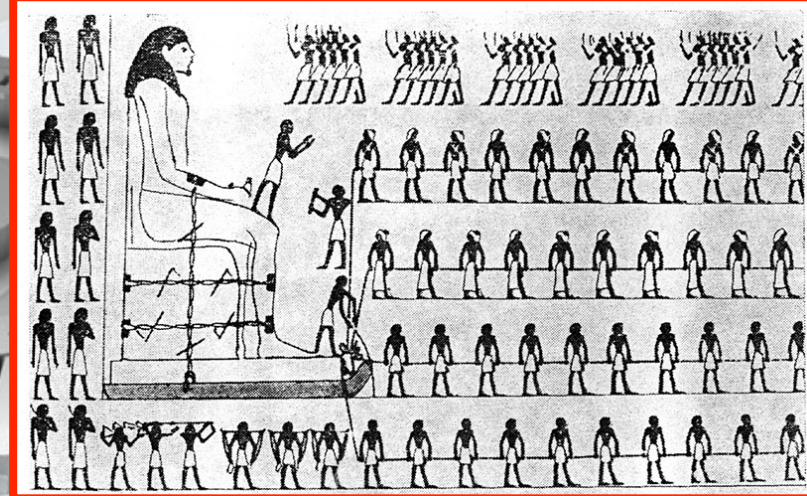


# Tribologia

QF 661

# Tribologia: a ciência do atrito



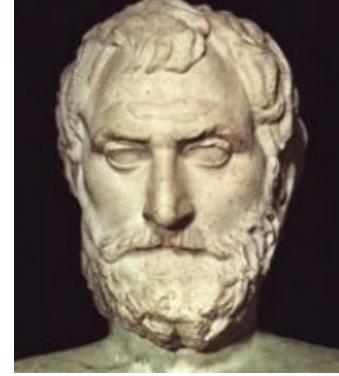
- “The science and technology of interacting surfaces in relative motion and of associated subjects and practices.” (Peter Jost, 1966);
- Leis de Amontons:
  - *Força de atrito  $\propto$  força normal*
  - *Independente da área de contato aparente*
- Adesão:
  - *forças de van der Waals*



Mate, C. M. Tribology on the small scale. Oxford University Press, 2008.

Super Lube® Switch Plate Lubricant, fluid dispersion of PTFE, Neleco, Inc.

# Superfícies sob regimes de atrito



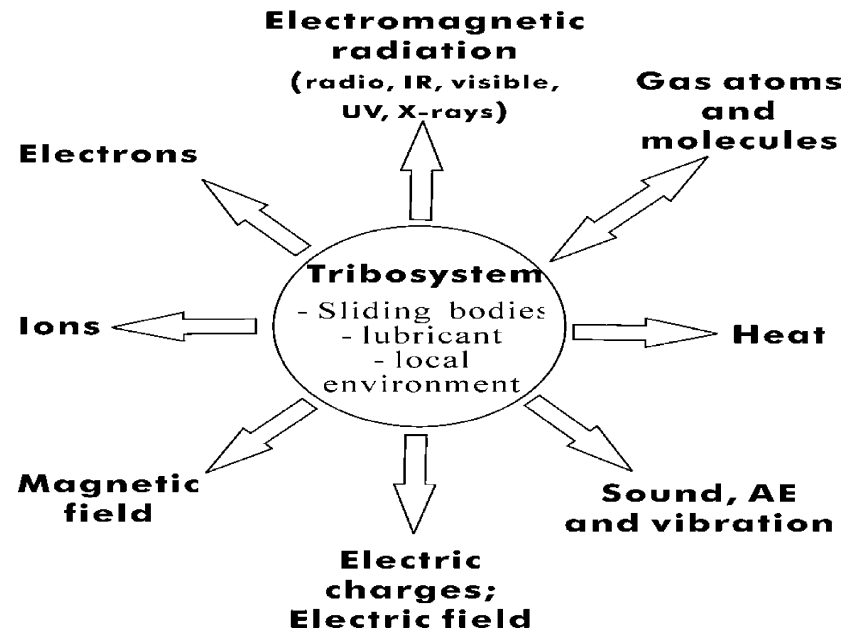
- Tales de Mileto: “...todas as coisas estão cheias de deuses...”

Iversen P, Lacks DJ. *A life of its own: The tenuous connection between Thales of Miletus and the study of electrostatic charging*, J. Electrostat. 70, 309-311 (2012).

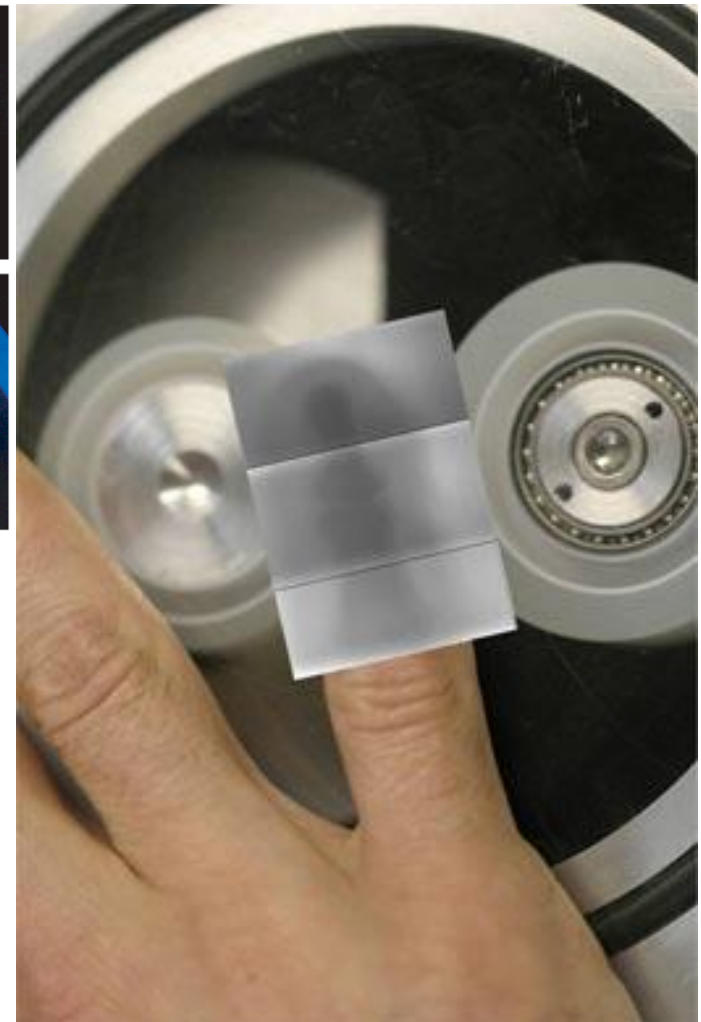
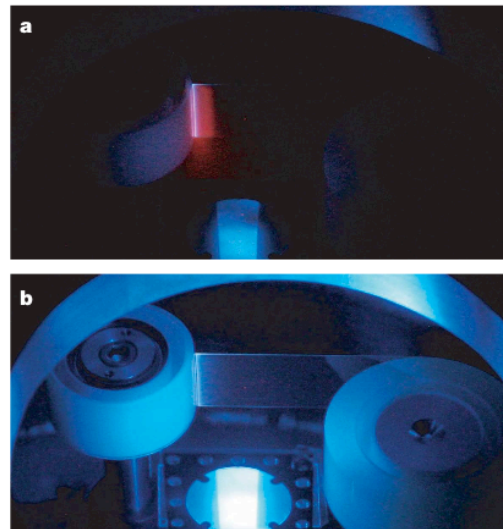
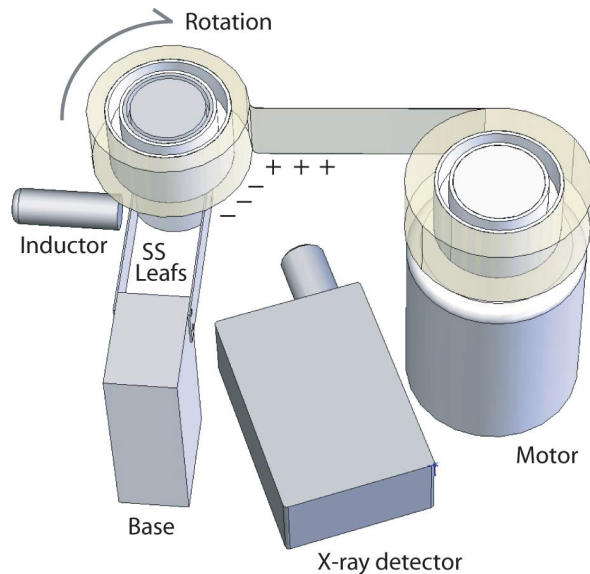
- Atritando duas superfícies:  
**Triboplasma!**

Heinicke G. *Tribochemistry*. Carl Hanser Verlag München, Wien (1984);

Matta et al. *On the possible role of triboplasma in friction and wear of diamond-like carbon films in hydrogen-containing environments*. J. Phys. D: Appl. Phys. 42 075307 (2009).



# Quão poderoso é este triboplasma?

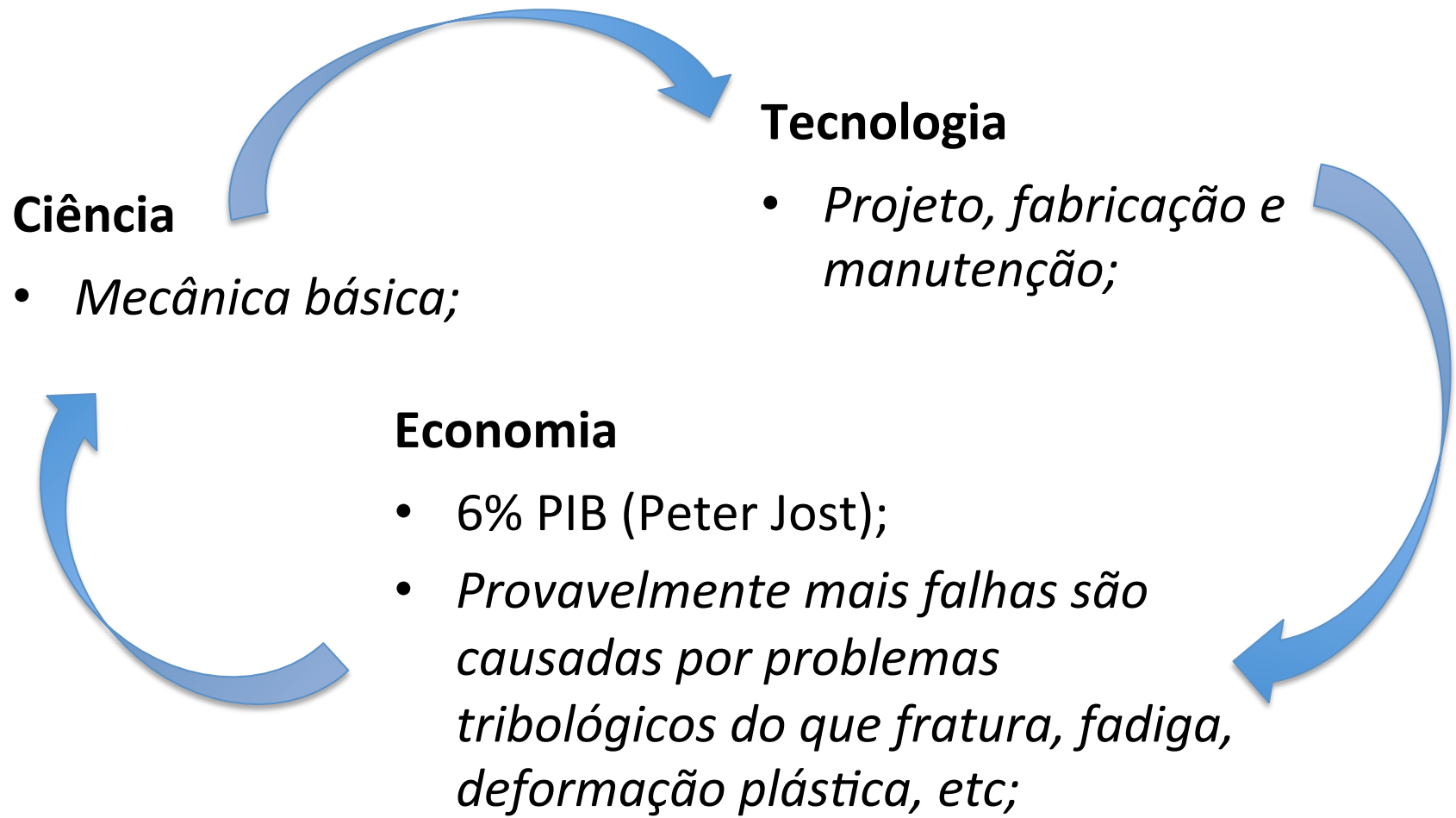


## Raios X!

*Camara et al. Correlation between nanosecond X-ray flashes and stick-slip friction in peeling tape. Nature, 455, 1089-1093 (2008).*



# Tribologia: aspectos importantes

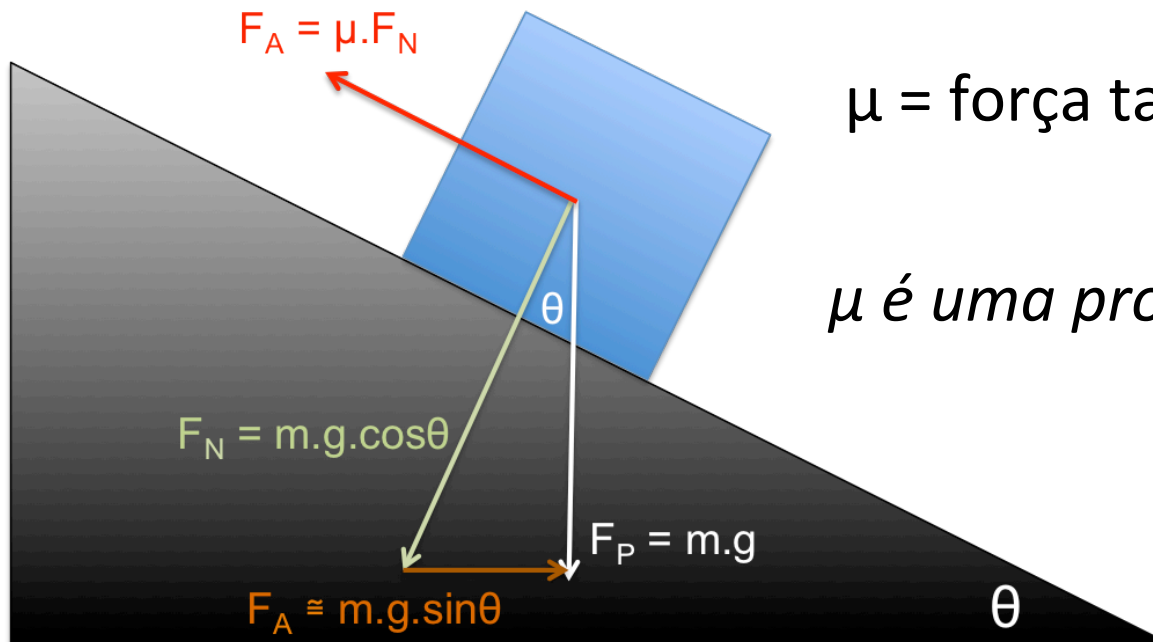


# Quatro elementos da tribologia

- 1) Interações de superfície em interfaces, incluindo lubrificação e lubrificantes;
- 2) Geração e transmissão de forças na interface;
- 3) Resposta dos materiais à força gerada na interface;
- 4) Projetos de sistemas tribológicos.

# Atrito?

- Resultado da dissipação de energia em interfaces sob regimes deslizantes (*exemplo de força não-conservativa*);
- O coeficiente de atrito é definido como:



$\mu$  = força tangencial/força normal

*$\mu$  é uma propriedade do material?*

# Leis de Amontons

- *Força de atrito  $\propto$  força normal*
- *Independente da área de contato aparente*

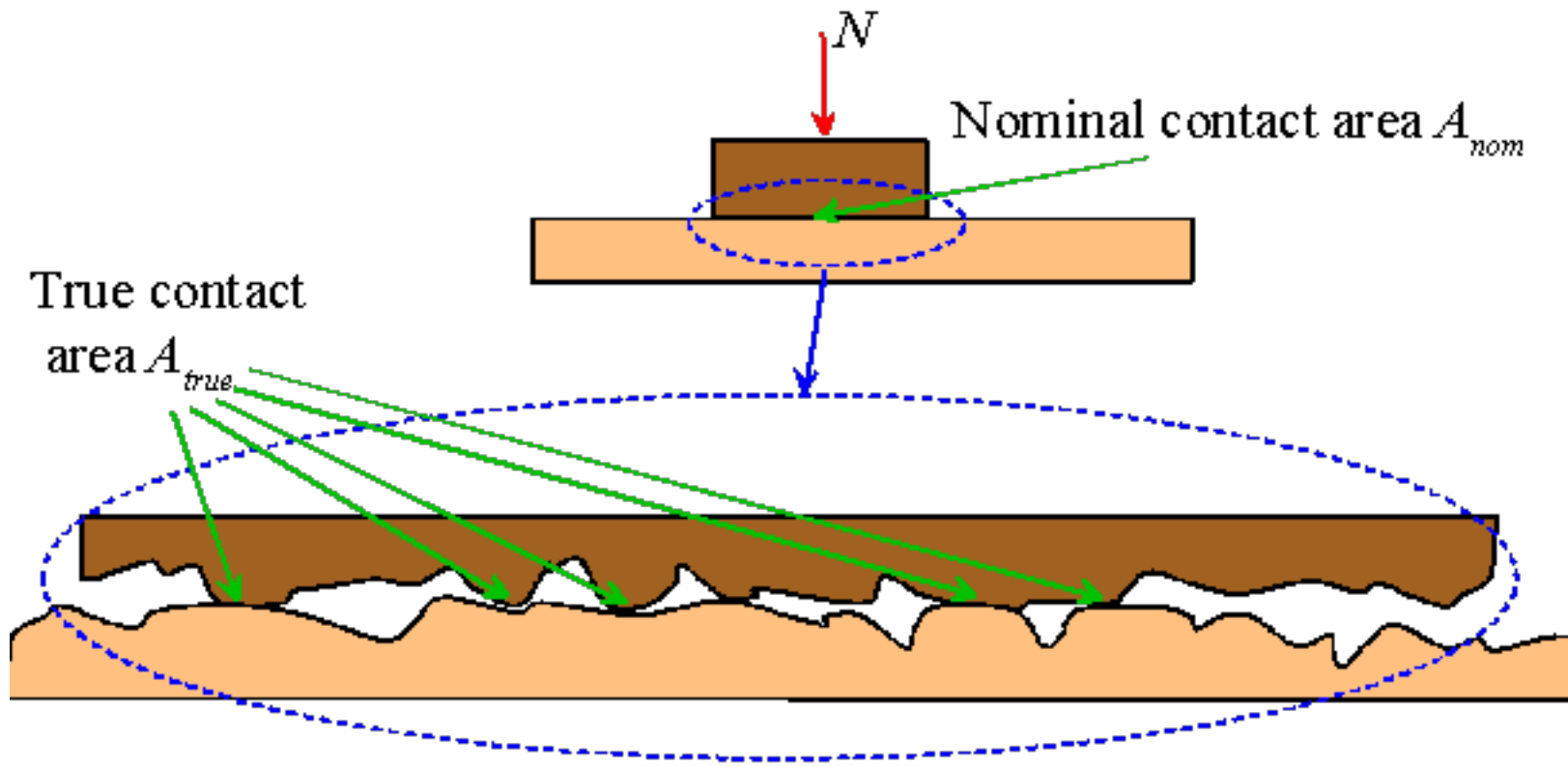
Adesão???



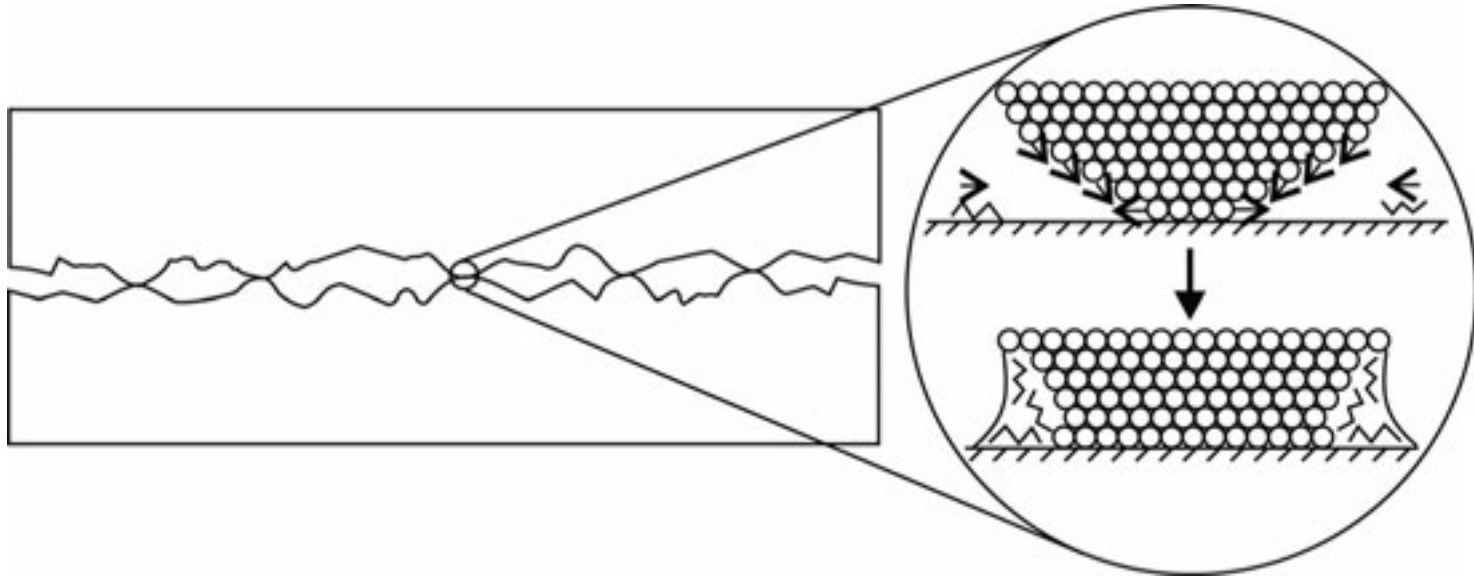
# Atrito hoje

- *Força de atrito  $\propto$  força normal*
- *Depende da área de contato REAL*  
*<1% da área de contato aparente (Mate, C. M. Tribology on the small scale. Oxford University Press, 2008)*
- *Depende da adesão na interface*
- *Difícil correlacionar micro e macro*

# Área de contato

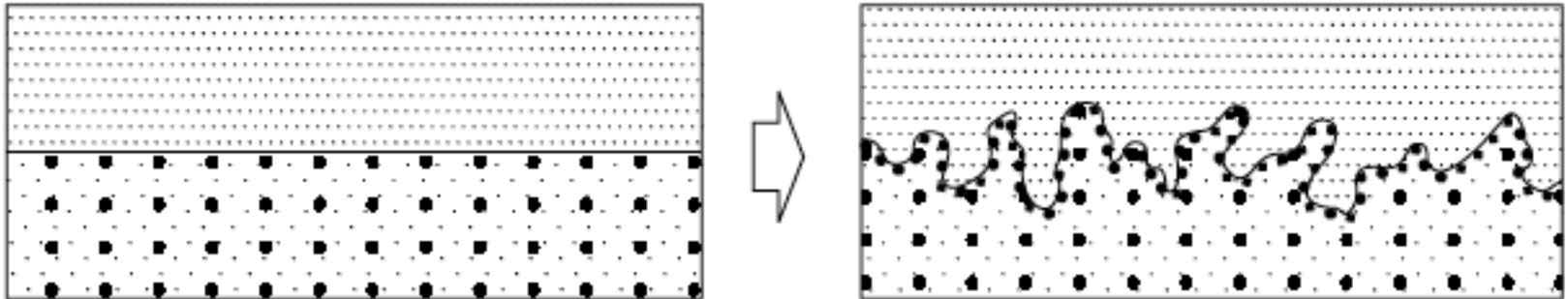


# Área de contato



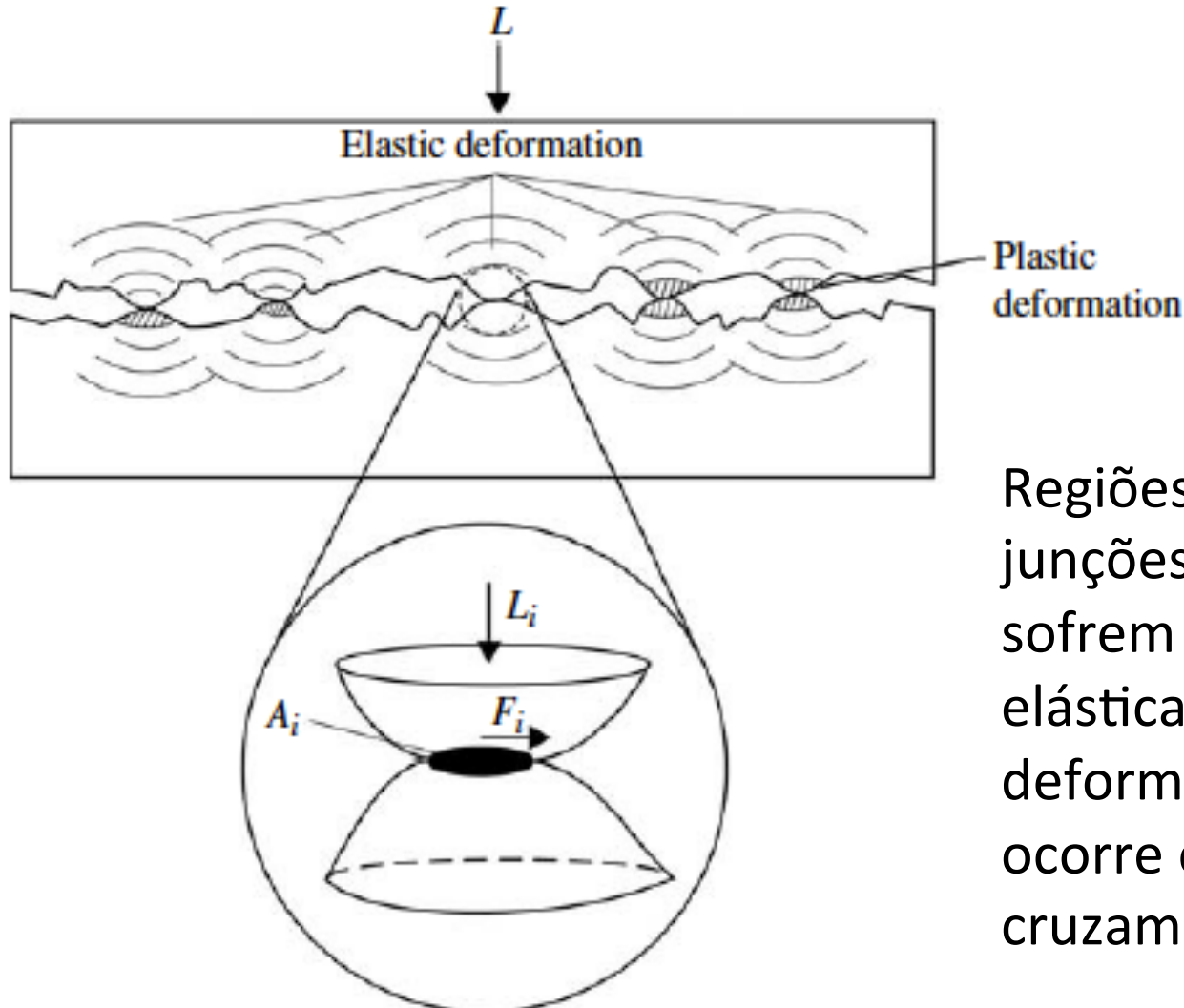
Quando superfícies ásperas estão em contato, átomos e moléculas difundem aumentando a área de contacto e o menisco em torno das asperezas de contato, aumentando as forças de adesão.

# Área de contato: *interdifusão*





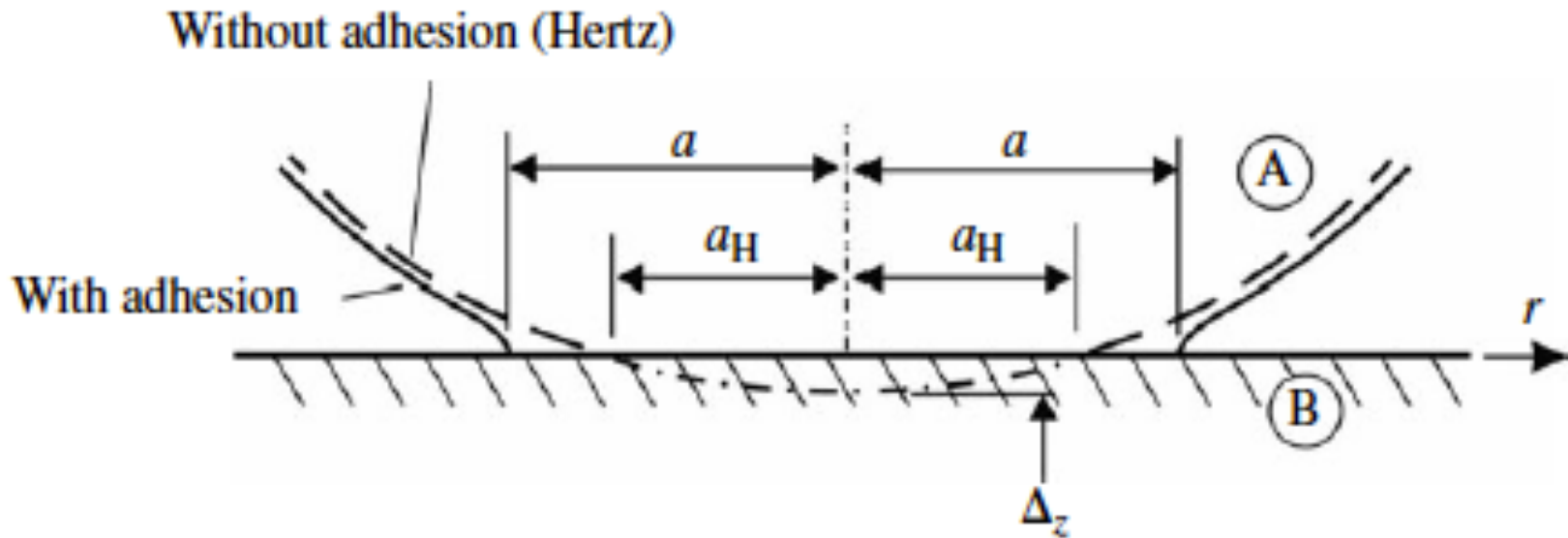
# Deformação elasto-plástica



Regiões circundantes das junções de contato sofrem deformação elástica, enquanto que a deformação plástica ocorre em alguns dos cruzamentos.

# Adesão

Envolve principalmente interações de van der Waals e/ou Coulombianas.

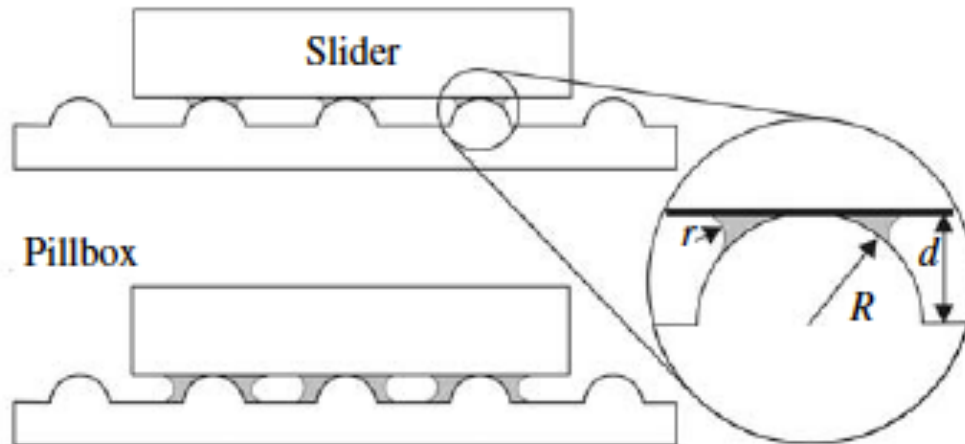


A energia total na superfície é reduzida aumentando a área de contato através de uma deformação elástica.

Teorias: JKR ou DMT.

# Adesão capilar

(a) Toe dipping



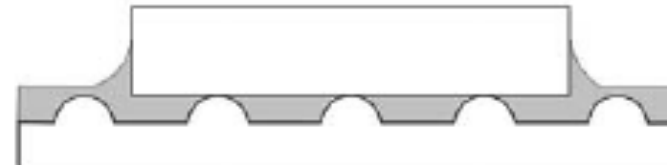
(b) Pillbox



(c) Flooded



(d) Immersed



# Atrito: medidas macroscópicas



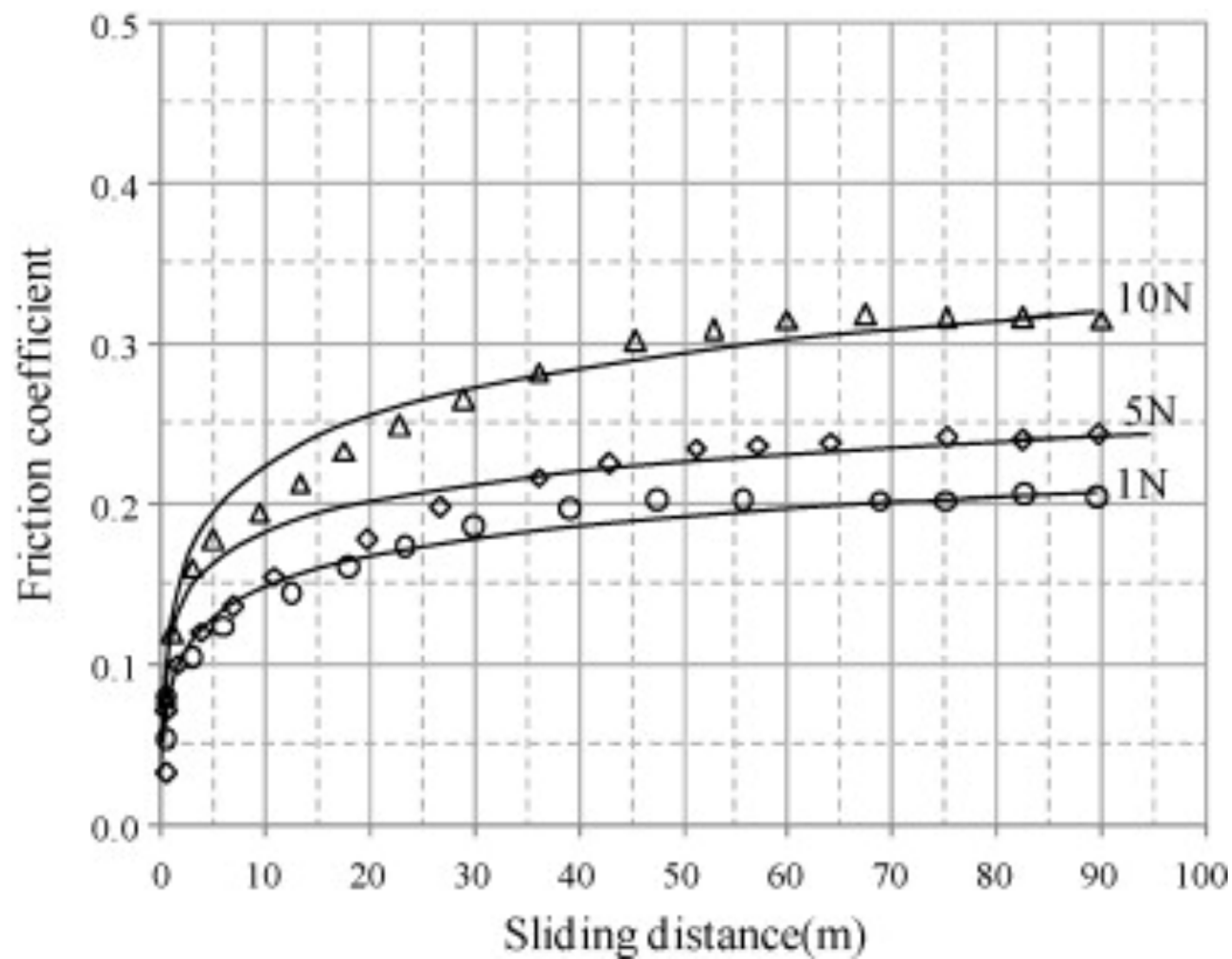




# Tribômetro

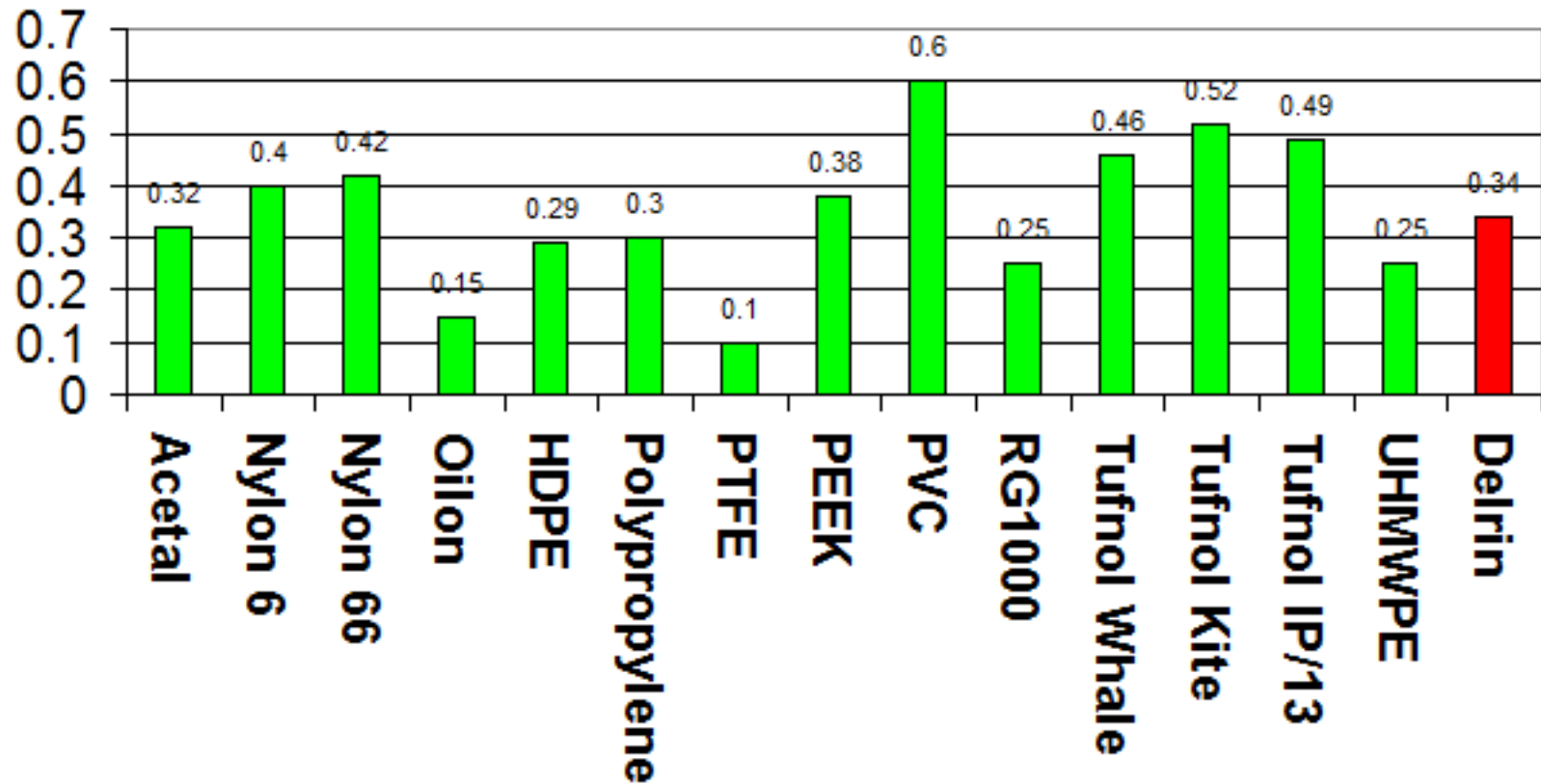
[http://www.youtube.com/watch?v=h0EN7\\_AOOXU](http://www.youtube.com/watch?v=h0EN7_AOOXU)

# HDPE

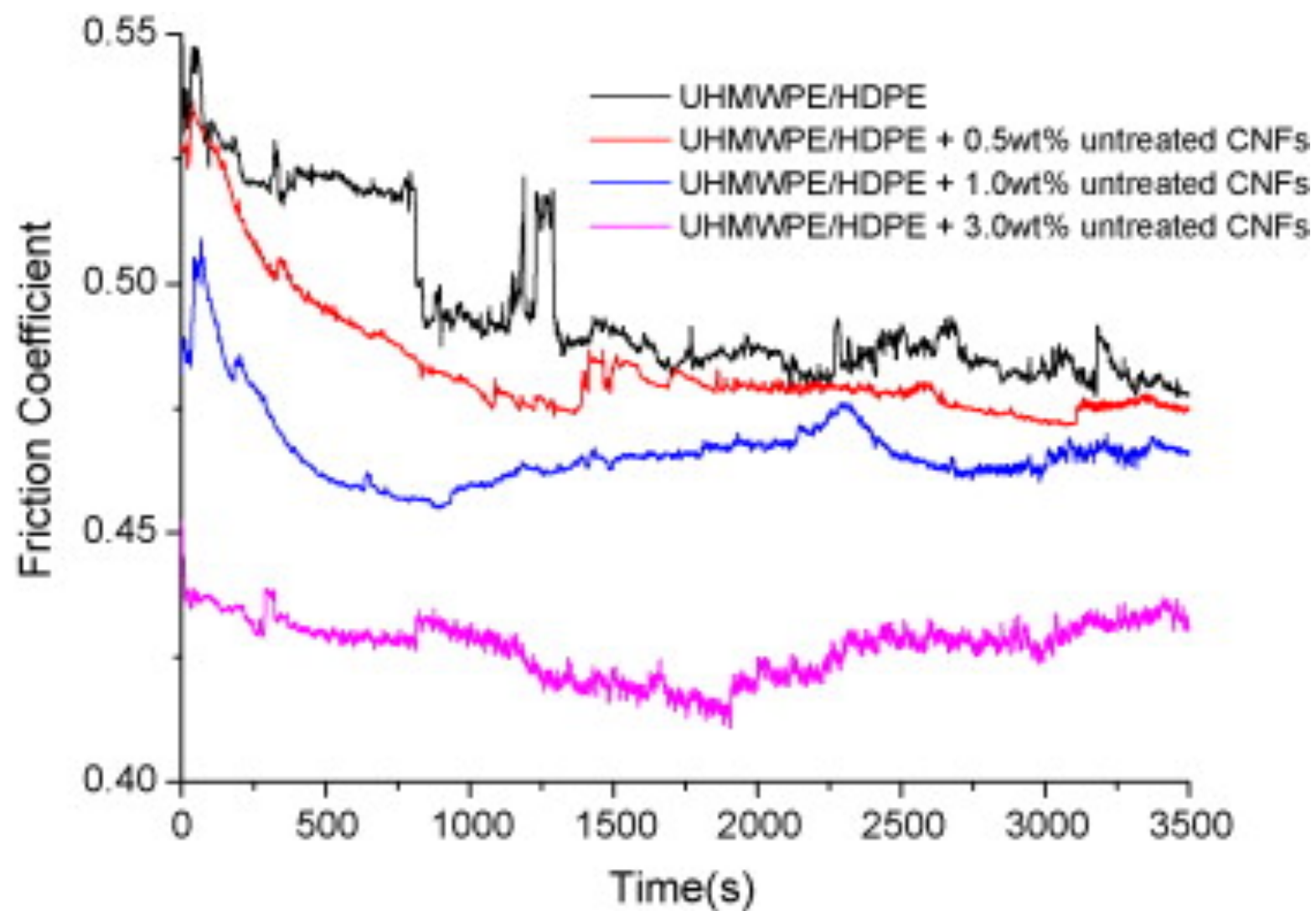


## Coefficient of Friction

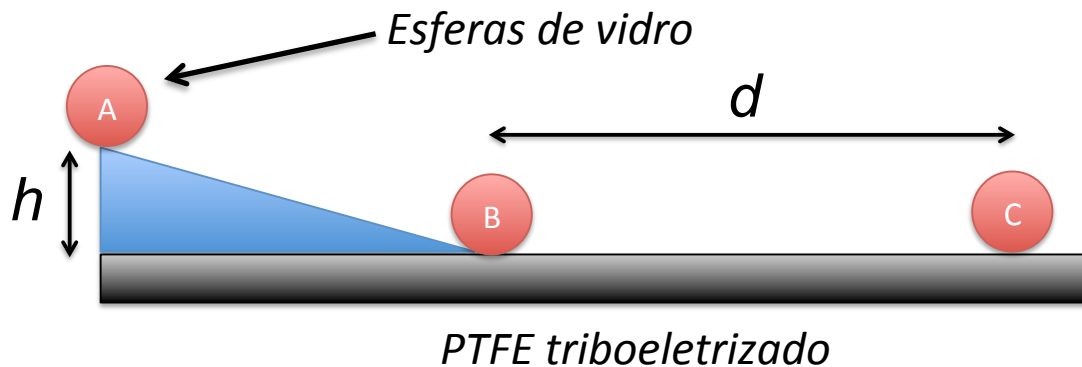
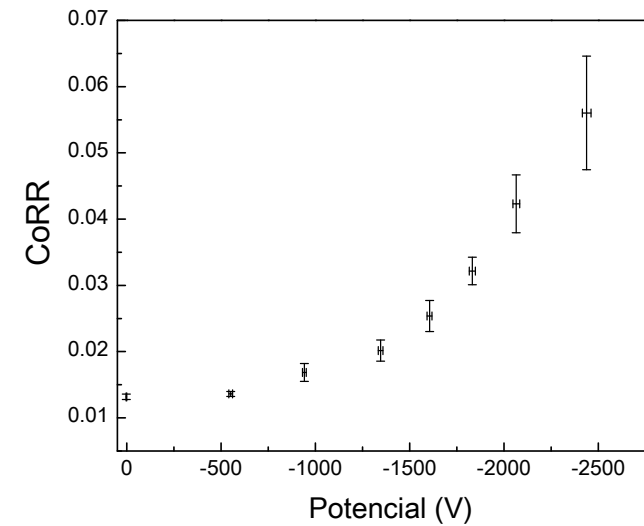
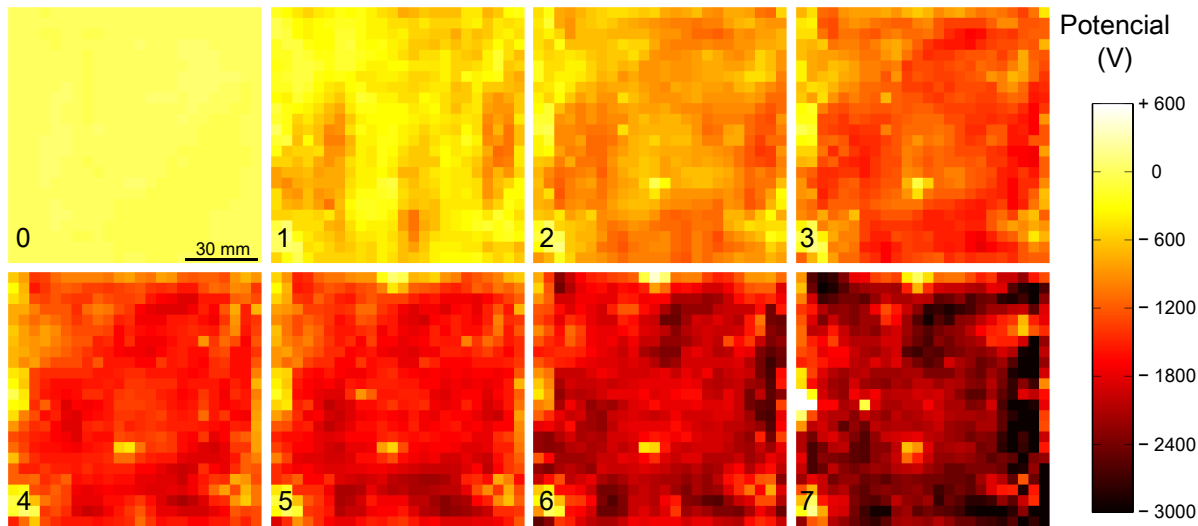
$p = 0.05\text{N/mm}^2$   $v = 0.6\text{m/s}$  on steel, hardend & ground







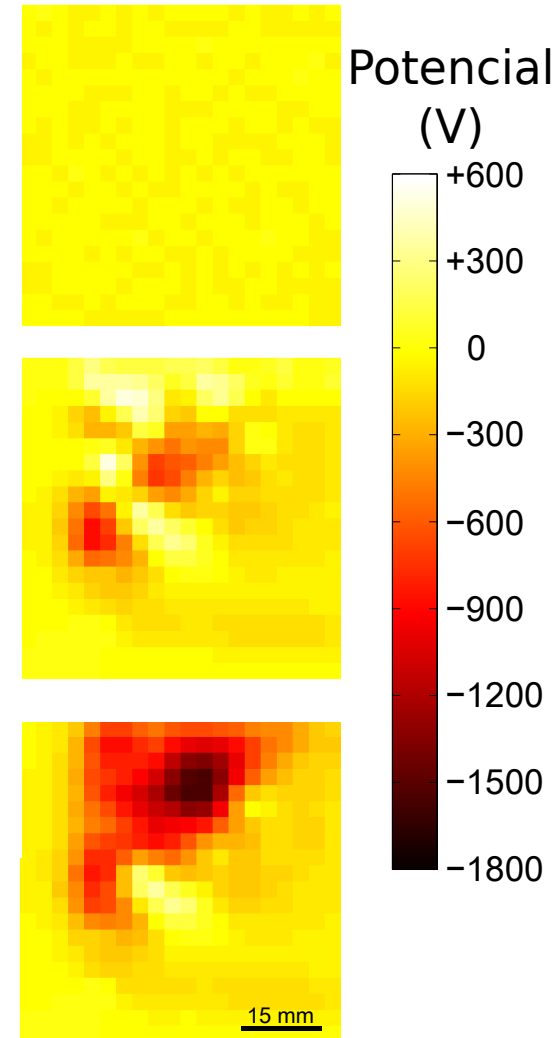
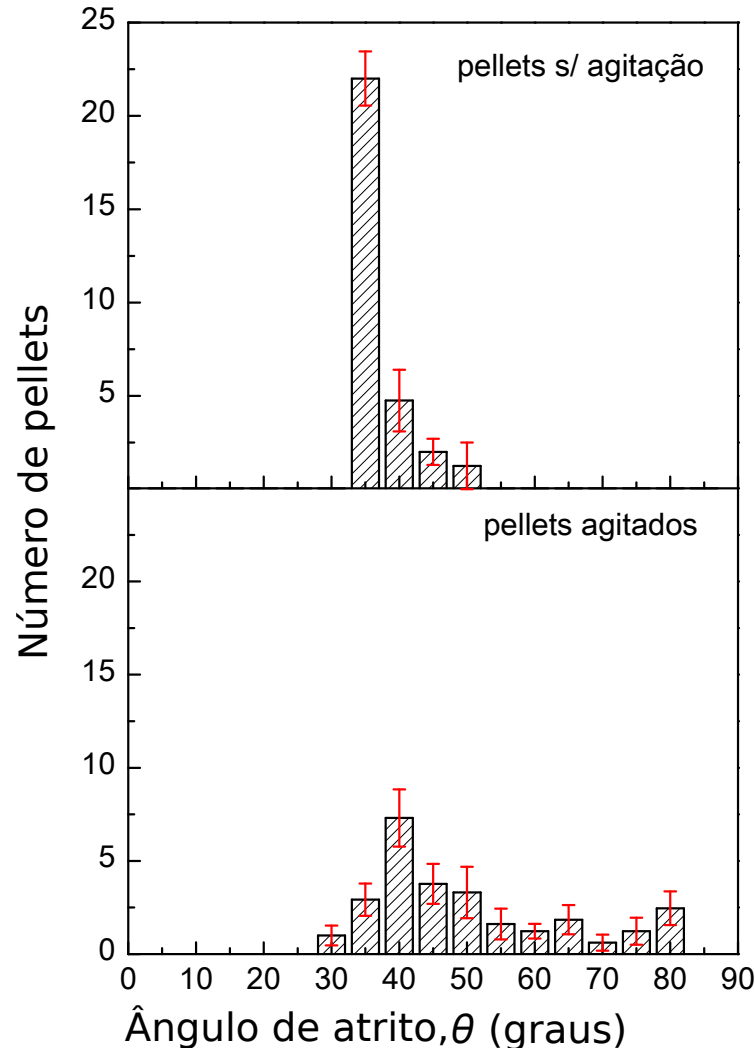
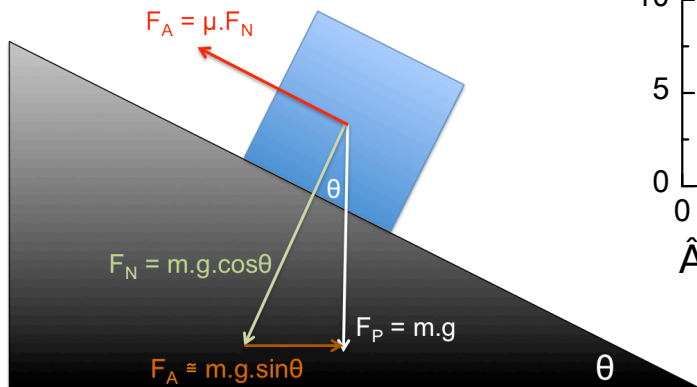
# Coeficiente de resistência ao rolamento (CoRR) x potencial eletrostático



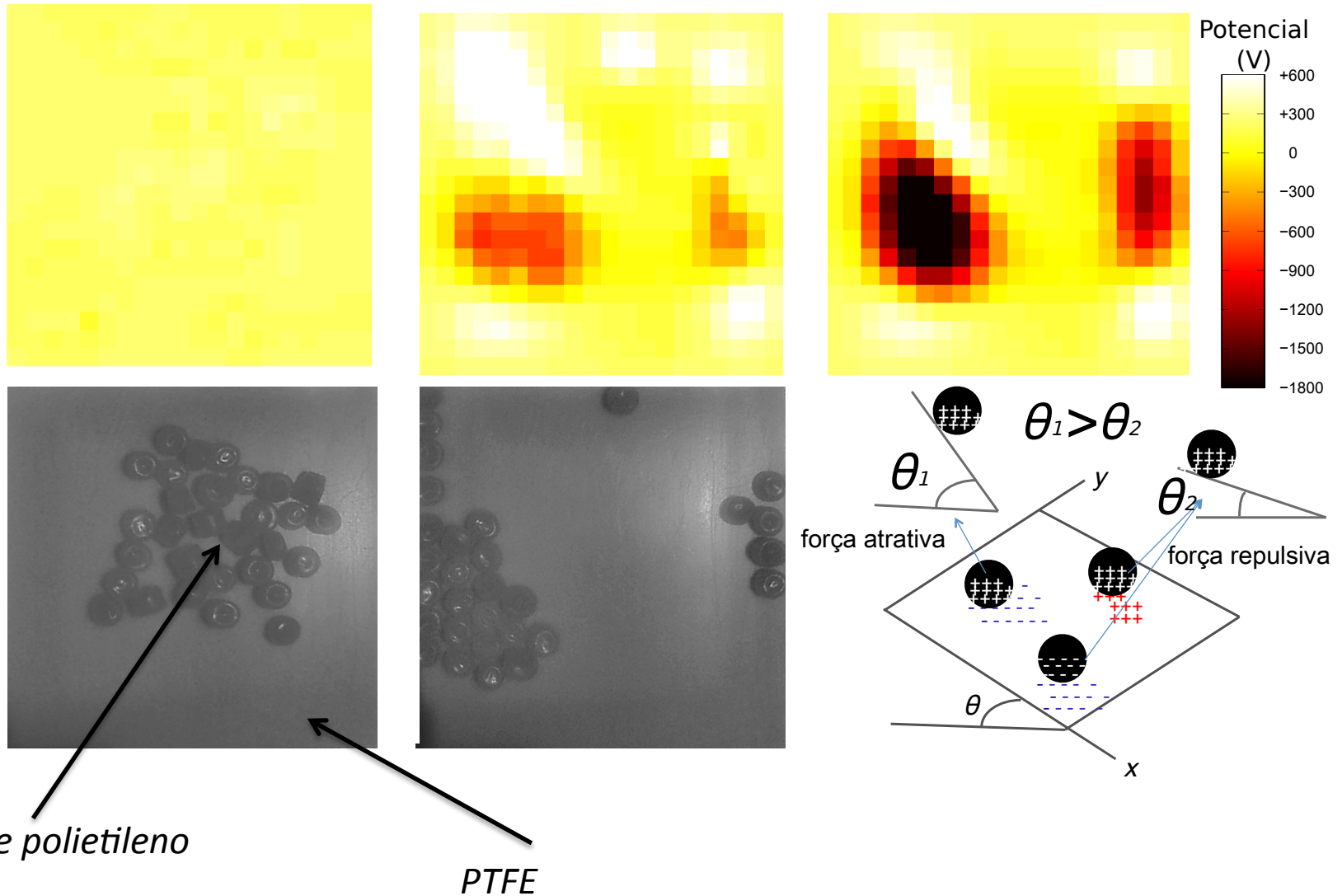
$$CoRR = h/d$$

# Coeficiente de atrito estático: PTFE x PE

- A triboeletrização entre PTFE e PE gera um **aumento** acentuado nos **ângulos de atrito**.
- Grãos de PE **não deslizam** mesmo em **90°**.



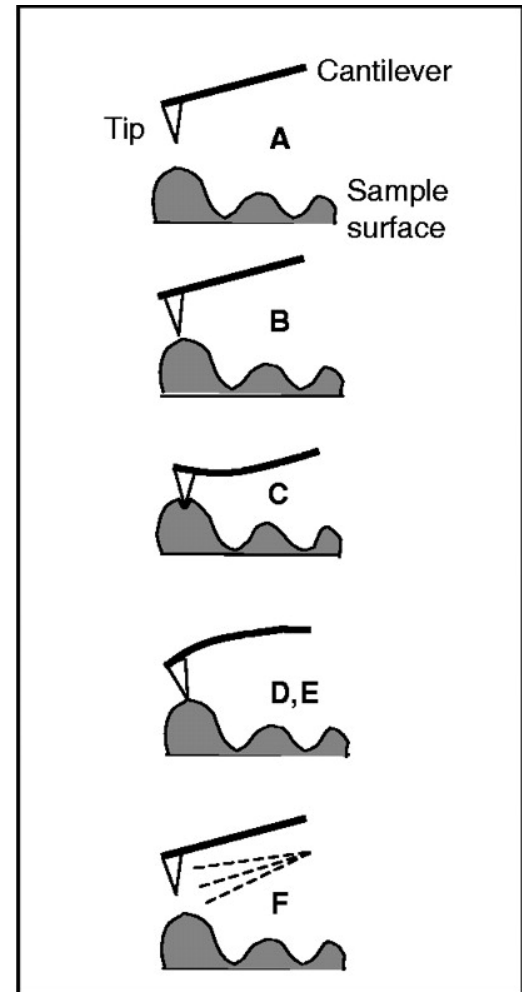
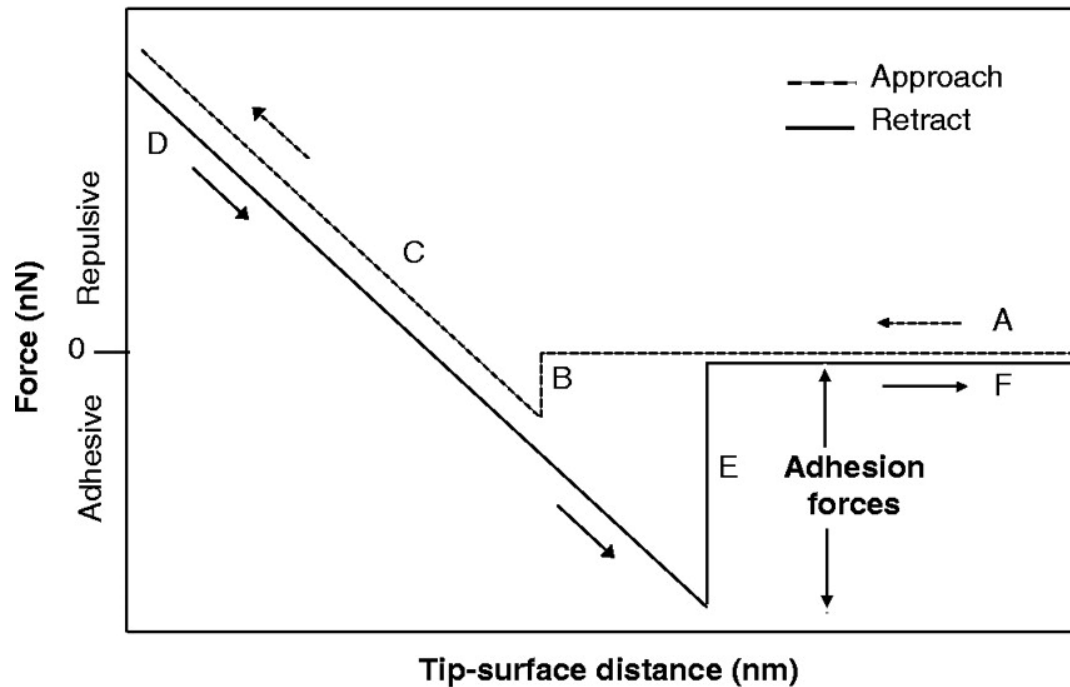
# Coeficiente de atrito estático: PTFE x PE



# Atrito: medidas microscópicas

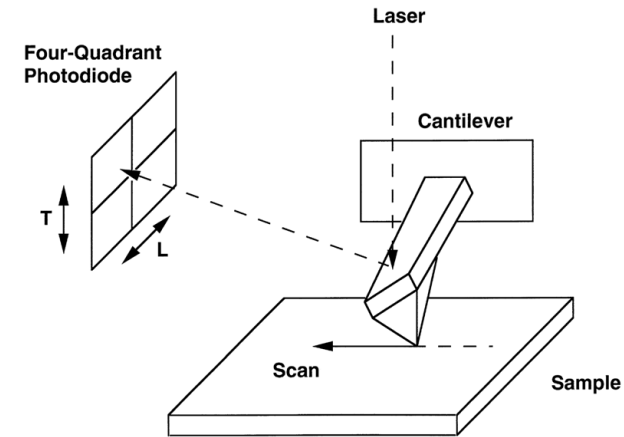
- Microtribômetros
- Microscopio de Força Lateram (LFM)
  - *Lateral force microscopy (LFM) or Friction force microscopy (FFM)*

# AFM: Curvas de força distância

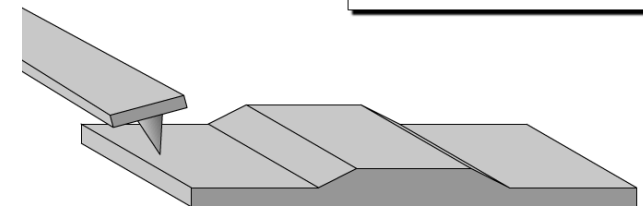
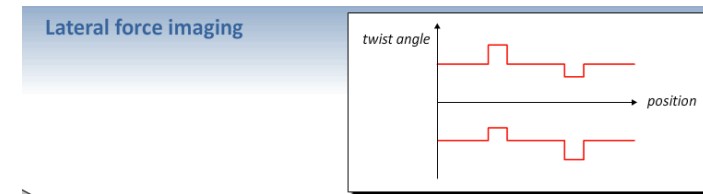
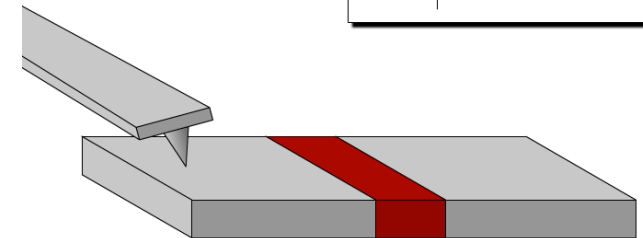
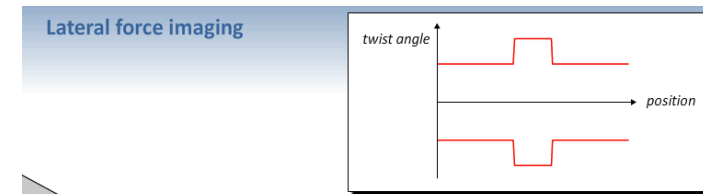


# Atrito em nível microscópico: *microscopia de força lateral*

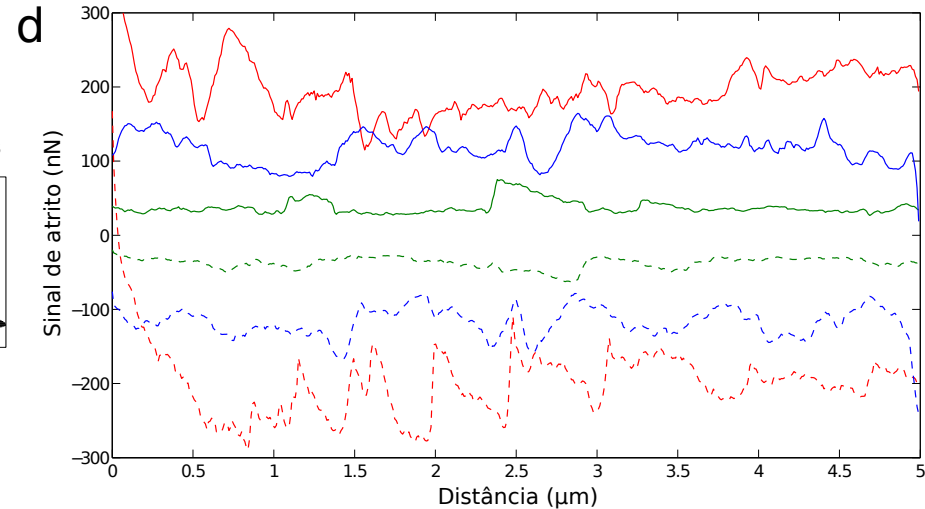
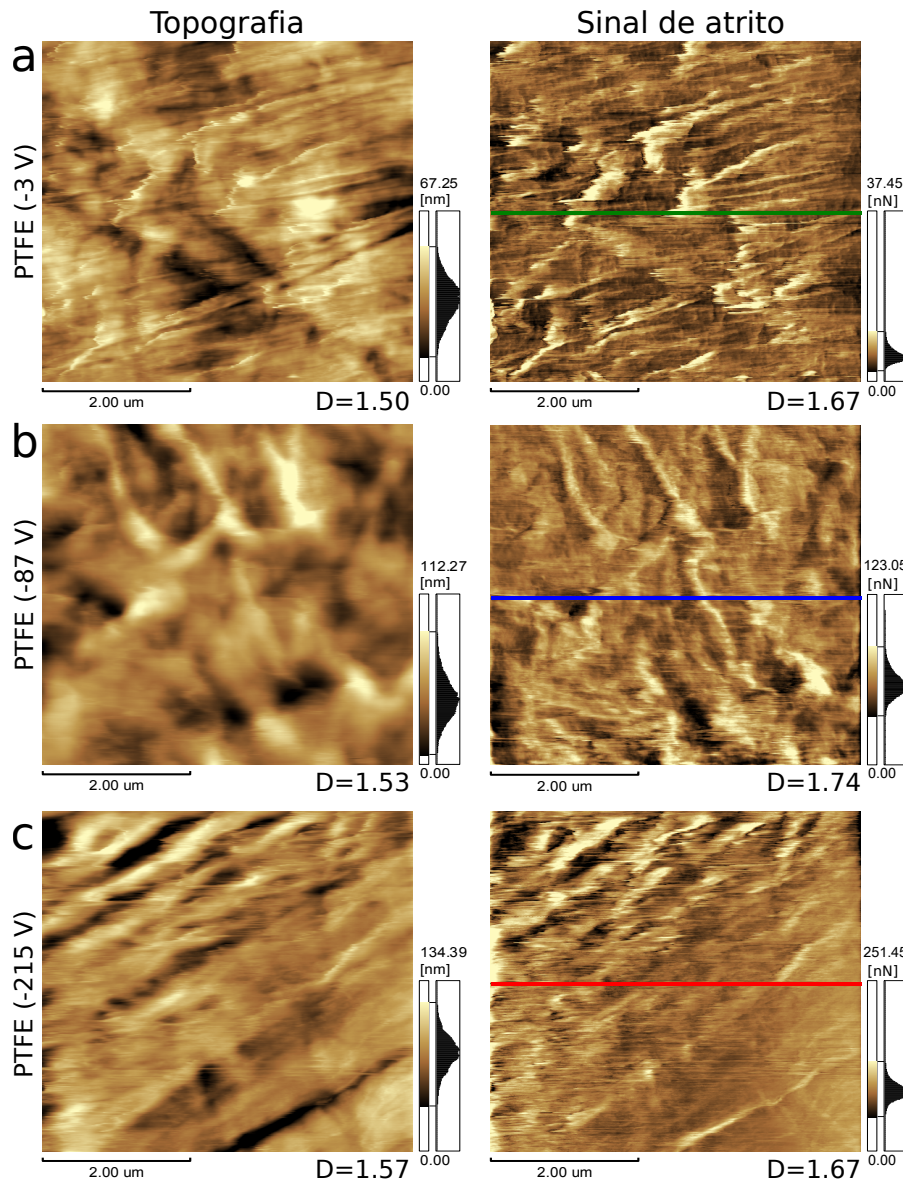
- Verificado pela primeira vez por Mate et al.;
- Utiliza a plataforma de um AFM;
- Sinal de deflexão é uma medida qualitativa do atrito.



Source: Overney, 1995



# Microscopia de força lateral



- Atrito é largamente afetado pela eletrização também em escala *nanométrica*.
- Dimensão fractal  $D$  do sinal de atrito é *maior* do que da topografia!