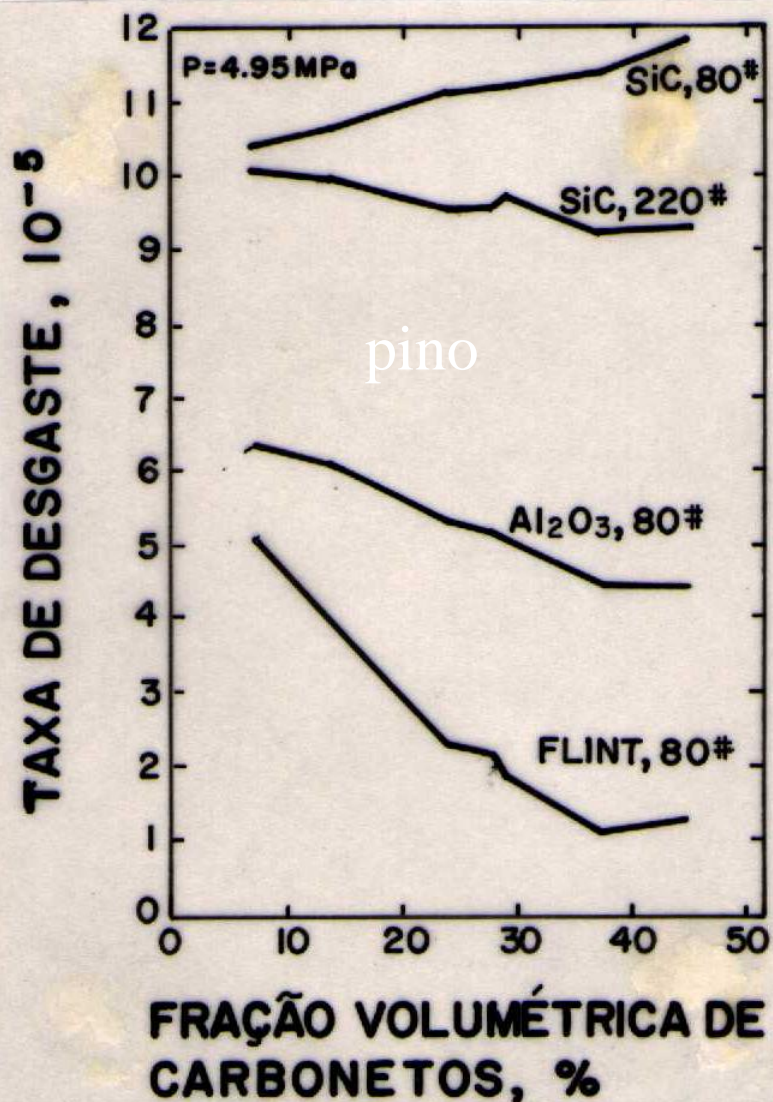
Na prática:

grão arredondados ou angulosos

Grãos ( ou protuberâncias) engastados ou rolando



# Efeito de % de carbonetos/abrasivo



## DESGASTE ABRASIVO

# Efeito da austenita e abrasivo

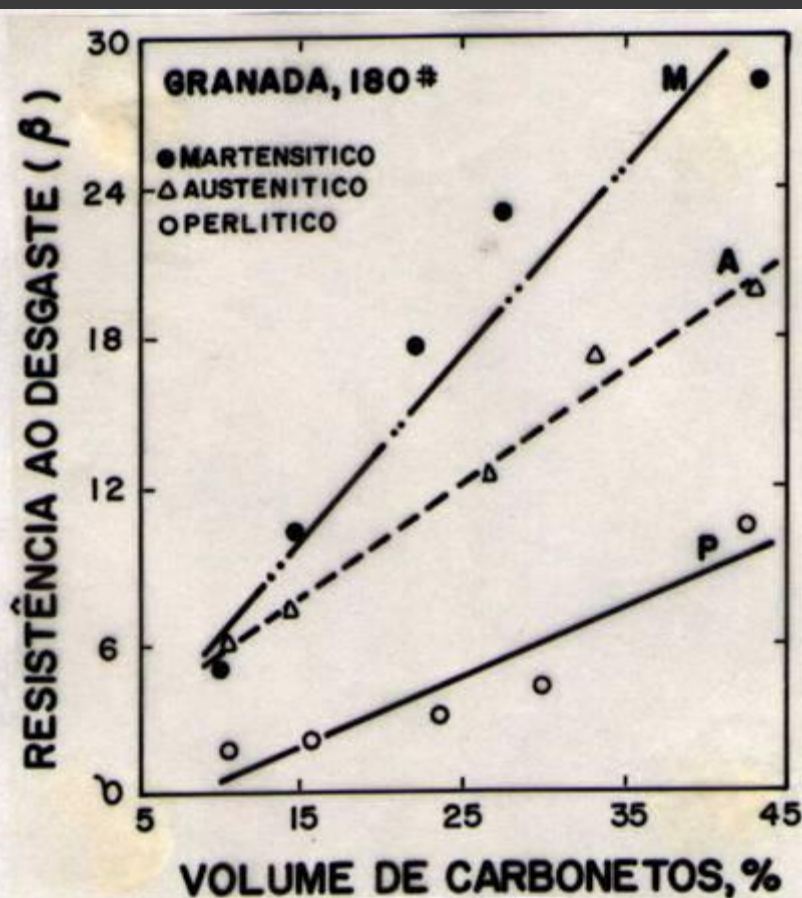
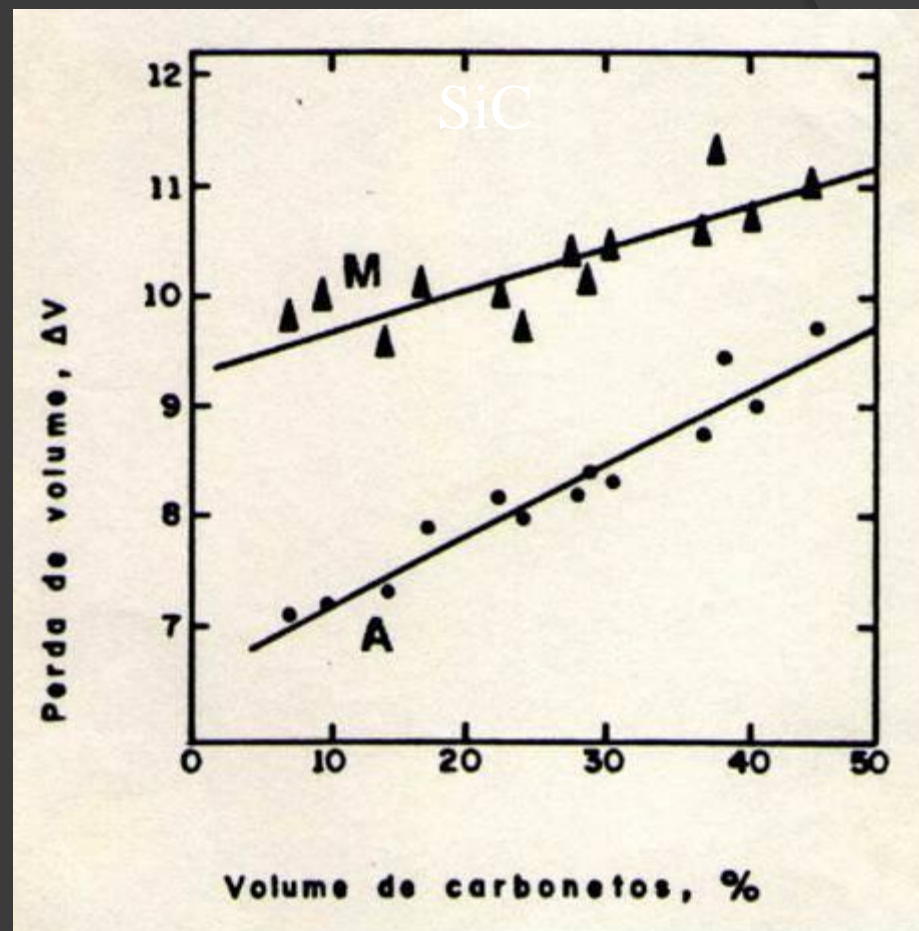
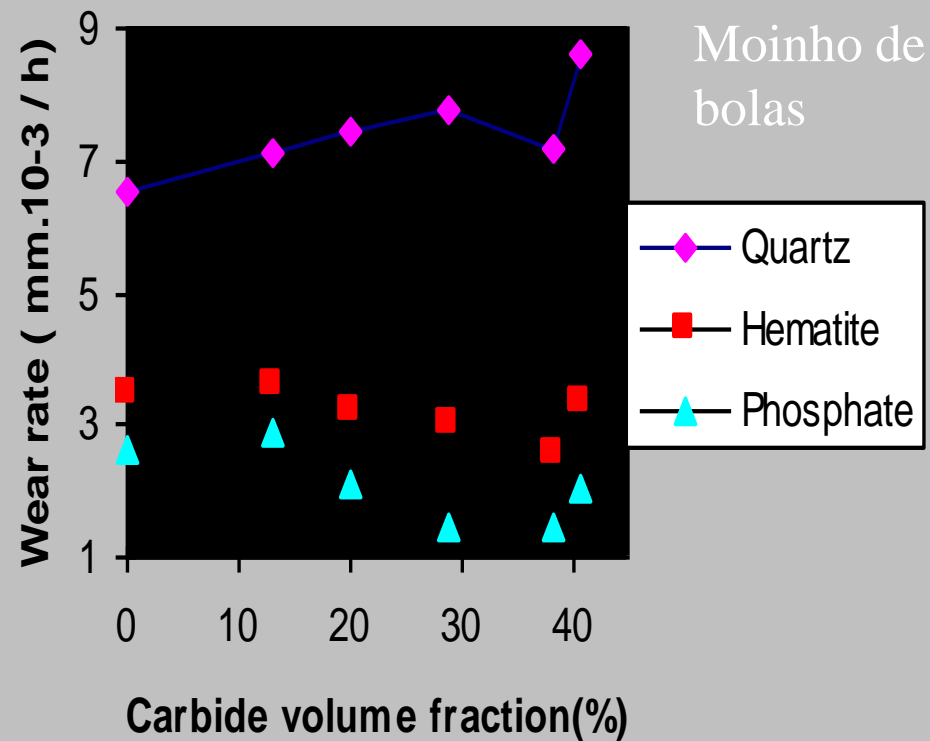
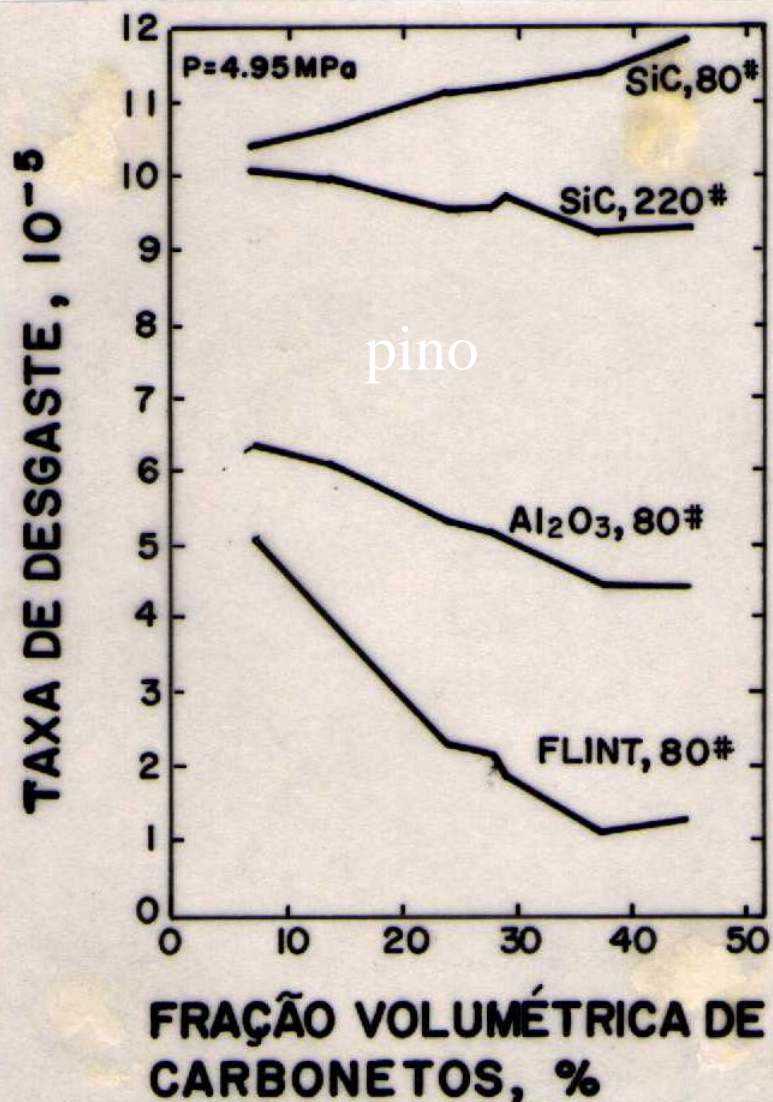


Figura 42a. Ensaio de pino; lixa granada



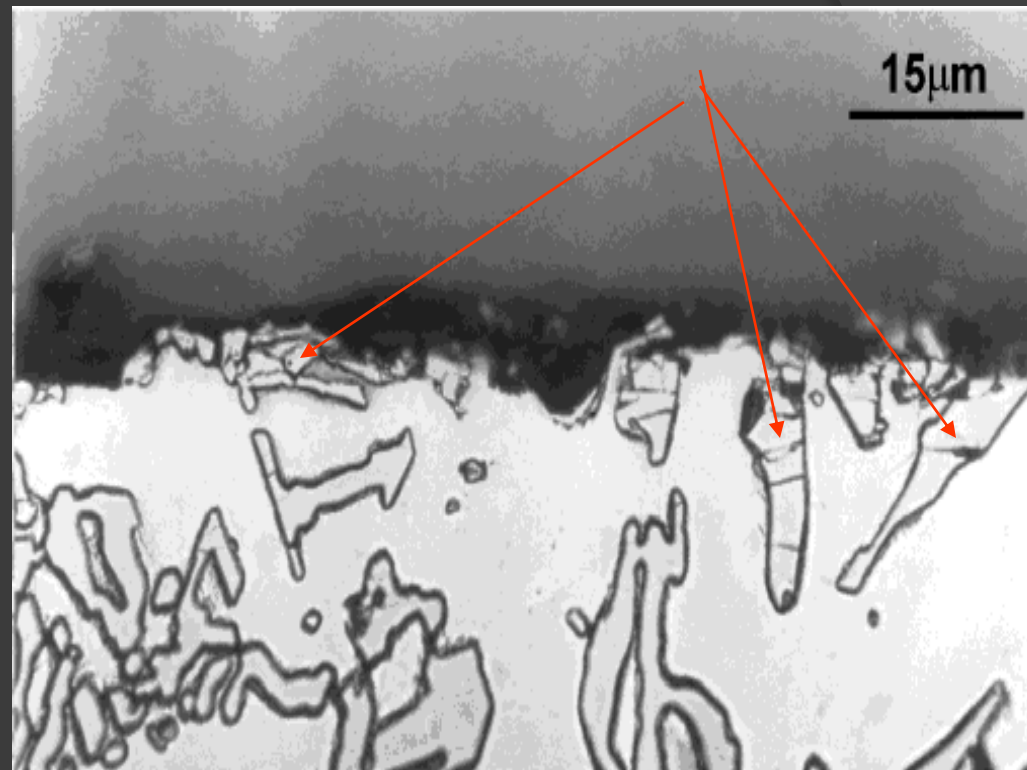
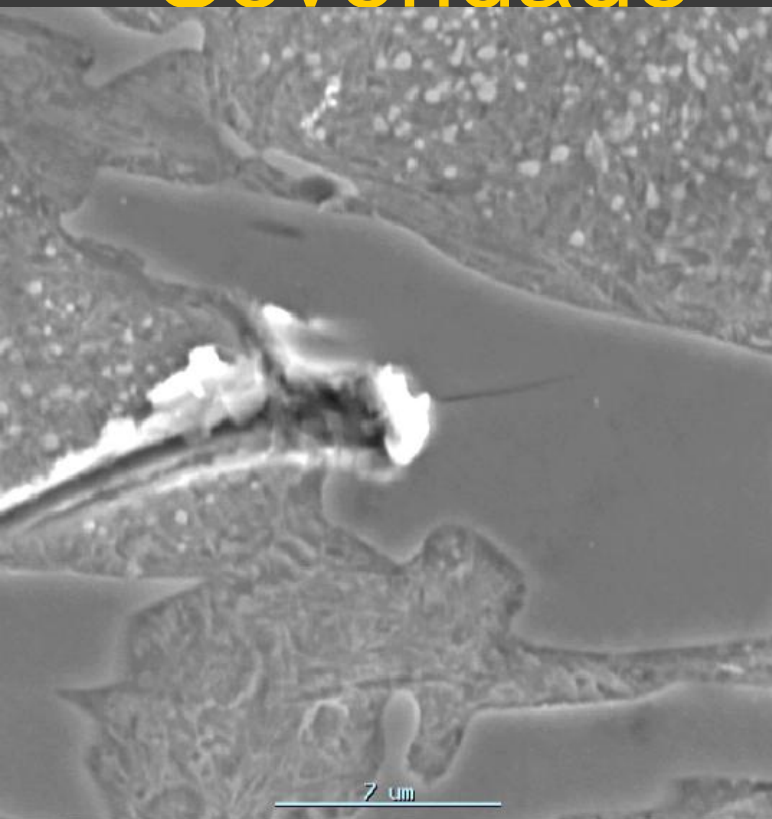
# Severidade



## DESGASTE ABRASIVO



# Severidade



**DESGASTE ABRASIVO**

# Severidade

Material	Dureza HB	RANKING	
		abrasivo Granada, #150	SiC, #80
Fofo alto Cr	730	1	4
Aço D2	700	2	3
Aço 52100	670	3	1
Aço Hadfield	230	4	2

**Dados da norma ASTM G 132**





Caçamba após 8.521 hrs trabalhadas.


Data instalação: 27/03/2006

Data registro (foto): 09/06/2010

Utilização de PINOS ANTI-DESGASTE , contribui para o aumento da vida útil.

CAT 988H





Caçamba após 10.416 hrs trabalhadas.  
Data da instalação: 27/03/2006  
Data registro (foto): 25/05/2011

A vida útil da mesma fora aumenta com a aplicação de PINOS ANTI-DESGASTE

CAT 988H



## QUE SÃO PINOS ANTI-DESGASTE?

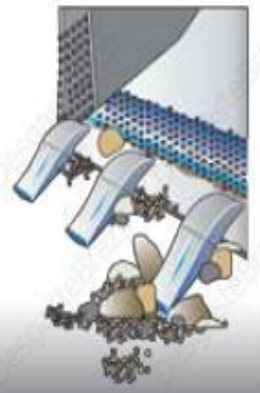
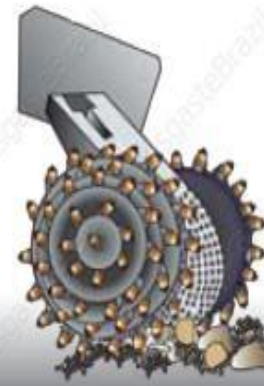
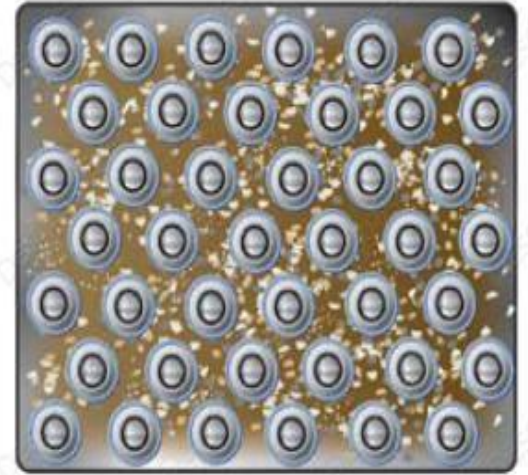
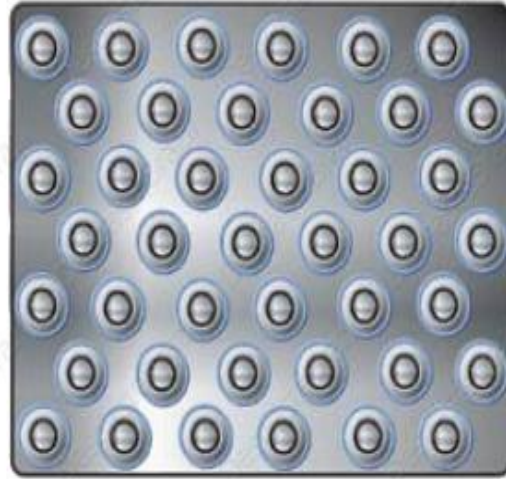
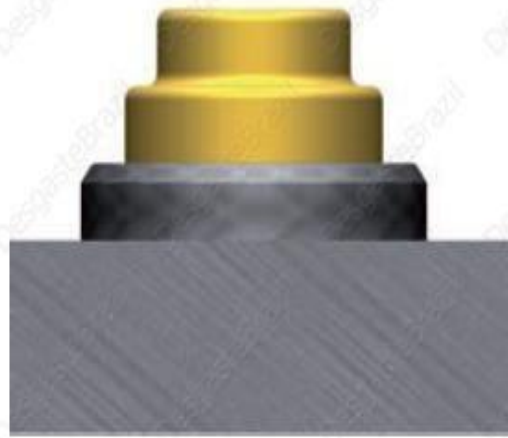
São “pinos-insertos” de ligas de carbonetos resistentes ao desgaste para aplicações em carcaças (bases) ou placas depositados através de soldagem.

Na maioria das aplicações, o formato da aplicação promove o acúmulo de restos de minerais, aumentando a resistência ao desgaste da superfície, o que chamamos de Formação do “MORTO”.

O Sistema de Proteção Contra Desgaste “PINO ANTI-DESGASTE” têm sua performance comprovada nos ambientes mais severos.

As aplicações dos mesmos são extensas, promovendo proteção contra o desgaste e maior vida útil dos custosos equipamentos.







Projeto e construção de um.pdf



Apostila Tribologia.pdf

# DESGASTE ABRASIVO

Eduardo Albertin, eng. metalurgista

Instituto de Pesquisas Tecnológicas – SP

Divisão de Metalurgia

[albertin@ipt.br](mailto:albertin@ipt.br)

Contribuições LABATS/DEMEC/UFPR