

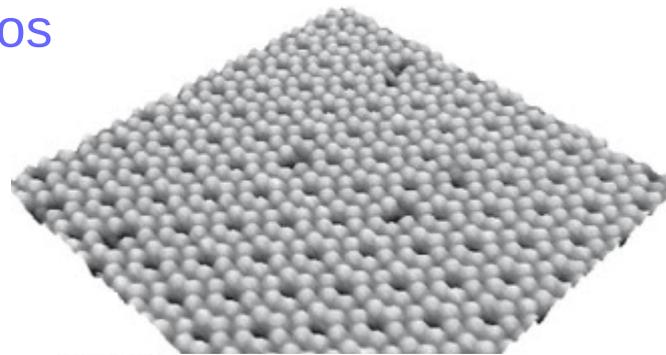
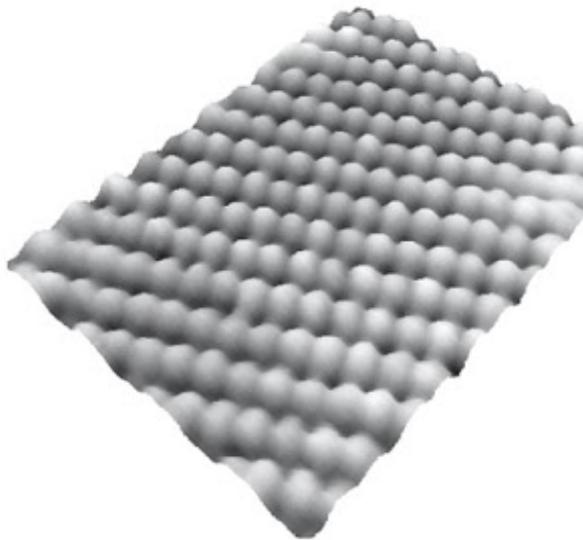
Aula 14 – modelo de sólido, atrito

- Explicar por que sólidos podem ser modelados usando esferas e molas microscópicas.
- Reconhecer que as forças de contato têm natureza eletromagnética, e não são novas forças fundamentais da Natureza.
- Descrever a origem microscópica da força normal entre dois objetos; entender o que determina a magnitude da força normal e como calculá-la.
- Descrever a origem microscópica das forças de atrito entre superfícies sólidas; enunciar as diferenças entre a força de atrito estático e a força de atrito cinético.
- Identificar, em situações práticas, o que determina a magnitude da força de atrito estático e ser capaz de dizer qual a sua orientação (direção e sentido).
- Calcular as forças de atrito estático e cinético entre duas superfícies em situações simples e relacioná-las com os movimentos dos corpos através do Princípio do Momento.

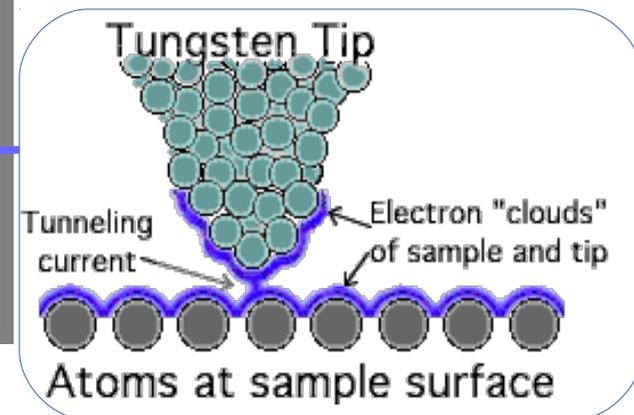
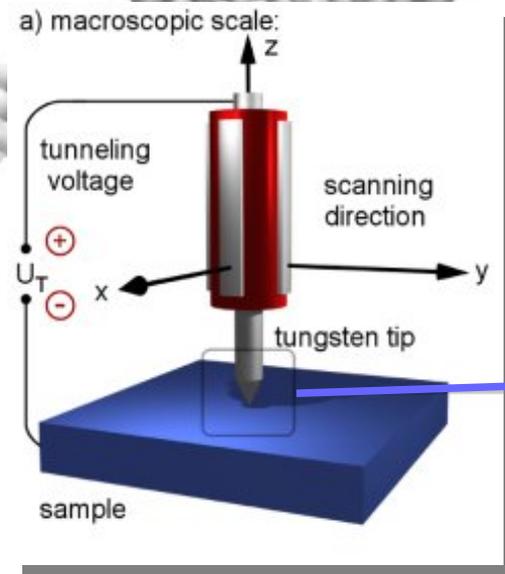
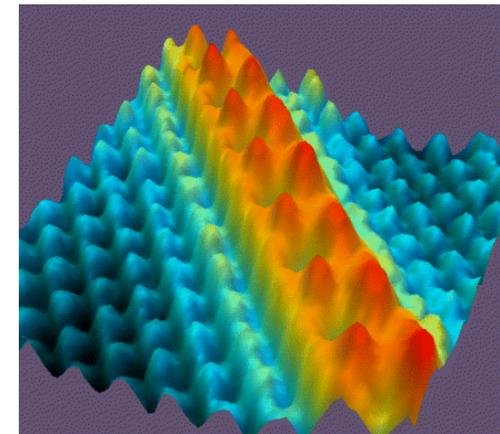
A estrutura microscópica de um sólido

Imagens de um microscópio de tunelamento quântico com varredura (STM)

Superfícies de dois tipos de cristal de silício

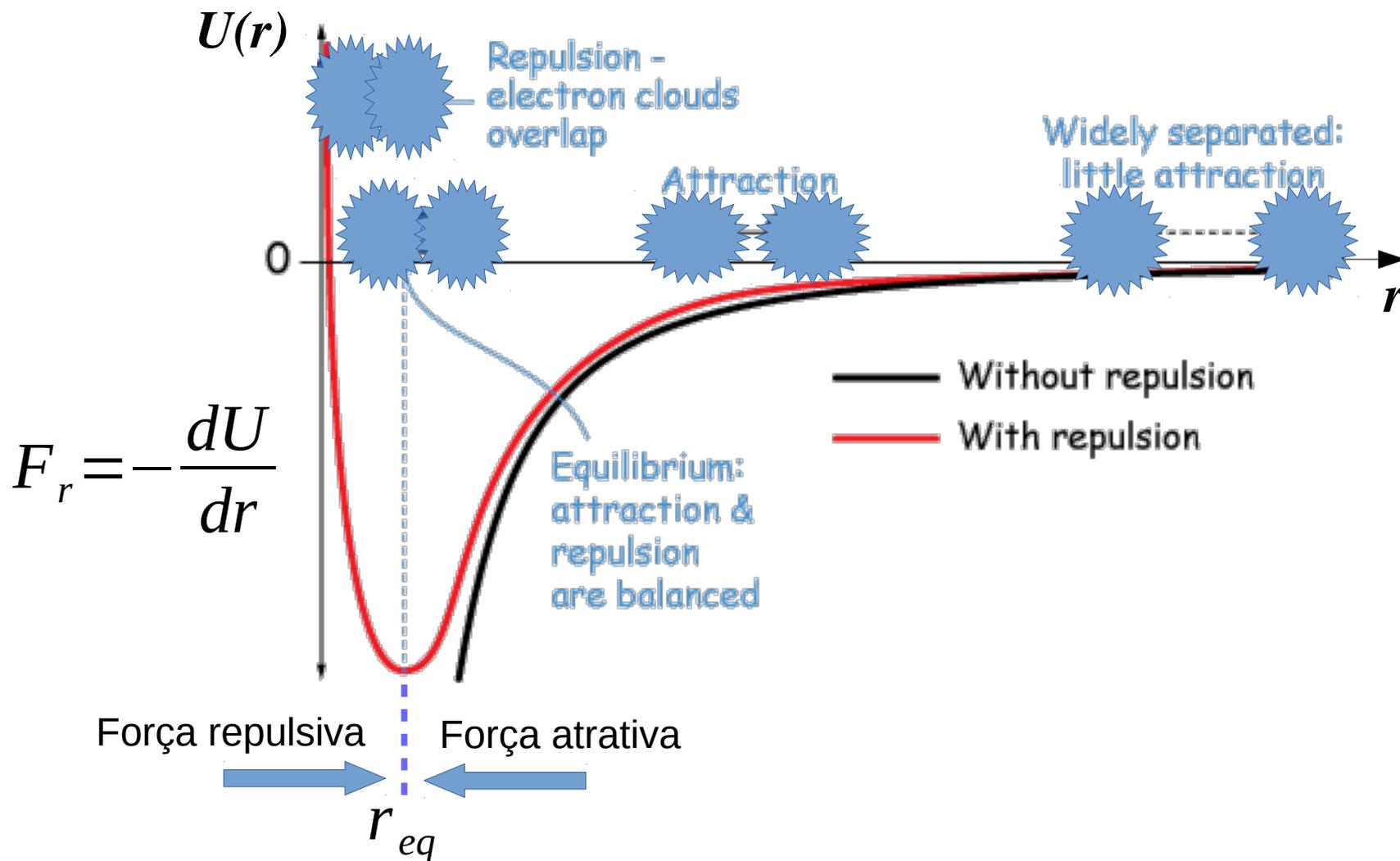


Cs sobre GaAs - 7nm x 7nm
(vide NIST.gov)



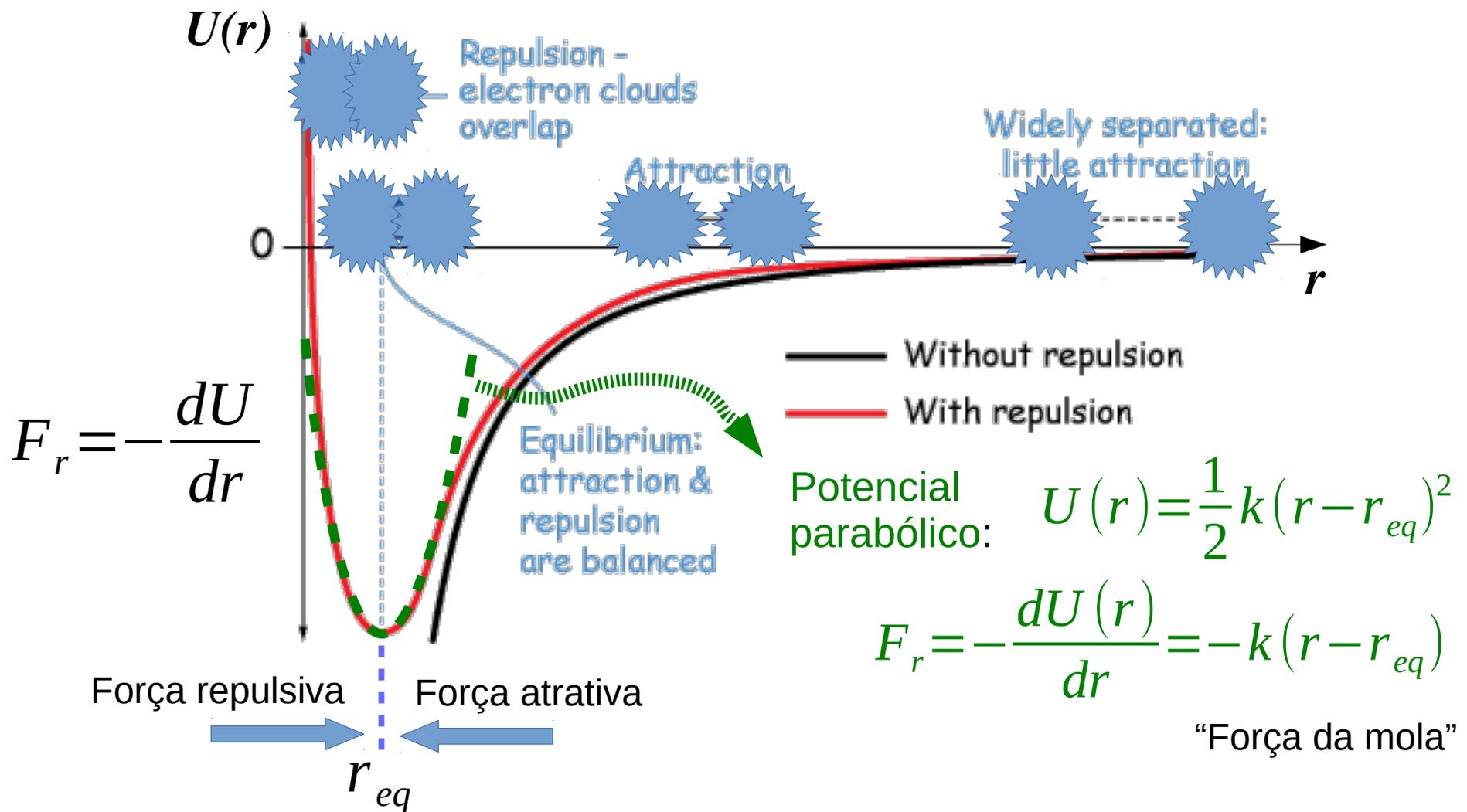
Interações atômico/moleculares

- Energia potencial (spoiler) e forças de interação



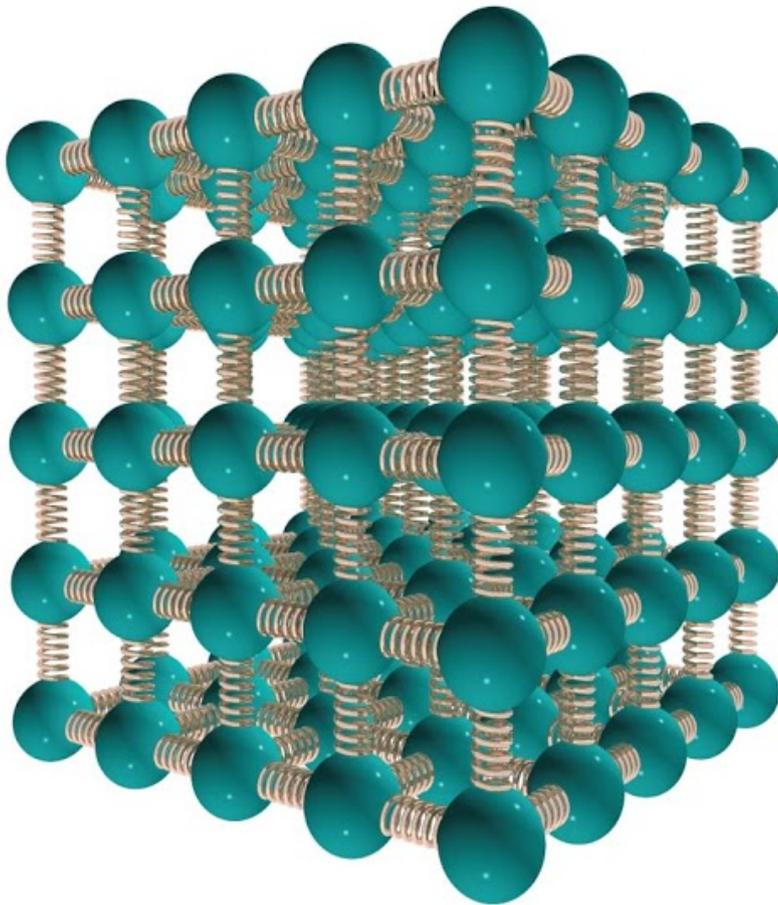
Interações atômico/moleculares

- Energia potencial (spoiler) e forças de interação



Modelo de esferas e molas

- Pequenas esferas interligadas por molas ideais



Ballspring.mov

Modelo de esferas e molas para um sólido

Recupera:

- Características qualitativas da força entre átomos: “força restauradora”
- Resultados experimentais macroscópicos como o do esticamento de um fio
- Forças de contato

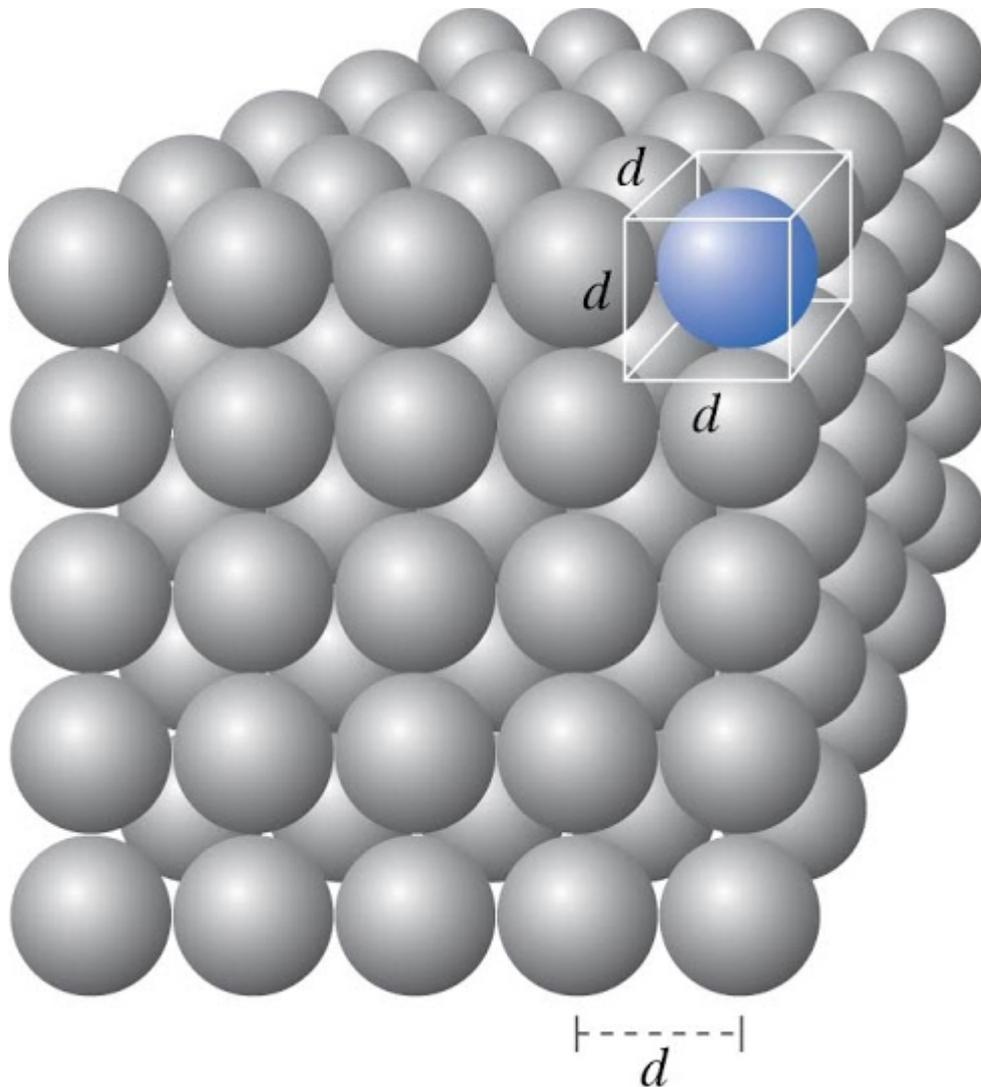
O modelo é bem simples, mas muito bom. O que isso significa?

- Capta as principais características das forças responsáveis pelo comportamento observado...

Sempre trabalhamos com modelos da realidade!

Como estimamos a distância média entre moléculas de um sólido?

Determinação da distância interatômica para um sólido com rede cúbica



Densidade:

$$\rho = \frac{m}{d^3} = \frac{M_{\text{amostra}}}{V_{\text{amostra}}}$$

Massa atômica:

$$m = \frac{M_{\text{mol}}}{N_A}$$

Distância interatômica:

$$d = \sqrt[3]{\frac{m}{\rho}}$$

Mais sobre isso na aula de quarta-feira!

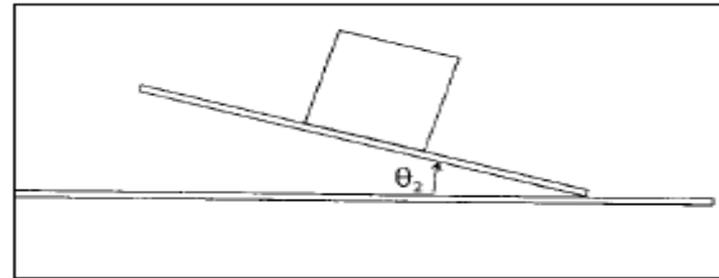
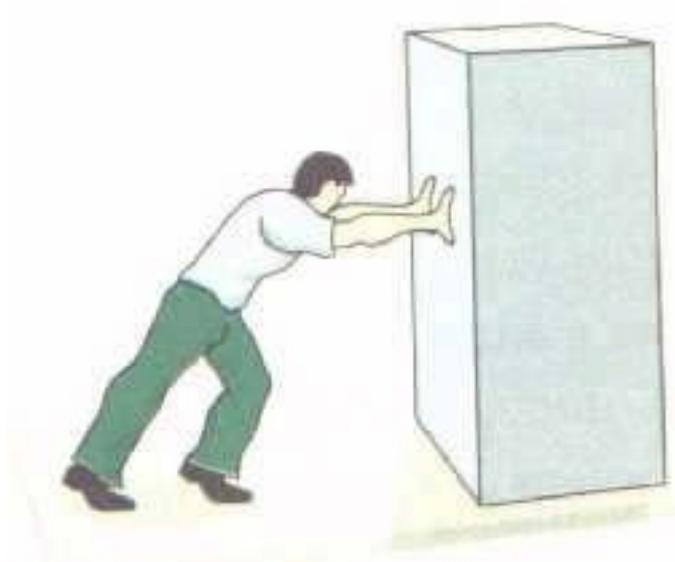
Forças de contato

- Têm origem nas forças coulombianas interatômicas entre prótons e elétrons (nuvem eletrônica) dos átomos nas superfícies de corpos “em contato”.
- Algumas têm fórmulas (macroscópicas e empíricas) que resumem propriedades das “zilhões” de interações microscópicas. Quem lembra de exemplos?
- Outras têm a propriedade de se autoajustar...
- Têm a propriedade da “reciprocidade” (ou seja, satisfazem a terceira lei de Newton).
- Permitem que continuemos a modelar os objetos como partículas pontuais.

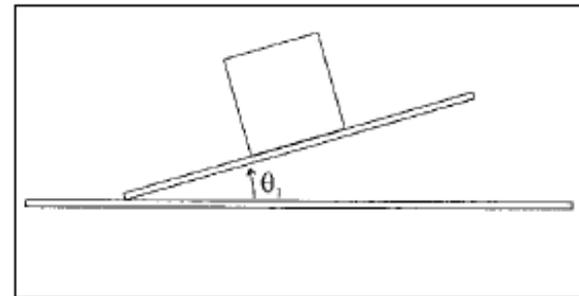
Forças de contato

- Têm origem nas forças coulombianas interatômicas entre prótons e elétrons (nuvem eletrônica) dos átomos nas superfícies de corpos “em contato”.
- Algumas têm fórmulas (macroscópicas e empíricas) que resumem propriedades das “zilhões” de interações microscópicas. Quem lembra de exemplos? (Força de uma mola, força de atrito cinético, força de empuxo, força de resistência do ar...)
- Outras têm a propriedade de se autoajustar...
- Têm a propriedade da “reciprocidade” (ou seja, satisfazem a terceira lei de Newton).
- Permitem que continuemos a modelar os objetos como partículas pontuais.

Força de atrito estático



Como a força de atrito estático “sabe” qual direção, qual sentido, qual magnitude deve ter?



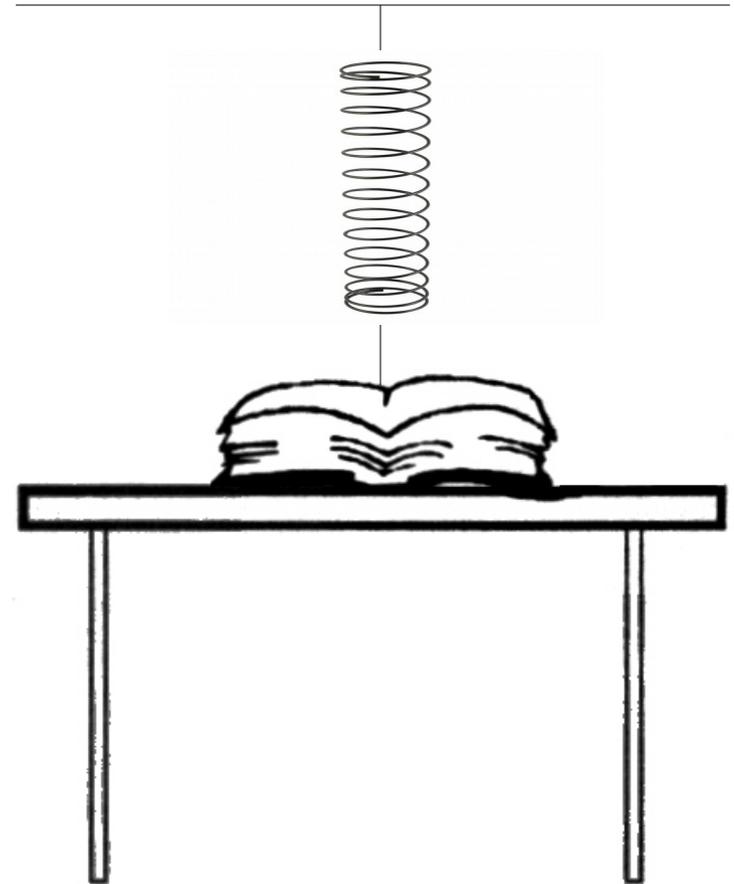
Força normal



Livro sobre a mesa

A força normal, aplicada pela mesa sobre o livro, é a mesma nos dois casos?

Como a mesa (um objeto inanimado) consegue perceber que há uma mola acima do livro?



O livro continua apoiado em uma mesa, mas agora está preso também a uma mola distendida.

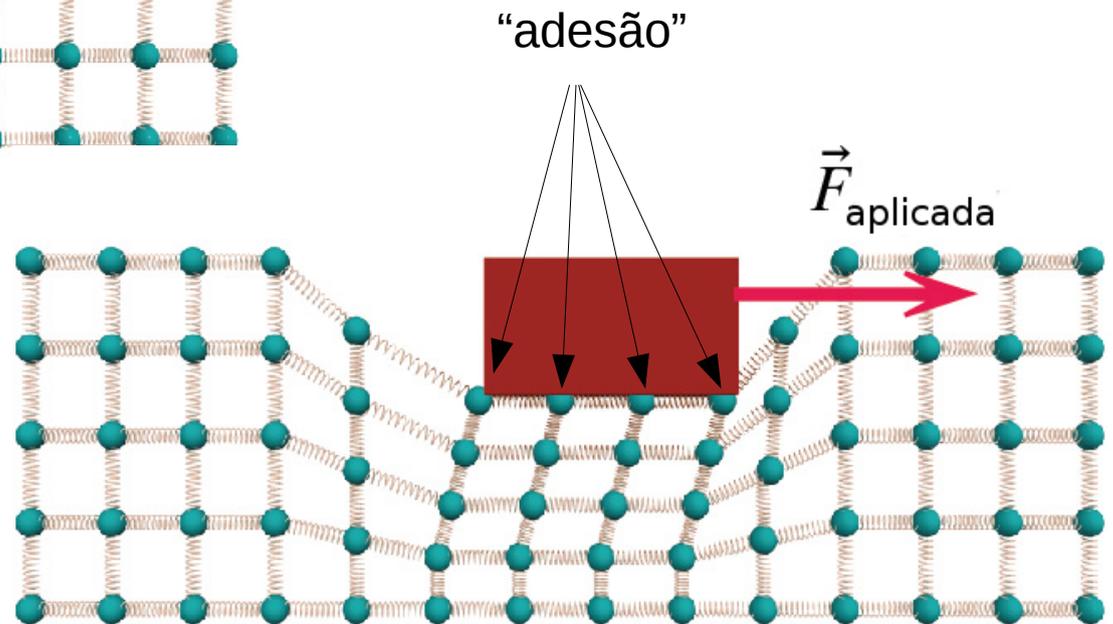
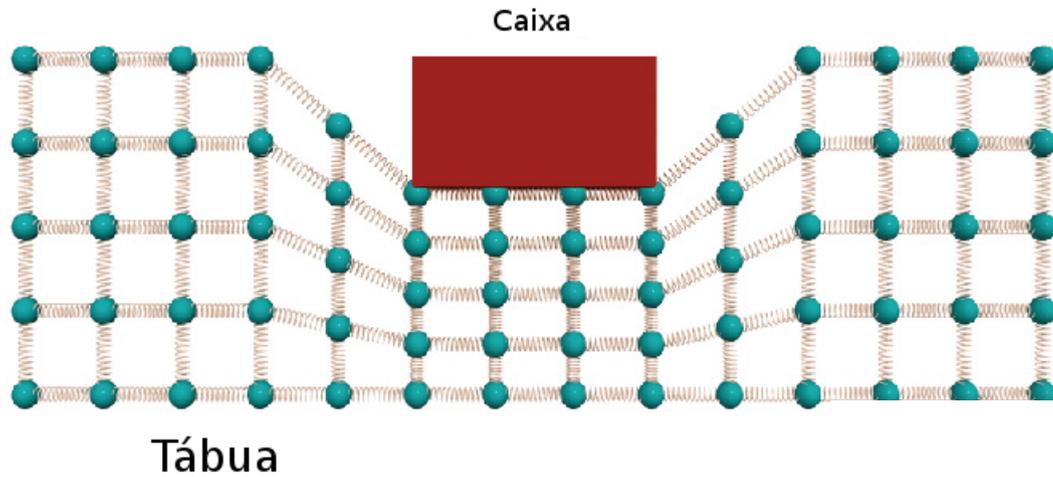
Tensão / tração



A tensão na corda é a mesma?

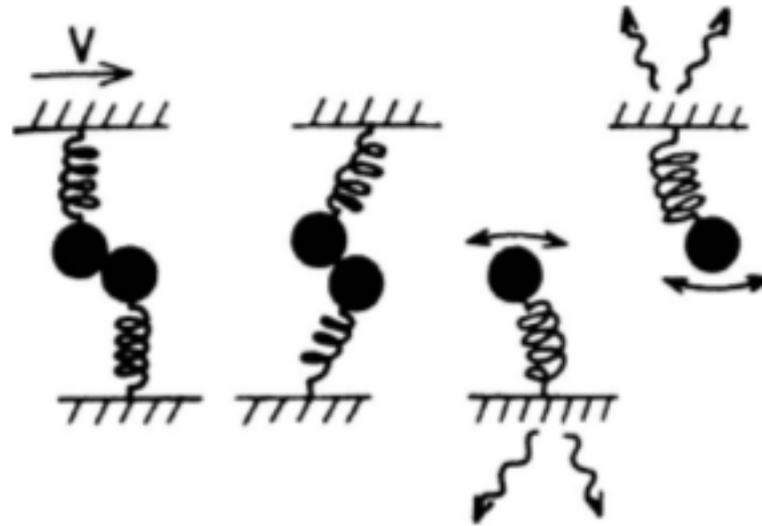
Como a corda “sabe” a magnitude certa da tensão?

Modelo de sólido – ajuda a entender



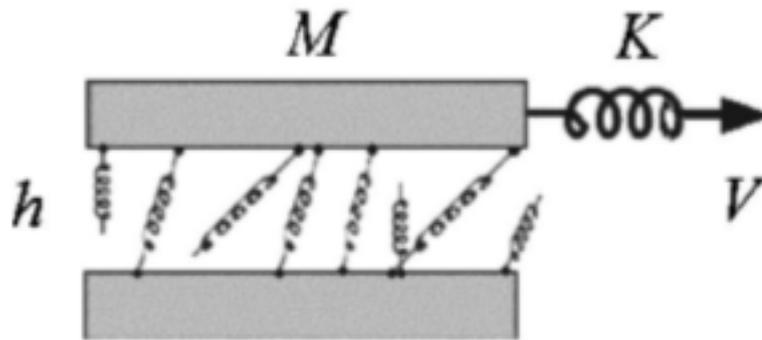
Modelo para a força de atrito: adesão por “molas temporárias”

Átomos das superfícies

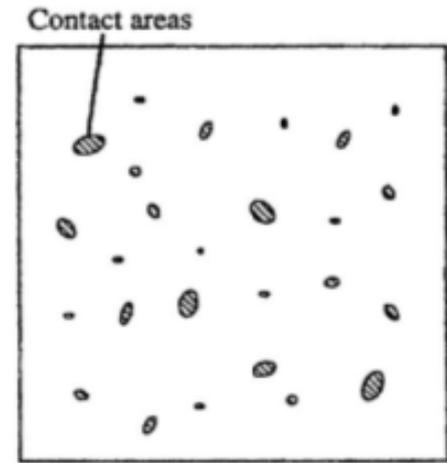
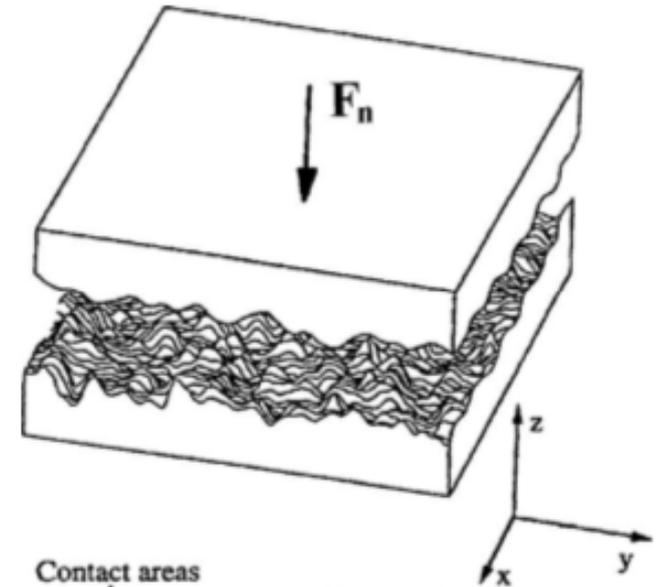


(a)

Ligações atômicas (temporárias)



(b)



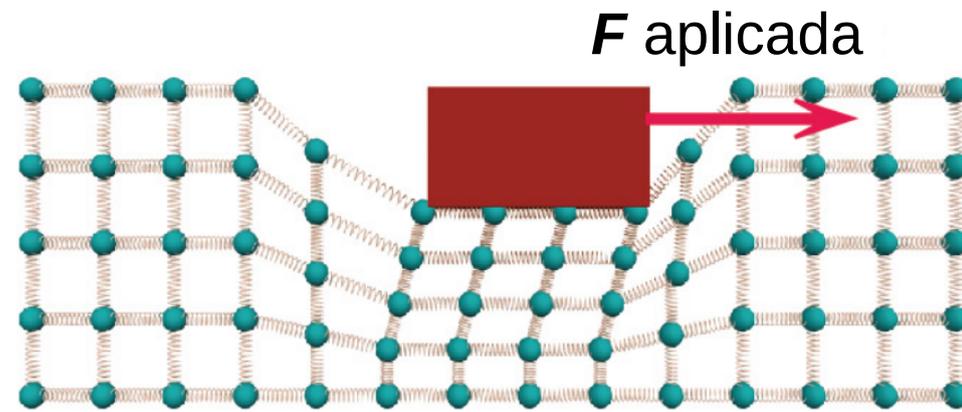
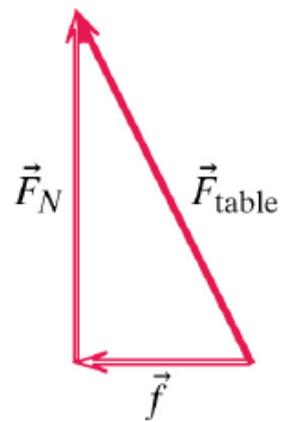
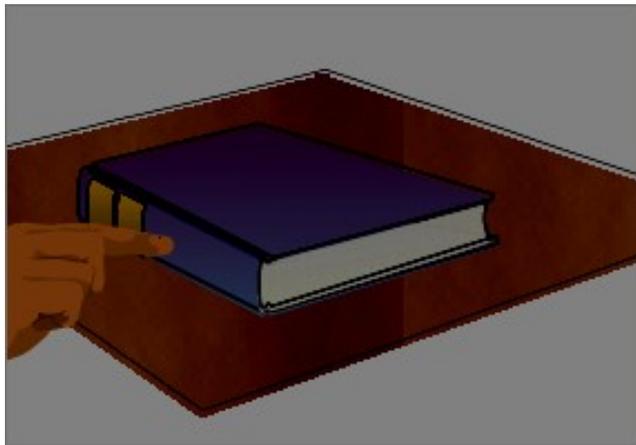
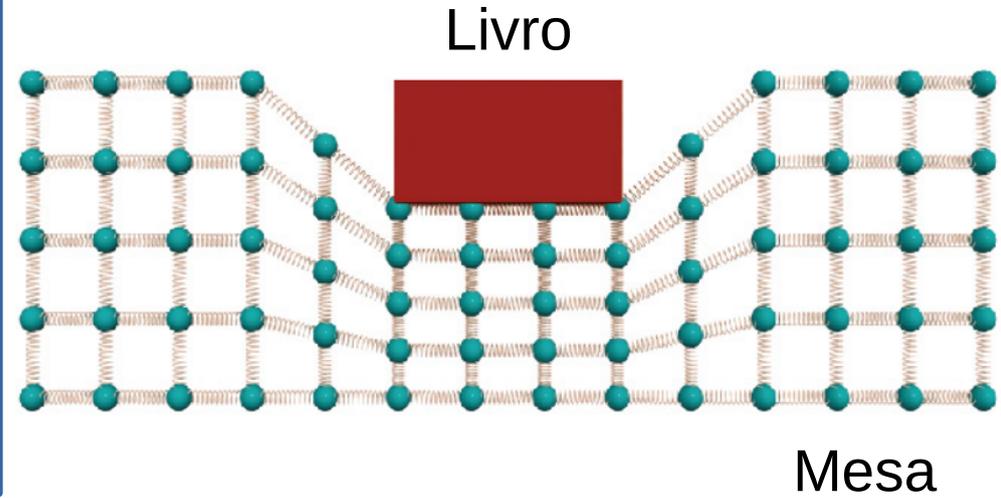
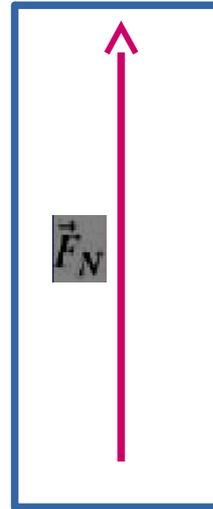
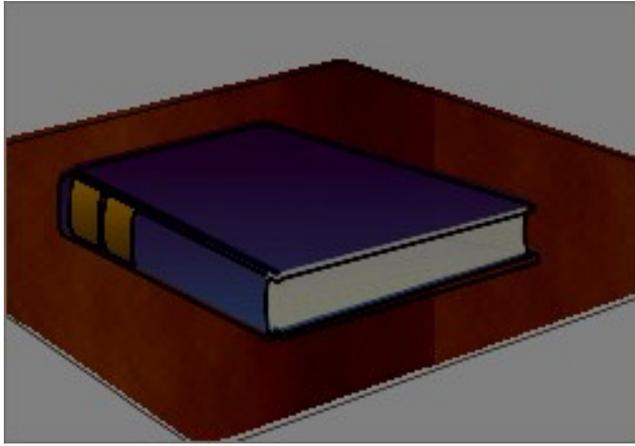
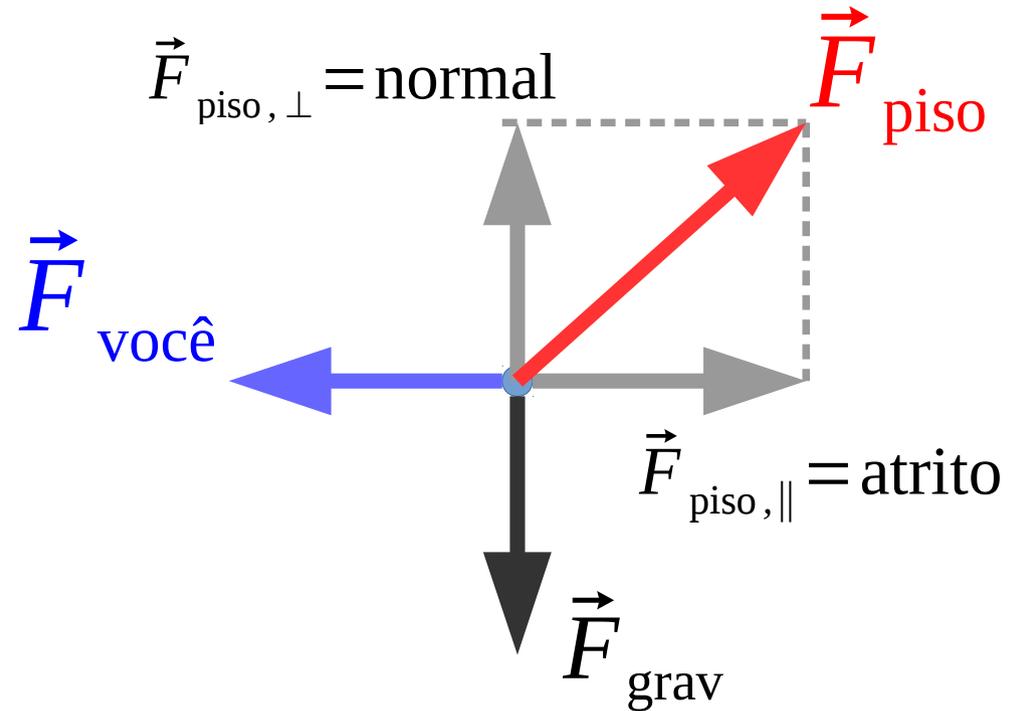


Diagrama de forças – caixote



O caixote é representado por um ponto (modelo de partícula)

- A componente perpendicular da força que o chão aplica sobre o caixote é a força normal.
- A componente paralela da força que o chão aplica sobre o caixote é a força de atrito.

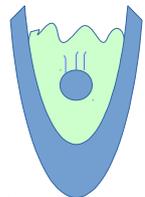
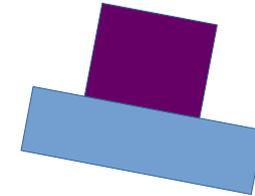
O que é atrito?



- É um efeito que ocorre na interface entre dois corpos, ou meios, ou mesmo entre camadas de um mesmo meio
- Gera uma força que tende a dificultar o movimento **relativo** entre as partes que estão em contato
- Pode ser do tipo estático, que impede o movimento, ou dinâmico, que dificulta o movimento e dissipa energia (transfere energia do movimento macroscópico, ordenado, para o microscópico, desordenado)

Exemplos

- Entre superfícies sólidas
- Sólido-fluido
- Lubrificações (sólido-fluido-sólido)
- Fluido (viscosidade)



O atrito é “bom”

- Permite caminhar

Com



Sem

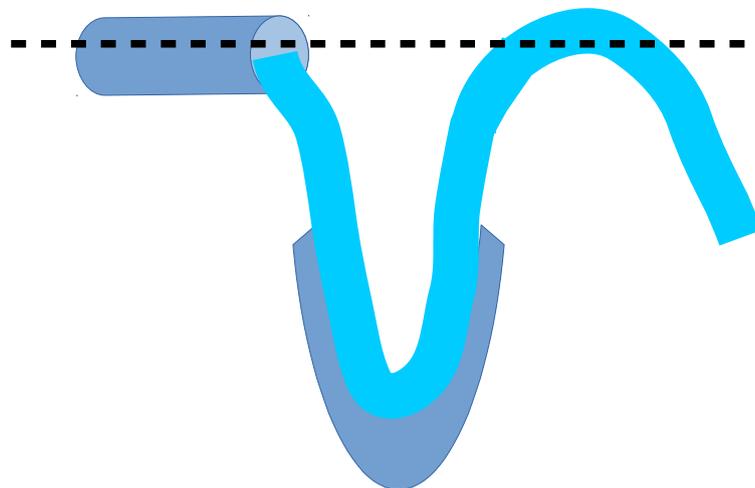


- Permite colocar água no copo

Com

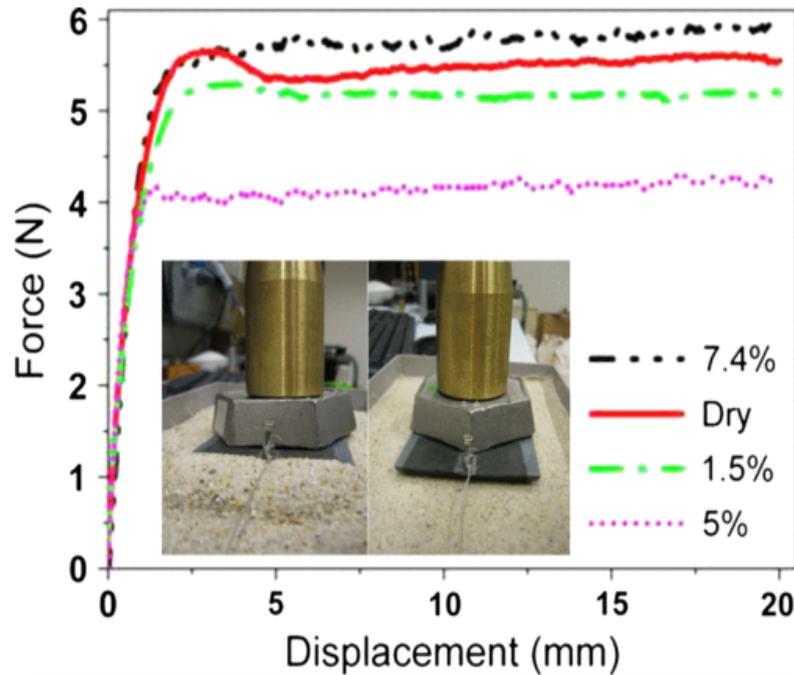


Sem



Etc. Etc. ...

Como egípcios arrastavam pesos pela areia do deserto:



Sliding Friction on Wet and Dry Sand

Phys. Rev. Lett. 112, 175502 – Published 29 April 2014

A. Fall, B. Weber, M. Pakpour, N. Lenoir, N. Shahidzadeh, J. Fiscina, C. Wagner, and D. Bonn

Areia seca
X
Areia molhada



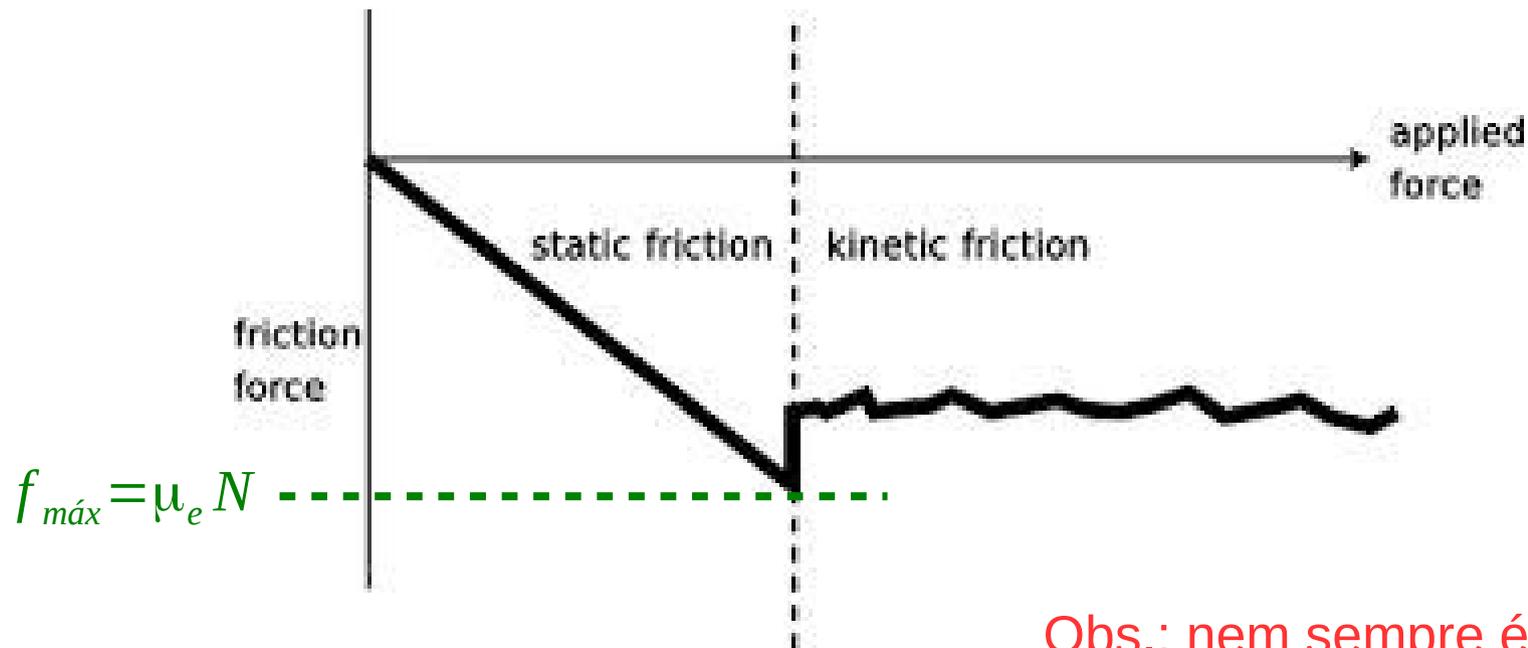
Fórmulas empíricas para a magnitude da força de atrito

- Extensas investigações experimentais indicam que, em muitos casos de interesse prático, a força de atrito entre duas superfícies possui as seguintes propriedades:
 - na ausência de movimento contínuo, a magnitude da força de atrito (estático) é limitada a $\mu_e N$, em que μ_e é uma propriedade do par de superfícies e N é a componente normal da força de contato entre as superfícies;
 - quando há movimento relativo entre as superfícies, a magnitude da força de atrito (cinético) é bem aproximada por $\mu_c N$, em que μ_c também é uma propriedade do par de superfícies em contato;
 - em ambos os casos, a força de atrito não depende da área de contato, e sempre se opõe ao movimento relativo entre as superfícies.

Fórmulas empíricas para a magnitude da força de atrito

Leonardo da Vinci (1452–1519) Guillaume Amontons (1699)

- Atrito estático $f_e \leq \mu_e N$
 - Atrito cinético $f_c = \mu_c N$
- $|\vec{f}_{e,c}| = f_{e,c}$ e $|\vec{N}| = N$

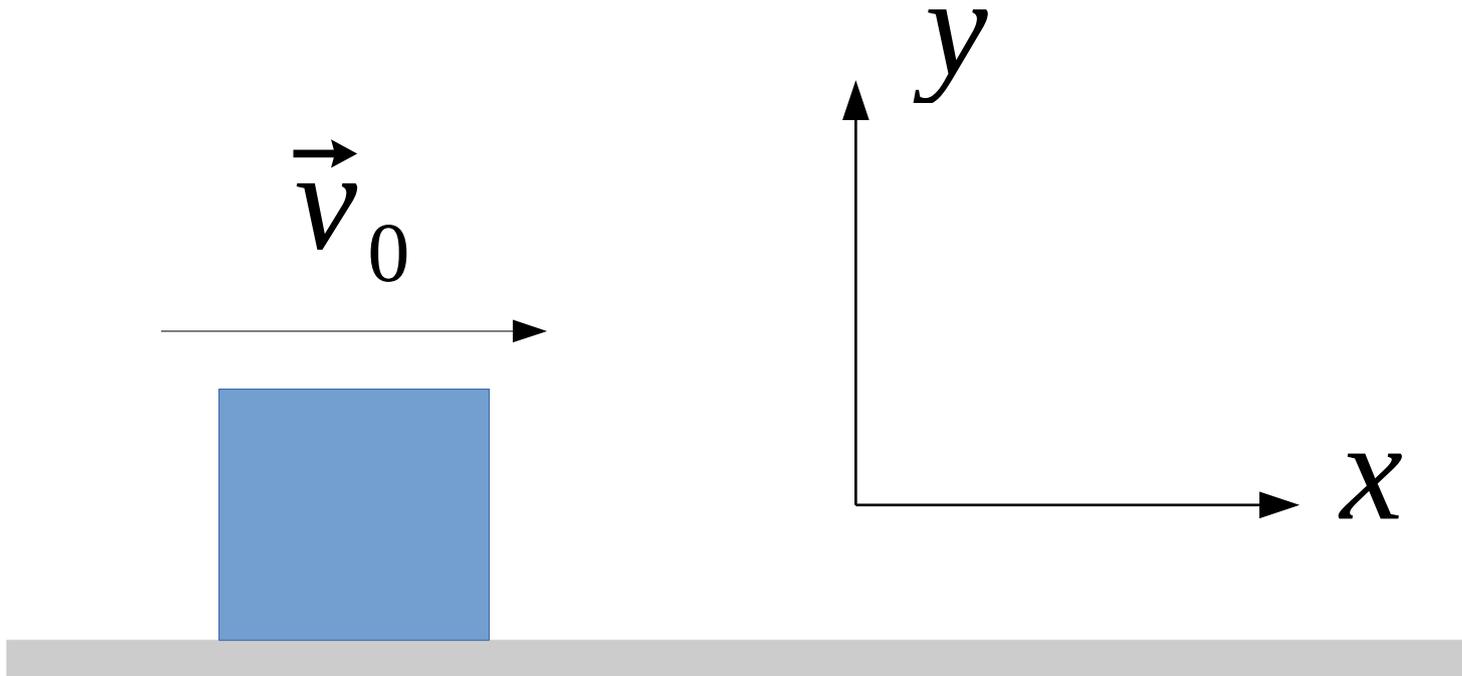


Obs.: nem sempre é assim...

Fórmulas empíricas para a magnitude da força de atrito

- Quais as diferenças entre atrito cinético e estático?
- O modelo de esferas e molas permite entender, qualitativamente:
 - a orientação do atrito estático;
 - a reciprocidade das forças de atrito;
 - o “mecanismo” (inanimado) que permite ao atrito estático “ser tão esperto”.
 - **NÃO** permite descobrir a magnitude do atrito cinético, ou a partir de quando o objeto começa a escorregar.
- Quais as semelhanças entre atrito estático e cinético? O que as fórmulas parecidas significam?

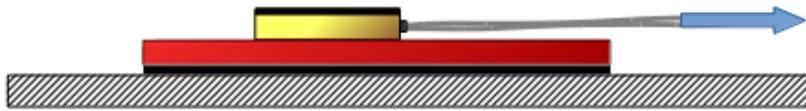
Problemas envolvendo atrito



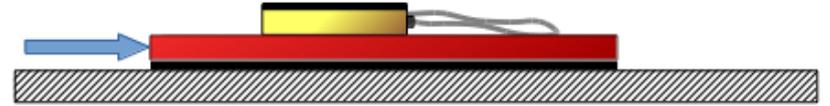
Parte 1 no moodle

Empilhando blocos

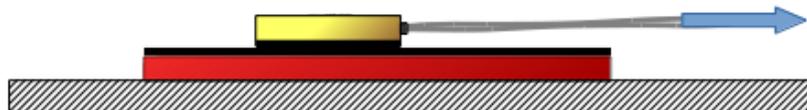
- Observem as demonstrações das situações das figuras abaixo.



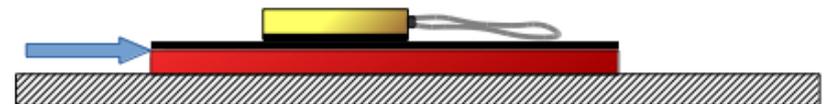
Situação 1: as superfícies emborrachadas estão dispostas para fora. O bloco é puxado para a direita e escorrega sobre a tabuinha, que permanece parada sobre a mesa.



Situação 2: a força é aplicada empurrando a tabuinha. O bloco escorrega sobre ela mas se move, embora com menor velocidade, para a direita.



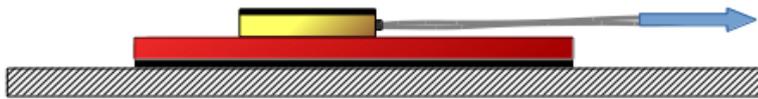
Situação 3: as superfícies emborrachadas dos dois objetos estão em contato entre si. O bloco é puxado para a direita e a tábua o acompanha, solidariamente.



Situação 4: a tábua é empurrada para a direita, e o bloco a acompanha, solidariamente.

Empilhando blocos

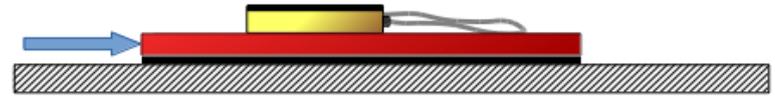
- Para cada caso, desenhem **nas lousas** diagramas de corpo livre para ambos os corpos, indicando direção, sentido e natureza das várias forças que atuam sobre eles, e identificando pares de ação e reação.



Situação 1: as superfícies emborrachadas estão dispostas para fora. O bloco é puxado para a direita e escorrega sobre a tábua, que permanece parada sobre a mesa.



Situação 3: as superfícies emborrachadas dos dois objetos estão em contato entre si. O bloco é puxado para a direita e a tábua o acompanha, solidariamente.



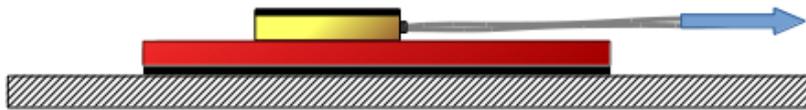
Situação 2: a força é aplicada empurrando a tábua. O bloco escorrega sobre ela mas se move, embora com menor velocidade, para a direita.



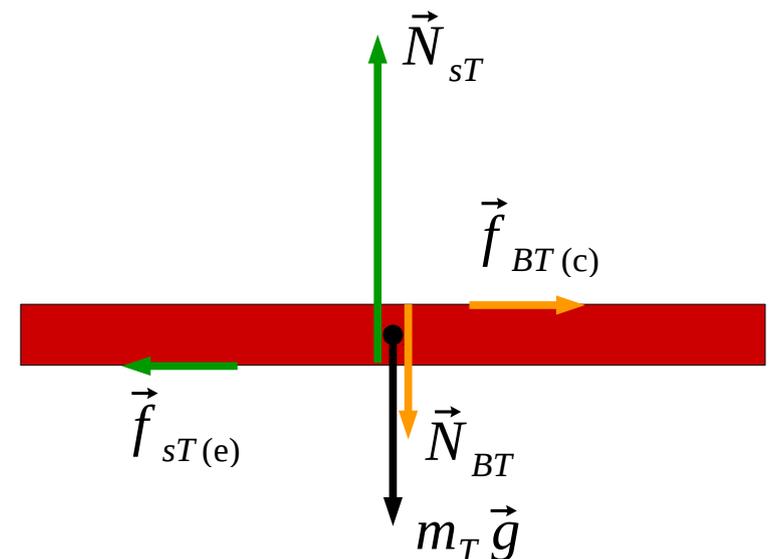
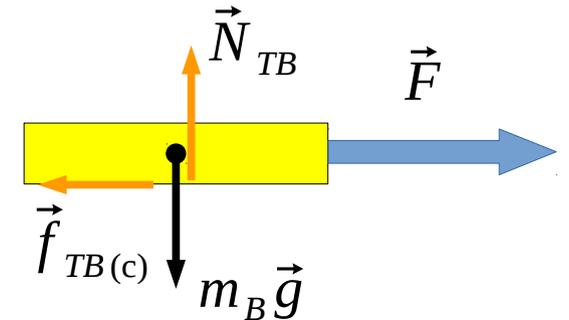
Situação 4: a tábua é empurrada para a direita, e o bloco a acompanha, solidariamente.

Empilhando blocos

- Para cada caso, desenhem **nas lousas** diagramas de corpo livre para ambos os corpos, indicando direção, sentido e natureza das várias forças que atuam sobre eles, e identificando pares de ação e reação.

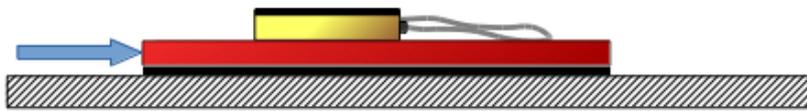


Situação 1: as superfícies emborrachadas estão dispostas para fora. O bloco é puxado para a direita e escorrega sobre a tabuinha, que permanece parada sobre a mesa.

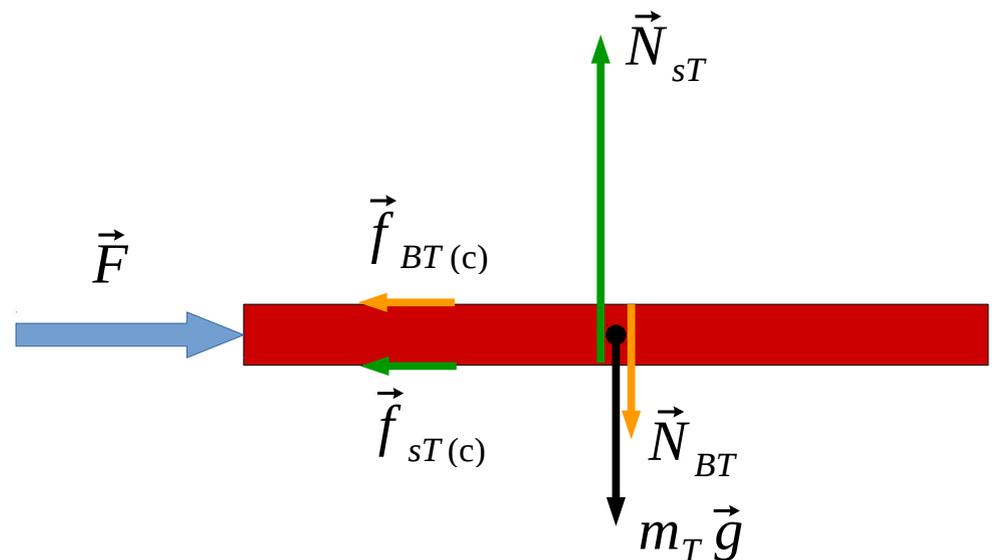
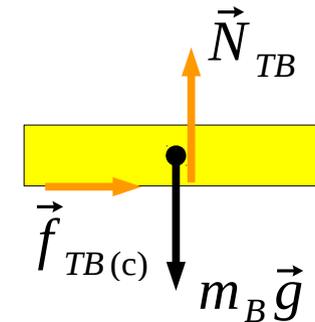


Empilhando blocos

- Para cada caso, desenhem **nas lousas** diagramas de corpo livre para ambos os corpos, indicando direção, sentido e natureza das várias forças que atuam sobre eles, e identificando pares de ação e reação.

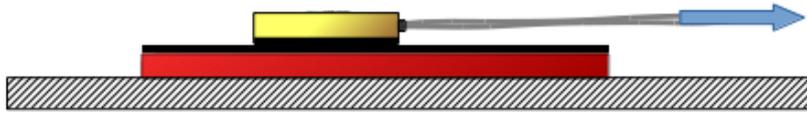


Situação 2: a força é aplicada empurrando a tabuinha. O bloco escorrega sobre ela mas se move, embora com menor velocidade, para a direita.

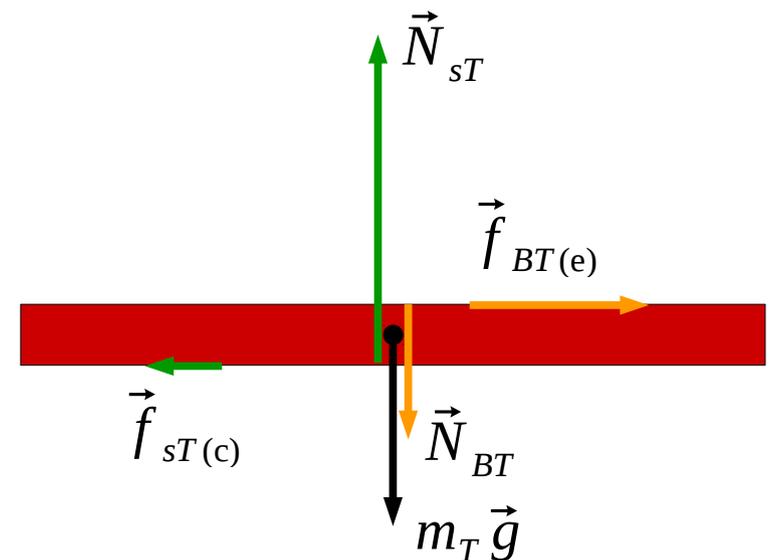
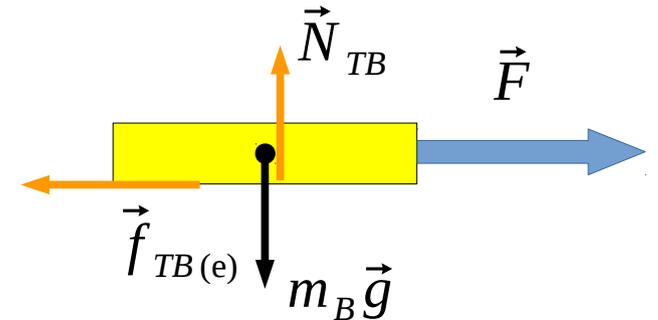


Empilhando blocos

- Para cada caso, desenhem **nas lousas** diagramas de corpo livre para ambos os corpos, indicando direção, sentido e natureza das várias forças que atuam sobre eles, e identificando pares de ação e reação.

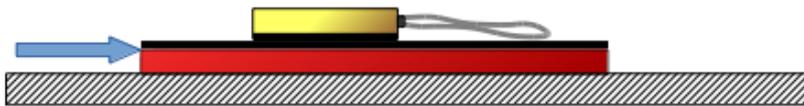


Situação 3: as superfícies emborrachadas dos dois objetos estão em contato entre si. O bloco é puxado para a direita e a tábua o acompanha, solidariamente.

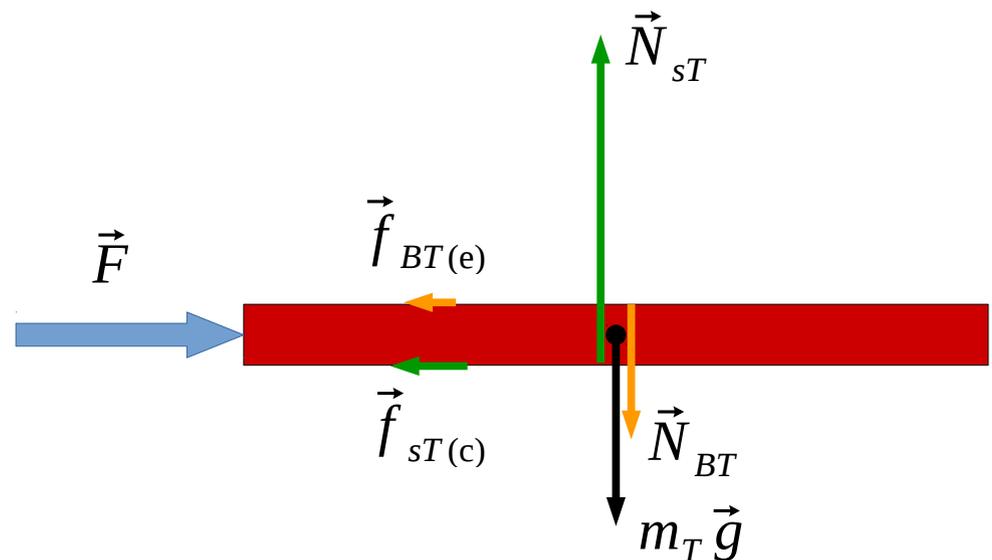
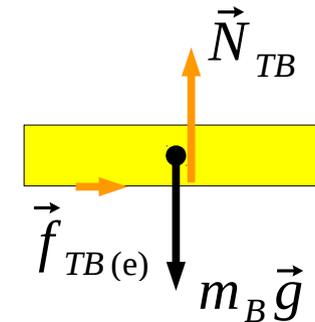


Empilhando blocos

- Para cada caso, desenhem **nas lousas** diagramas de corpo livre para ambos os corpos, indicando direção, sentido e natureza das várias forças que atuam sobre eles, e identificando pares de ação e reação.

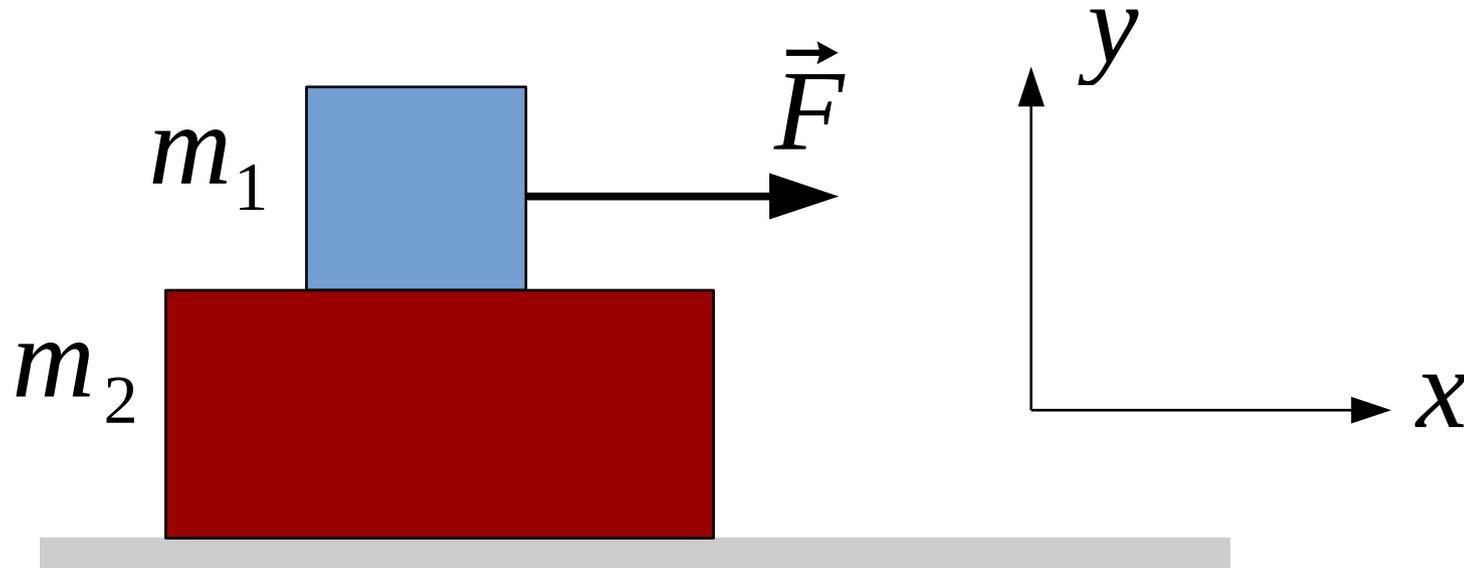


Situação 4: a tábua é empurrada para a direita, e o bloco a acompanha, solidariamente.



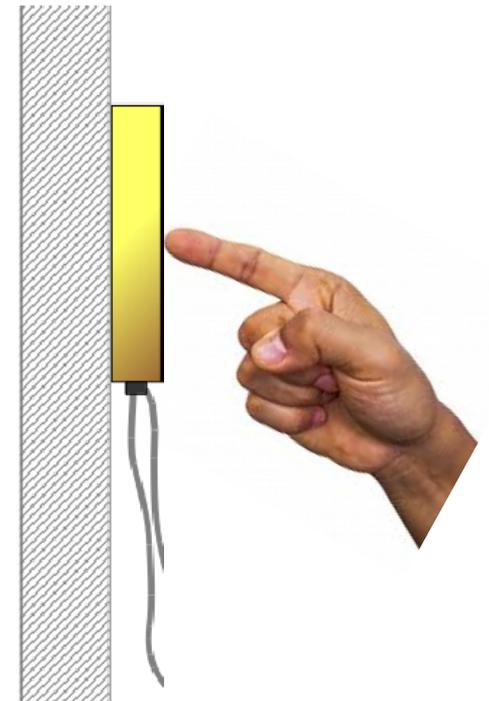
Empilhando blocos: problema

- Considerem um caso semelhante ao da situação 3, com os blocos movendo-se solidariamente, mas **sem atrito com o piso**, e calculem a aceleração dos dois blocos.
- Se a máxima magnitude da força de atrito estático entre os blocos é f_{\max} , qual é o máximo valor de F para que os blocos ainda se movam juntos?

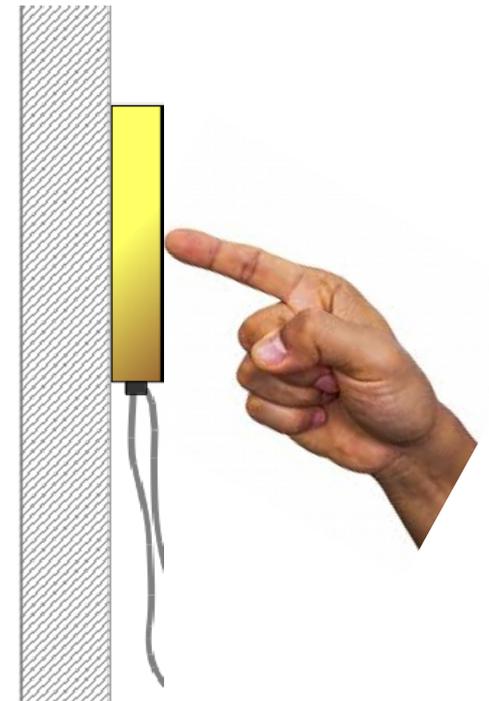
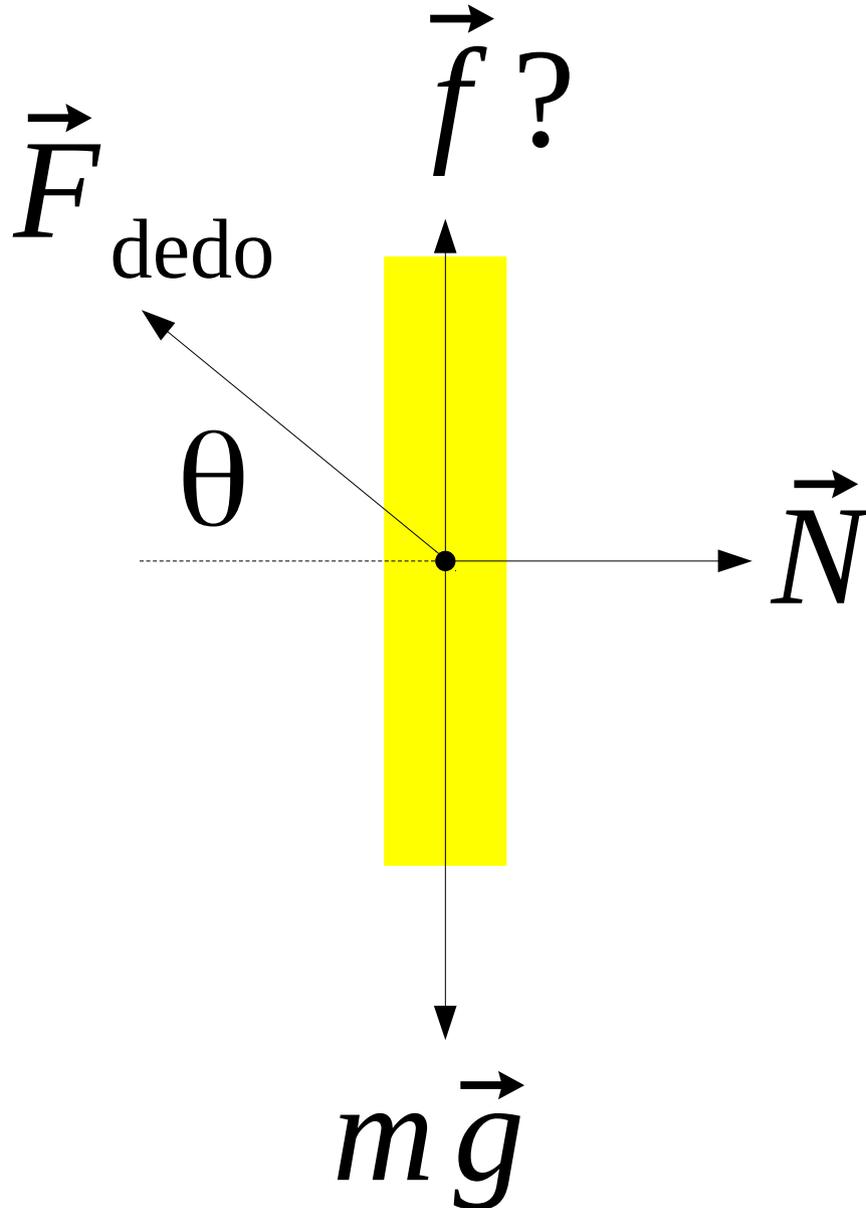


Desafio: fazendo um bloco subir pela parede

- Observem a demonstração.
- Façam na lousa **um único** diagrama de corpo livre “genérico” para o bloco, que possa representar todas as seguintes situações:
 - 1) o bloco permanece parado;
 - 2) o bloco desce escorregando pela parede com velocidade constante;
 - 3) o bloco sobe encostado à parede, com velocidade constante.



Desafio: fazendo um bloco subir pela parede



Parte 3 no moodle.
Continuem em casa!