

# Física do calor

F.S. Navarra

navarra@if.usp.br

[edisciplinas.if.usp.br](http://edisciplinas.if.usp.br)

(buscar: física do calor)

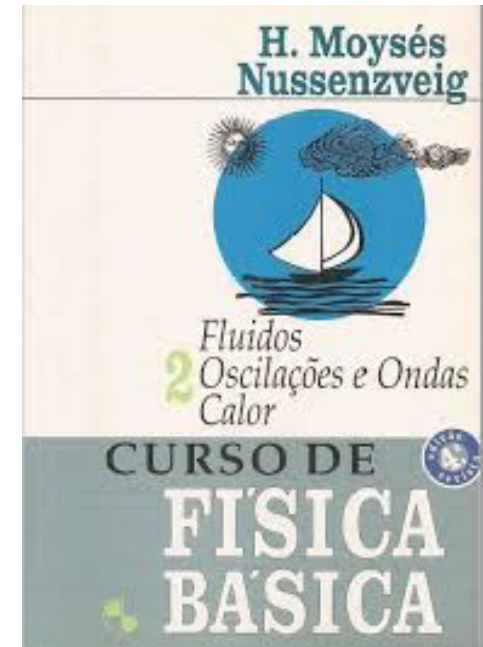
# Bibliografia

Curso de Física Básica - 2

H. Moysés Nussenzveig

Ed. Edgard Blücher

Capítulos 7 - 12



## Avaliação

Três provas : P1 P2 P3

Média :  $P = (P1 + P2 + P3)/3$

# Aula 2

Pressão e dilatação térmica

# Termodinâmica

Dinâmica do calor = movimento do calor e suas causas  
Calor = energia em trânsito = mudança de temperatura

Sadi Carnot



# Termodinâmica

Sistemas com muitas partículas  $\simeq 10^{23}$

Leis da termodinâmica

Variáveis macroscópicas :

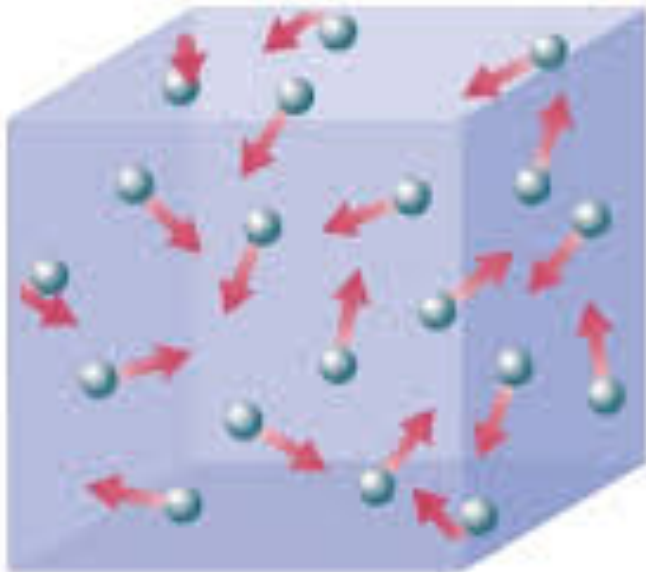
pressão

volume

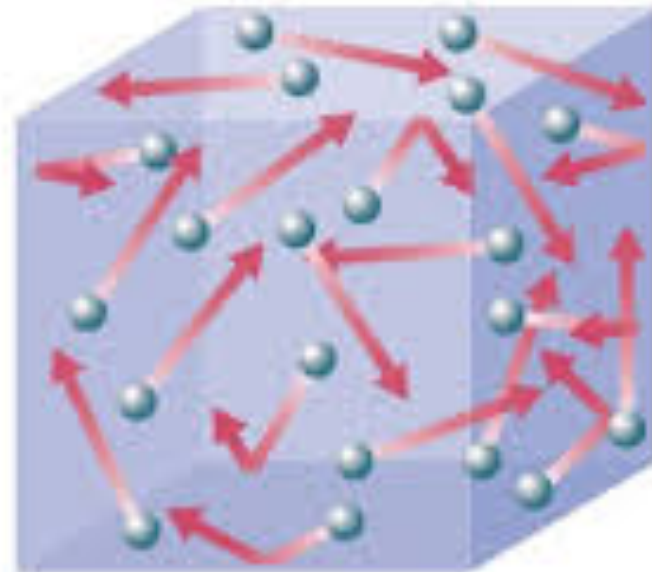
temperatura

# Temperatura

Grandeza física que reflete a **velocidade média** das moléculas que compõem um sistema físico

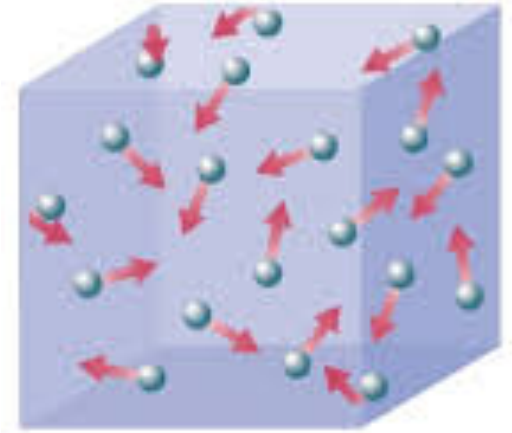


**Menor temperatura**



**Maior temperatura**

# Equilíbrio Térmico



Distribuição de velocidades dada por:

$$f(v) = C e^{-mv^2/2kT}$$

Uma vez atingido o equilíbrio térmico **o sistema nele fica !**

Temperatura e pressão **constantes no tempo !**

# Contato térmico entre dois sistemas

Fora do equilíbrio

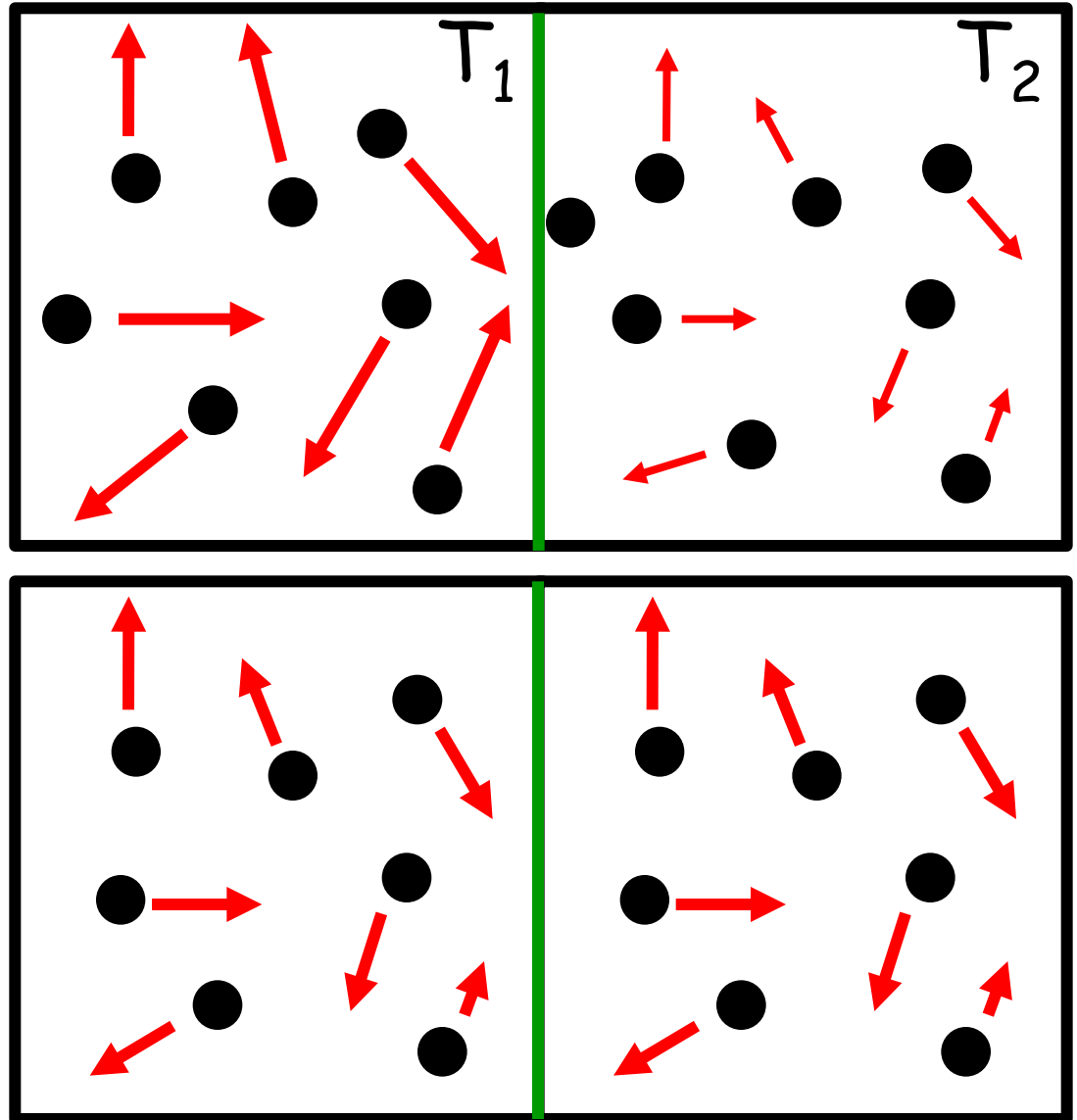
$$T_1 > T_2$$

Parede diatérmica  
(deixa passar calor)

Parede adiabática  
(não passa calor)

No equilíbrio

$$T_1 = T_2$$





# Lei zero da termodinâmica

"Se A está em equilíbrio com C e B está em equilíbrio com C, então A está em equilíbrio com B"

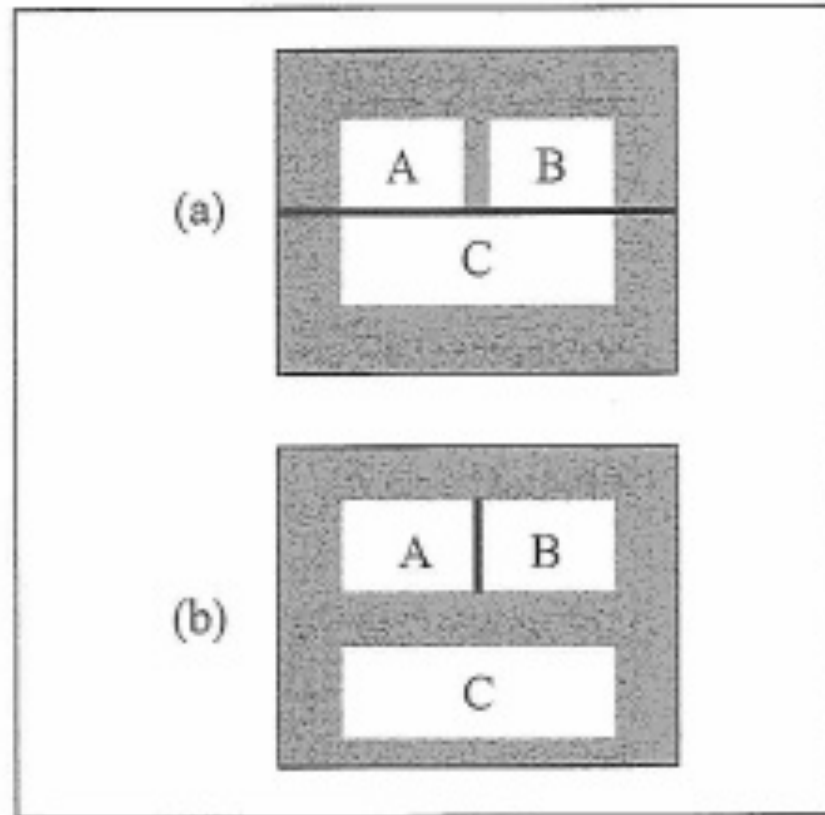
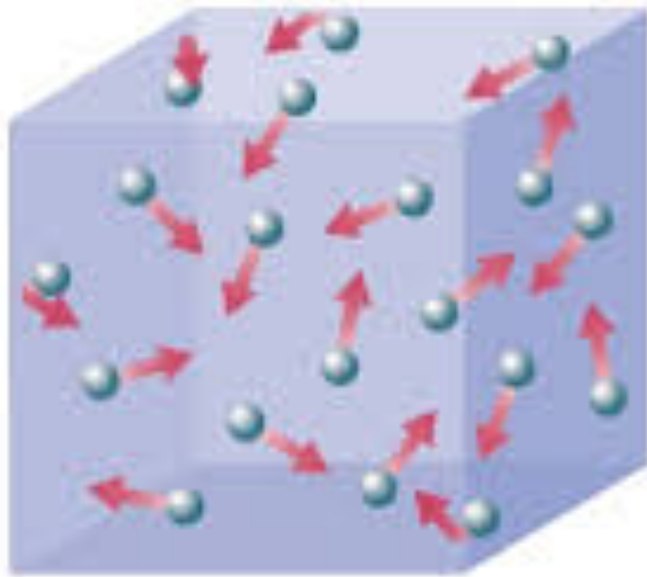


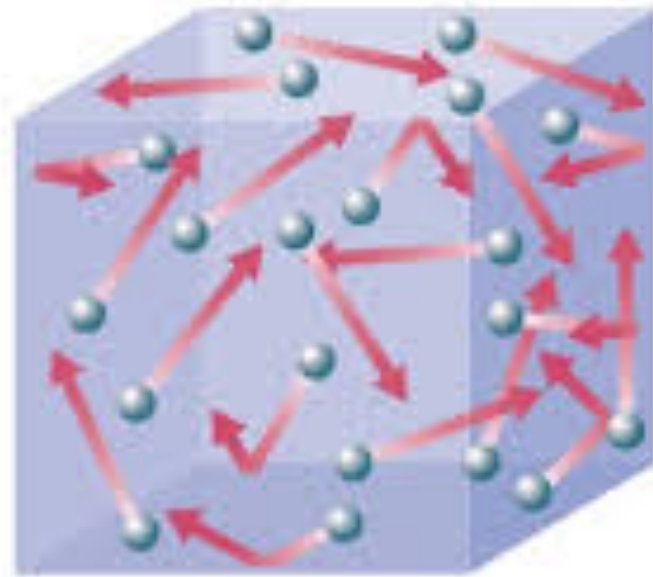
Figura 7.2 — Lei zero da termodinâmica

# Pressão

Pressão = Força / Área (do recipiente)

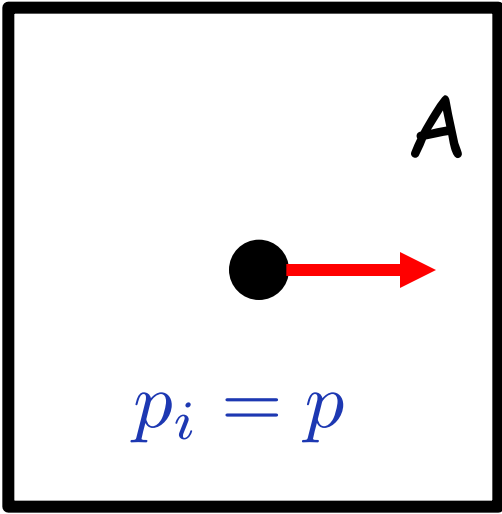


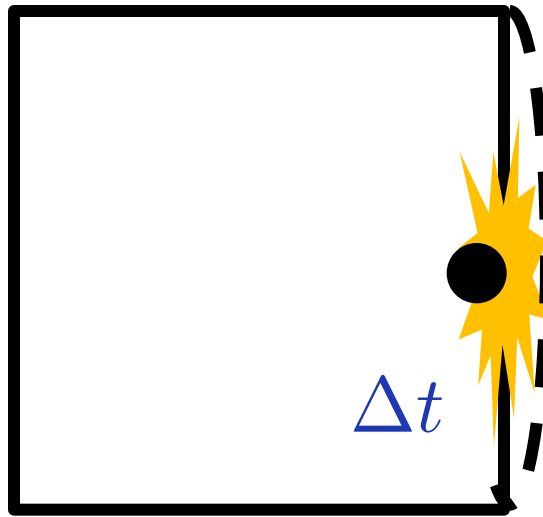
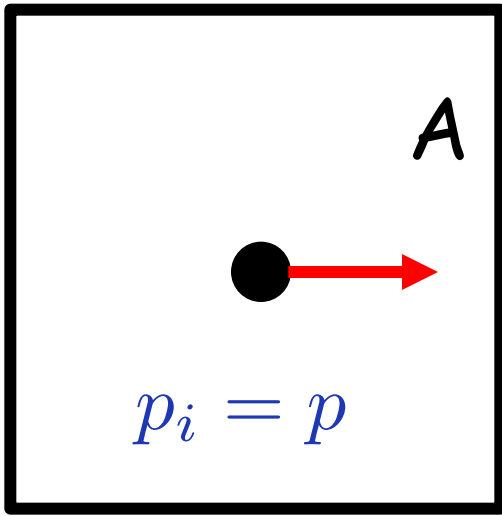
Menos pressão

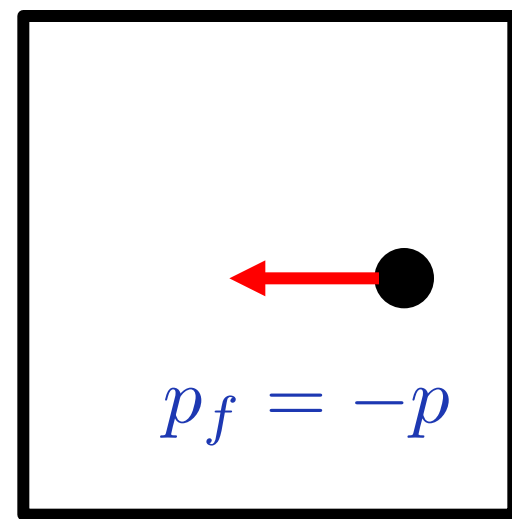
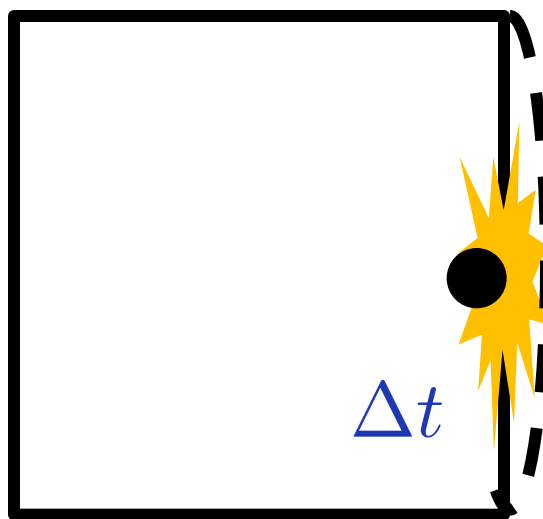
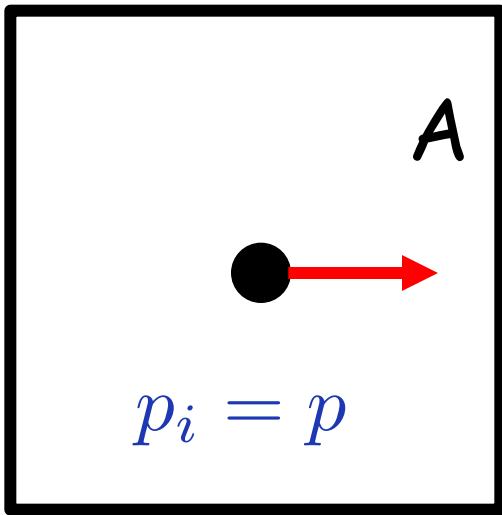


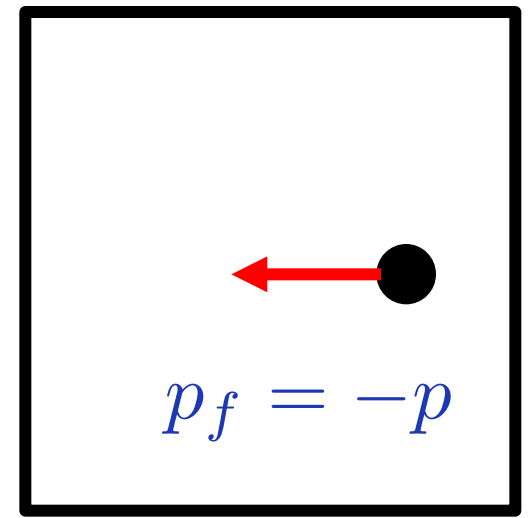
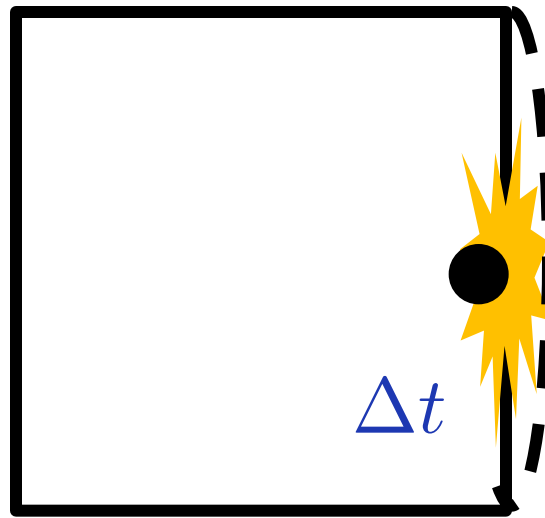
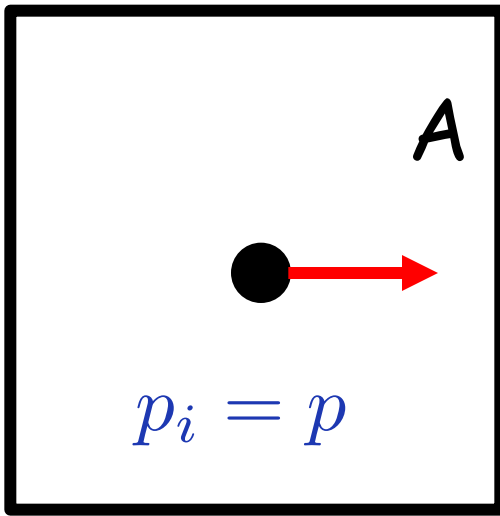
Mais pressão

Pressão existe sem equilíbrio térmico , temperatura não !









$$P = \frac{F}{A} \quad F = \frac{\Delta p}{\Delta t}$$

$$\Delta p = p_f - p_i = -p - p = -2p$$

$$F = -\frac{2p}{\Delta t}$$

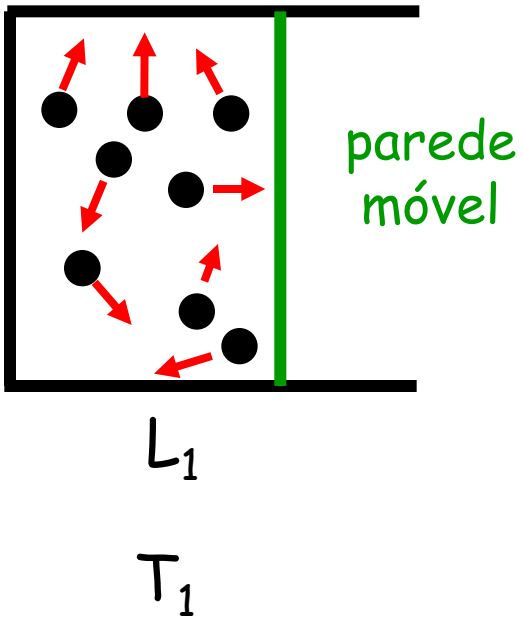


$$P = -\frac{2p}{A \Delta t} = -\frac{2mv}{A \Delta t}$$

maior velocidade (temperatura) maior pressão !

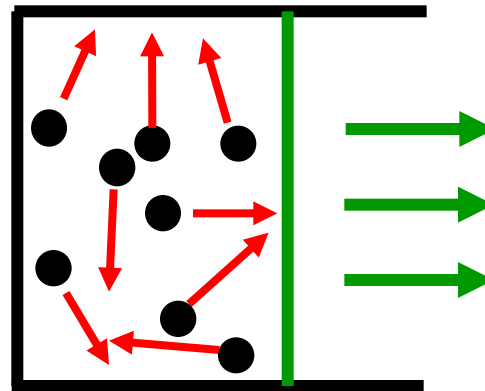
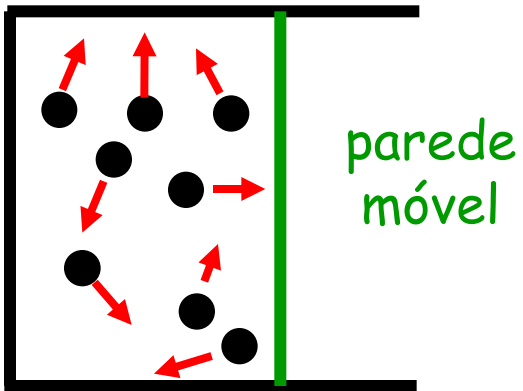
Em geral:

Maior temperatura



Em geral:

Maior temperatura  $\longrightarrow$  Maior pressão





Em geral:

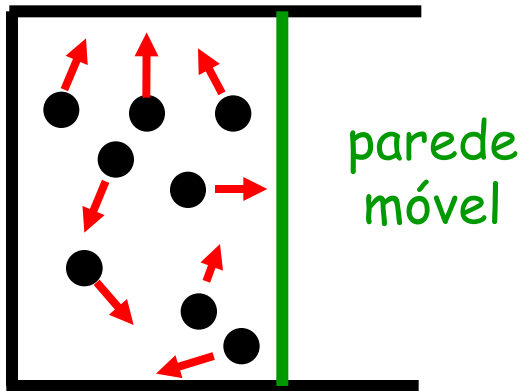
Maior temperatura



Maior pressão

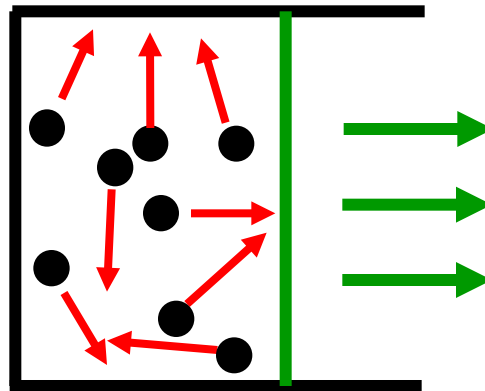


Maior volume

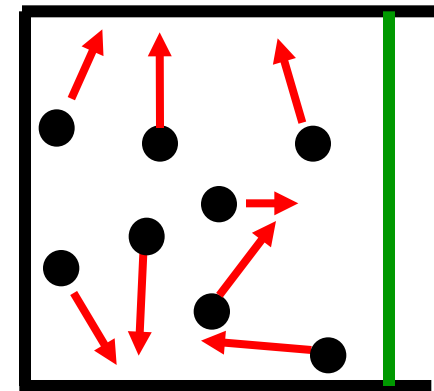


$L_1$

$T_1$



$L_1$



$L_2$

$T_2$

Volume é proporcional à temperatura !

$$T \propto L$$

Medindo  $L$ , medimos  $T$  !



Termômetro !!!

# Termômetro de mercúrio



Como  
calibrar ?

## Escala Celsius

Dois  
pontos fixos

{ Ponto de fusão do gelo :  $T = 0 \text{ } ^\circ\text{C}$   
Ponto de vaporização da água :  $T = 100 \text{ } ^\circ\text{C}$

$$T = 100 \cdot \frac{L - L_0}{L_{100} - L_0} \text{ (} ^\circ\text{C)}$$

## Escala Kelvin

$$T = 100 \cdot \frac{L - L_0}{L_{100} - L_0} + 273 \text{ (K)}$$

$$T_K = T_C + 273$$

# Dilatação Térmica Linear

Variação de temperatura produz variação de tamanho de um corpo

# Dilatação Térmica Linear

Varição de temperatura produz variação de tamanho de um corpo

## Dilatação Linear



$$\Delta L = L_0 \alpha \Delta T$$

$$L = L_0 [1 + \alpha (T - T_0)]$$

$\alpha$  = coeficiente de dilatação linear

Lei empírica...

Errado !



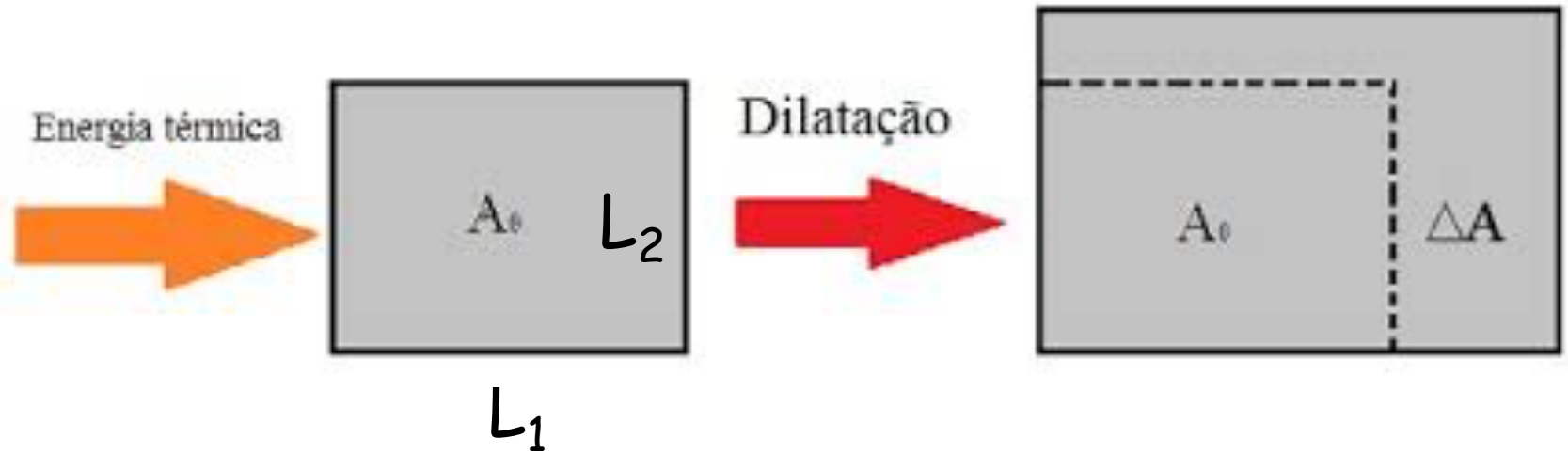
Errado !



Certo !



# Dilatação Térmica Superficial

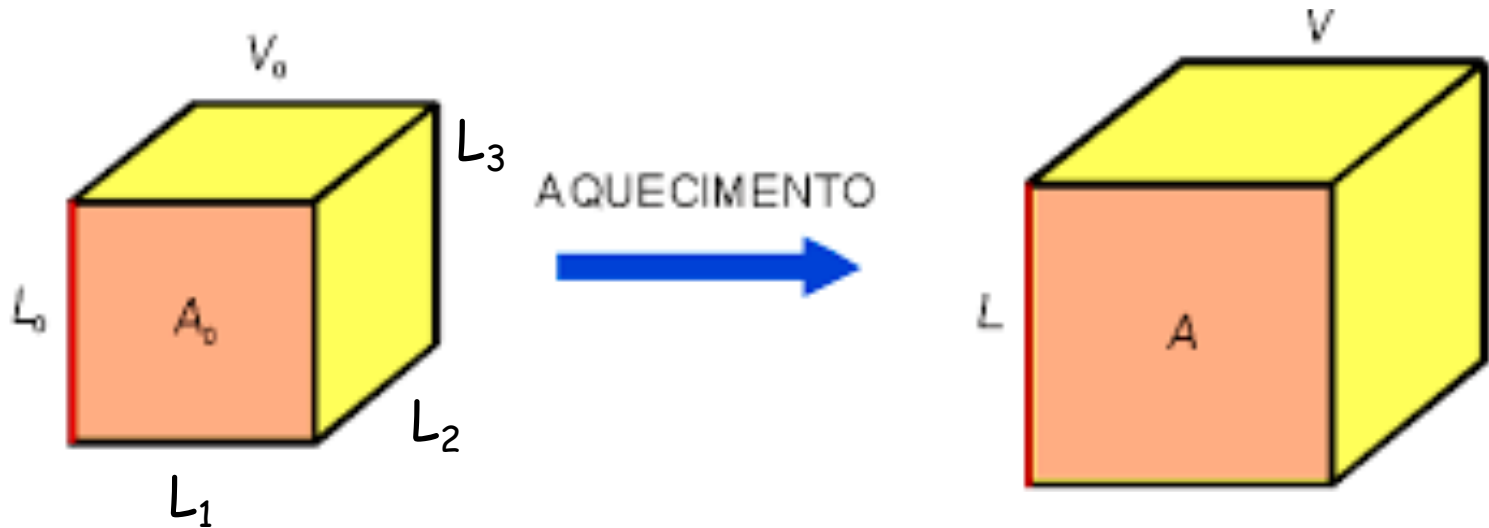


$$\frac{\Delta A}{A} = \frac{\Delta(L_1 L_2)}{L_1 L_2} = \frac{L_1 \Delta L_2 + L_2 \Delta L_1}{L_1 L_2} = \frac{\Delta L_1}{L_1} + \frac{\Delta L_2}{L_2}$$

$$\frac{\Delta A}{A} = \alpha \Delta T + \alpha \Delta T = 2\alpha \Delta T$$



# Dilatação Térmica Volumétrica



$$\frac{\Delta V}{V} = \frac{\Delta(L_1 L_2 L_3)}{L_1 L_2 L_3} = \frac{\Delta L_1}{L_1} + \frac{\Delta L_2}{L_2} + \frac{\Delta L_3}{L_3}$$

$$\frac{\Delta V}{V} = \alpha \Delta T + \alpha \Delta T + \alpha \Delta T = 3\alpha \Delta T$$

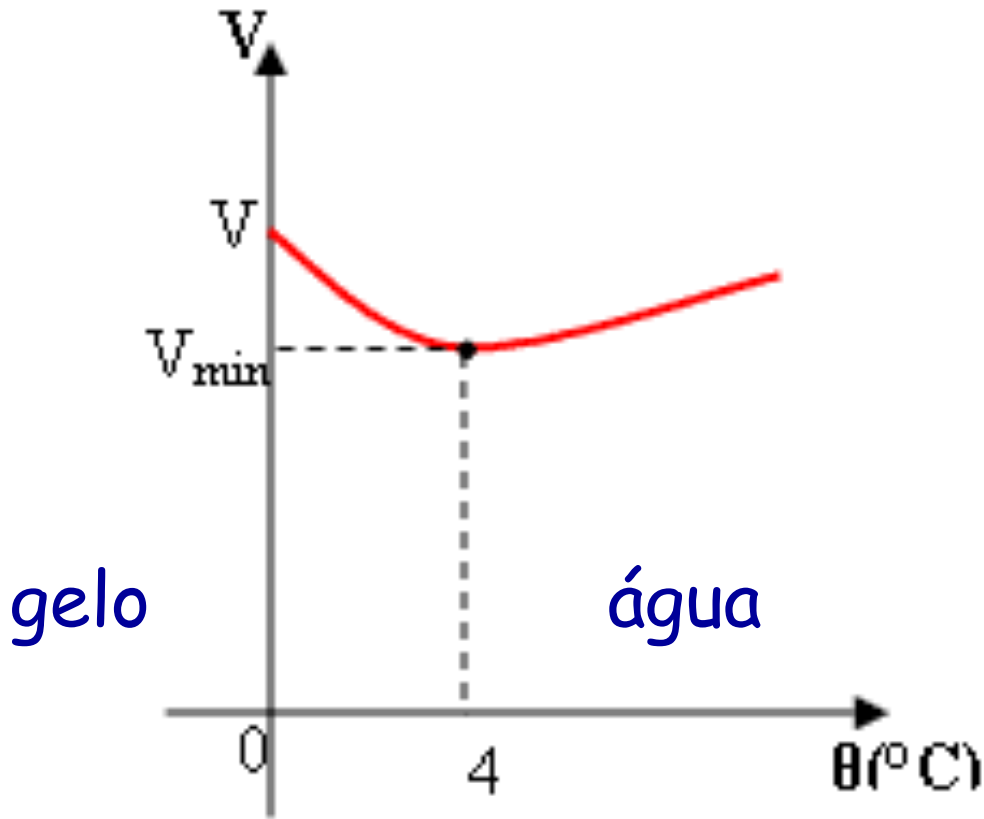
# Dilatação Volumétrica de Líquidos

$$\frac{\Delta V}{V} = \beta \Delta T$$

Em geral, líquidos se dilatam mais do que sólidos !

Em geral, maior temperatura implica maior volume

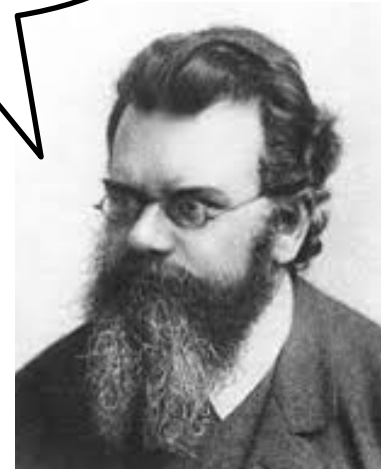
mas... tem a água !



águas profundas...

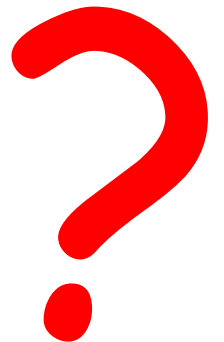
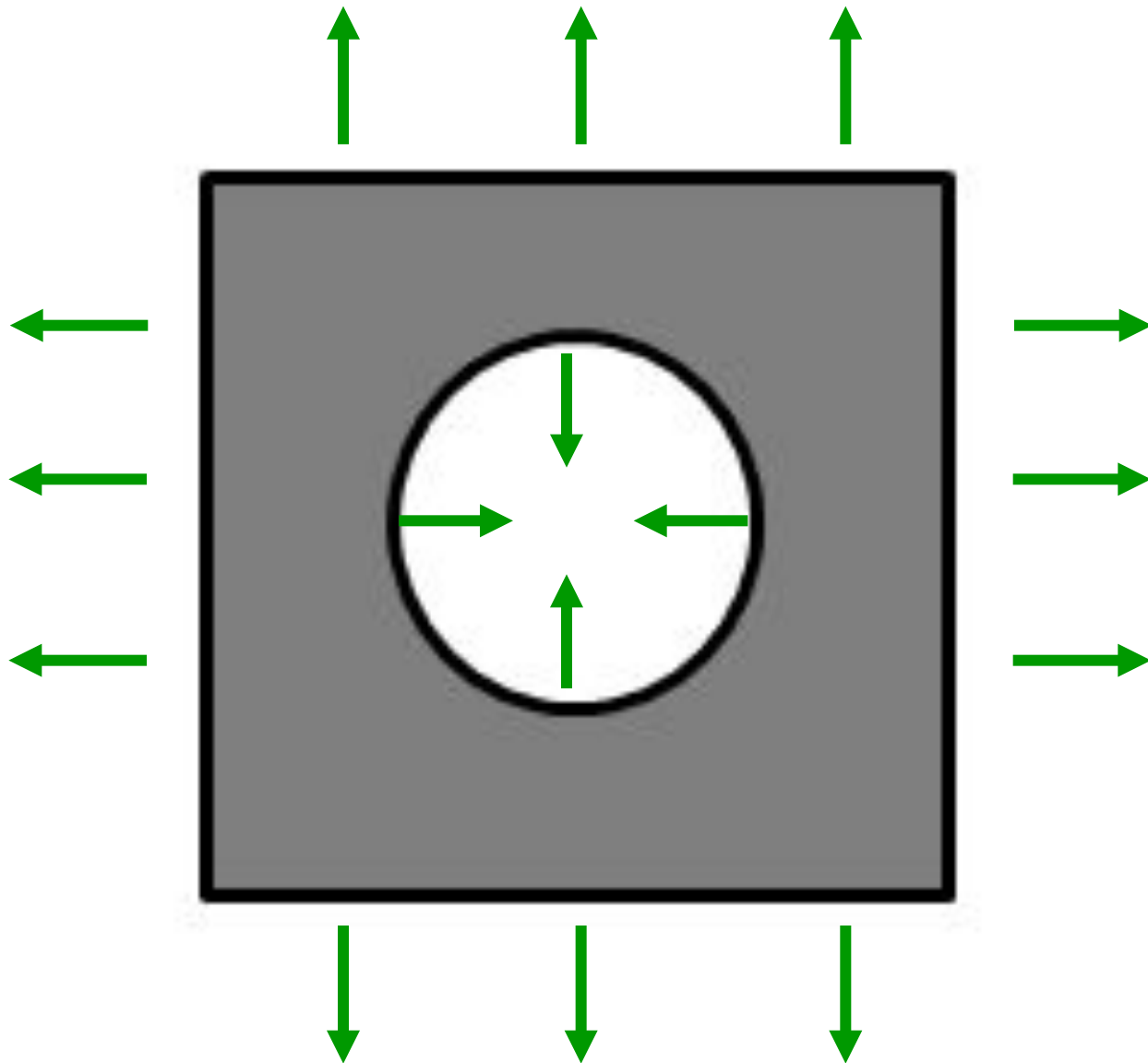
Esquentando o gelo,  
ele vira água  
e **encolhe** ! ???

Porque ?

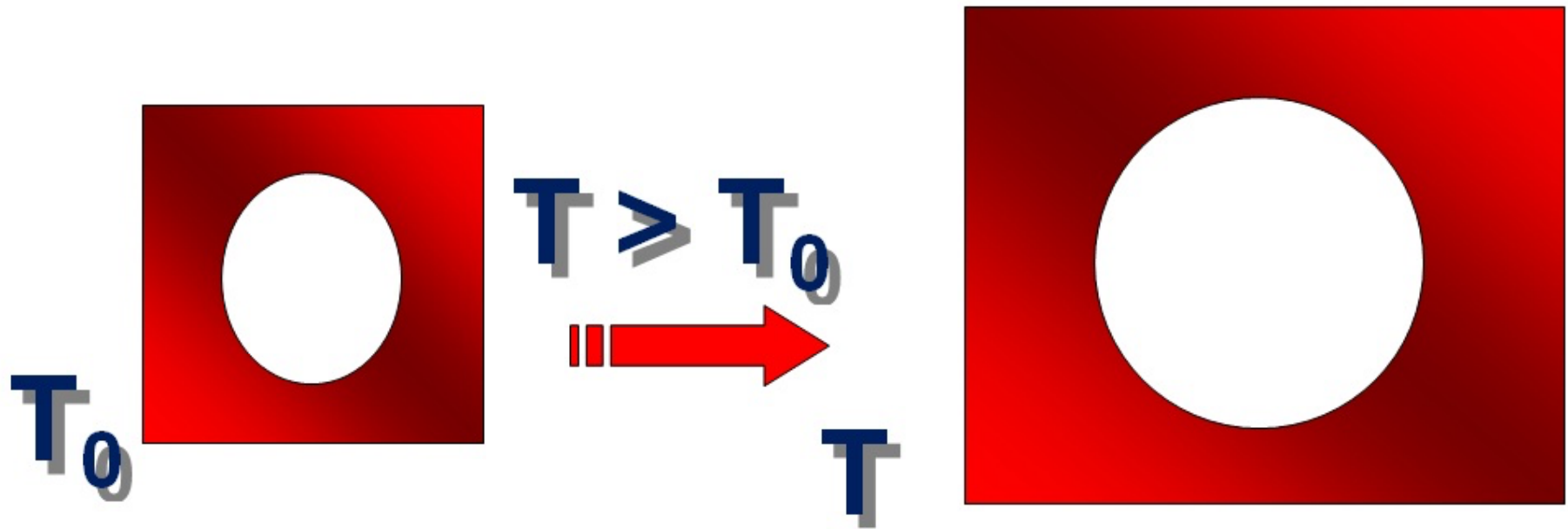


Ludwig  
Boltzmann

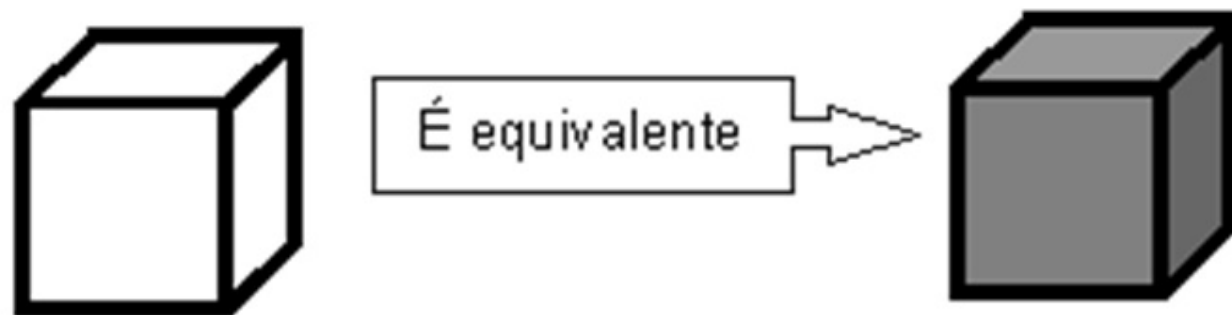
# Dilatação de corpos ocos



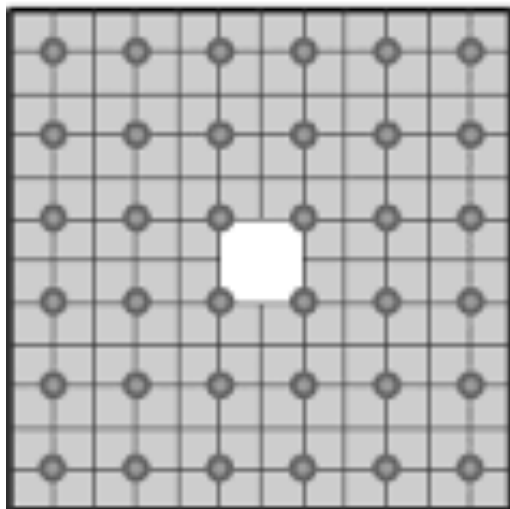
**"Corpos ocos se dilatam como se não fossem ocos."**



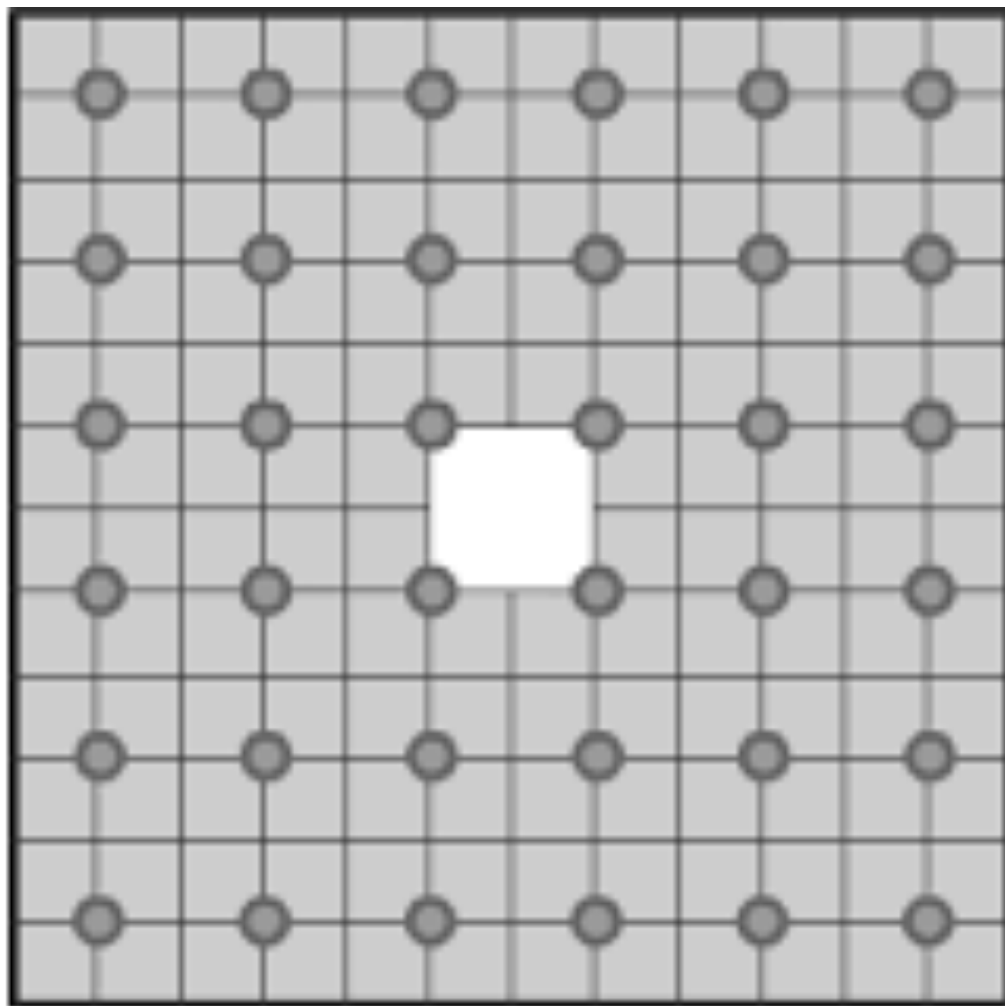
Elevando-se a temperatura de uma chapa com orifício, o orifício se dilata juntamente com a chapa, pois ele se comporta como se fosse constituído do mesmo material da chapa.



frio



quente



Fim