1) ESCOAMENTOS DOMINADOS PELA VISCOSIDADE
2) E COMO SURGEM OS NÚMEROS ADIMENSIONAIS

Paulo Seleghim Jr.
Universidade de São Paulo

Equações governantes.................................... (aula passada)

Continuidade (massa) $\rightarrow$ $$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \vec{\nabla} \cdot (\rho \vec{U}) = 0$$

Q. de movimento (Navier-Stokes) $\rightarrow$ $$\rho \cdot \left(\frac{\partial \vec{U}}{\partial t} + \vec{U} \cdot \vec{\nabla} \vec{U} \right) = -\vec{\nabla} P + \vec{\nabla} \cdot \tilde{T} + \sum \vec{F}_{3D}$$

Energia (1ra lei) $\rightarrow$ $$\rho C_P \left(\frac{\partial T}{\partial t} + \vec{U} \cdot \vec{\nabla} T \right) = \vec{\nabla} \cdot (k \vec{\nabla} T) + \tilde{T} : \tilde{D}$$

INSTANCIADA PARA PEQUENA ESCALA

INSTANCIADA PARA GRANDE ESCALA

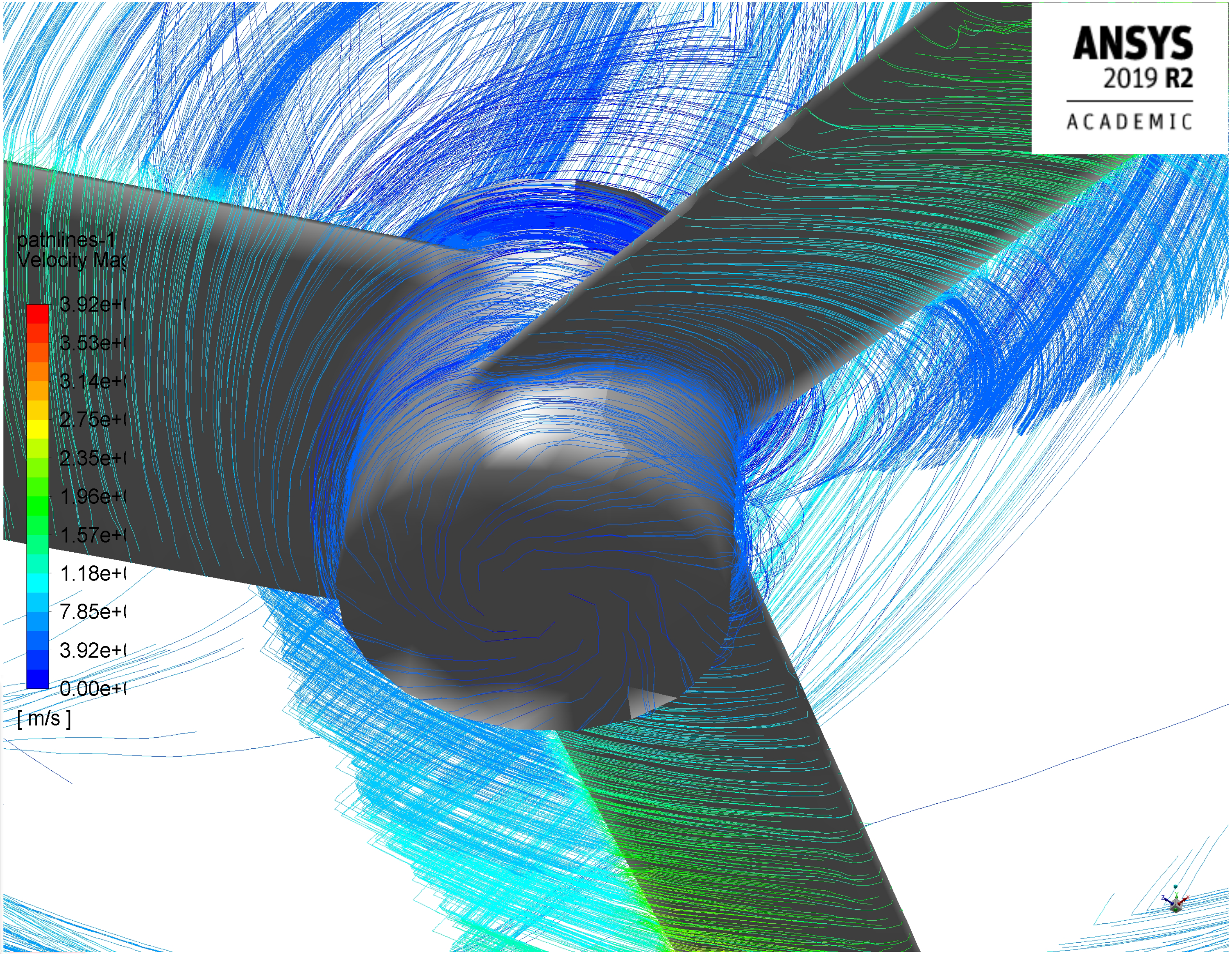
ABORDAGEM TRADICIONAL (HISTÓRICA)...

ABORDAGEM MATEMÁTICO – NUMÉRICA:
CFD COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS

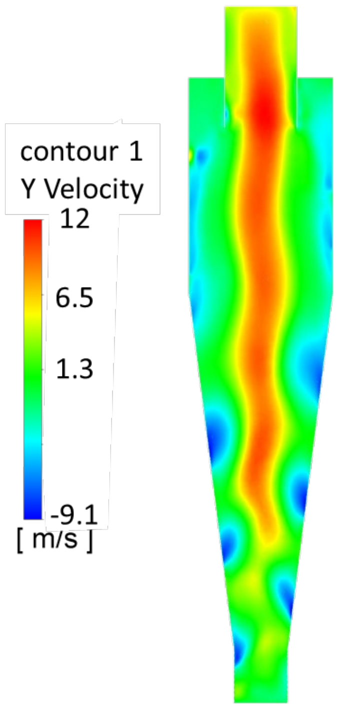
MÉTODOS DE SOLUÇÃO

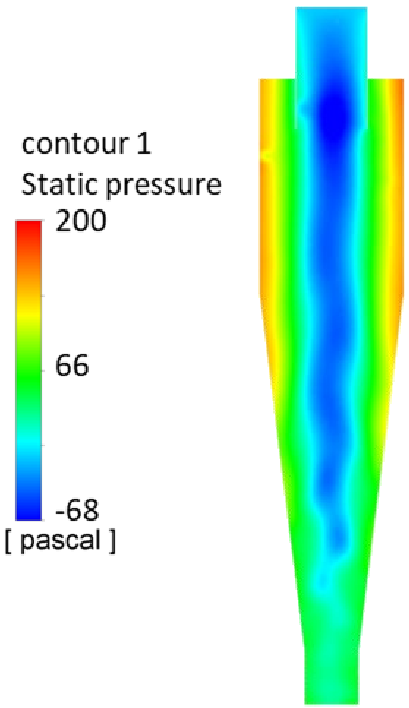
empíricos
analíticos

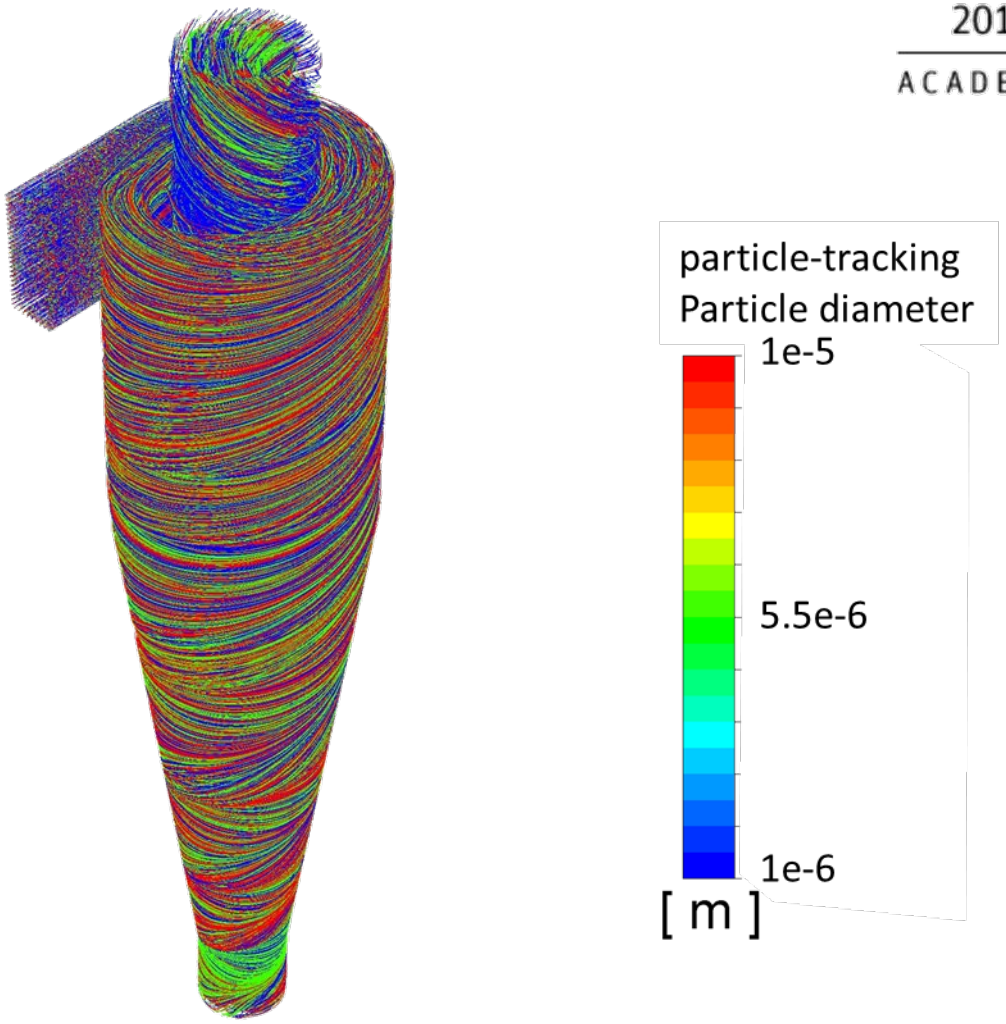
computacionais



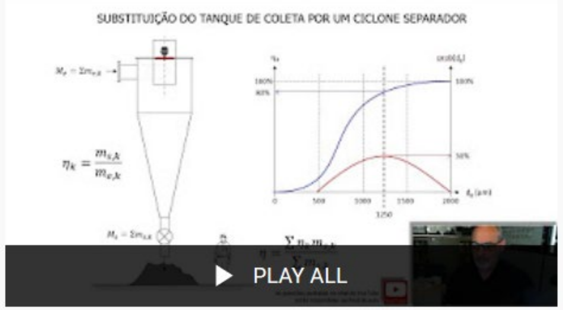
ANSYS
2019 R2
ACADEMIC







As questões postadas no Chat do YouTube serão respondidas ao final da aula.



Tutorial: CFD Ansys/Fluent

4 videos • 44 views • Updated 2 days ago

Public

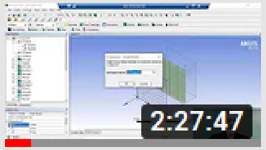
No description

Prof. P. Seleghim

SORT BY

Tutorial: CFD Ansys/Fluent - projeto de um ciclone industrial

Prof. P. Seleghim



Tuturial CFD ANSYS / FLUENT - PROJETO DE UM AQUECEDOR DE AR / trocador de calor

Prof. P. Seleghim

TUTORIAL CFD ANSYS/FLUENT: PROJETO DE UM VENTILADOR INDUSTRIAL (Modelos de Turbulência)

Prof. P. Seleghim

TUTORIAL CFD ANSYS/FLUENT - projeto trocador de calor

Prof. P. Seleghim

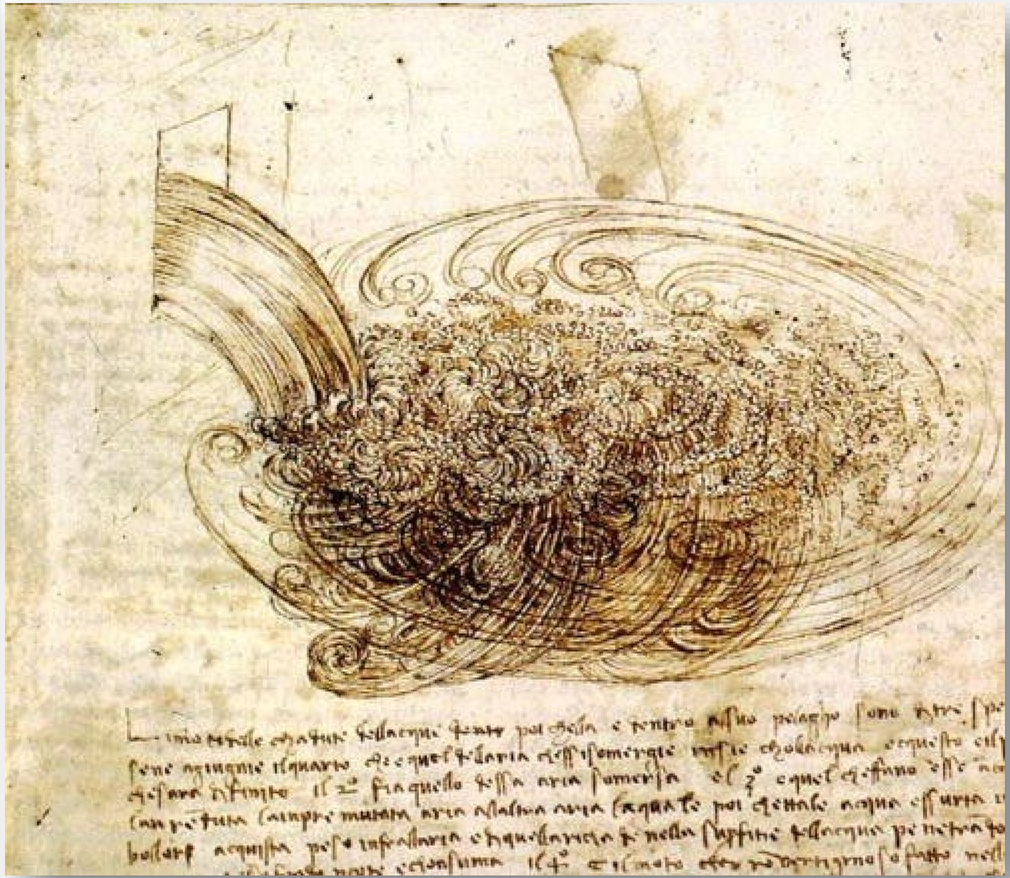
https://www.youtube.com/playlist?list=PLmho8Rcnd60dQIyivIiXz14yYnYt_hb_o

YouTube

As questões postadas no Chat do YouTube serão respondidas ao final da aula.

ABORDAGEM TRADICIONAL (HISTÓRICA):
ESTABILIDADE DOS ESCOAMENTOS / TURBULÊNCIA...

As questões postadas no Chat do YouTube
serão respondidas ao final da aula.



Leonardo di Ser Piero da Vinci

1452 - 1519 (67 anos)

As questões postadas no Chat do YouTube serão respondidas ao final da aula.

SIMULAÇÃO NUMÉRICA DAS EQUAÇÕES DE CFD (“RANS”) – MODELOS DE TURBULÊNCIA

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \vec{\nabla} \cdot (\rho \vec{u}) = 0$$

$$\rho \cdot \left(\frac{\partial \vec{u}}{\partial t} + \vec{u} \cdot \vec{\nabla} \vec{u} \right) = -\vec{\nabla} P + \vec{\nabla} \cdot \tilde{T} + \sum \vec{F}_{3D}$$

$$\rho C_P \left(\frac{\partial T}{\partial t} + \vec{u} \cdot \vec{\nabla} T \right) = \vec{\nabla} \cdot (k \vec{\nabla} T) + \tilde{T} : \tilde{D}$$

$$\rho \cdot \left(\frac{\partial \bar{\vec{u}}}{\partial t} + \bar{\vec{u}} \cdot \vec{\nabla} \bar{\vec{u}} \right) = -\vec{\nabla} \bar{P} + \vec{\nabla} \cdot \tilde{T} + \sum \vec{F}_{3D} + \text{termos turbulentos} = f(k, \varepsilon)$$

$$\rho C_P \left(\frac{\partial \bar{T}}{\partial t} + \bar{\vec{u}} \cdot \vec{\nabla} \bar{T} \right) = \vec{\nabla} \cdot (k \vec{\nabla} \bar{T}) + \tilde{T} : \tilde{D} + \text{termos turbulentos} = g(k, \varepsilon)$$

As questões postadas no Chat do YouTube serão respondidas ao final da aula.

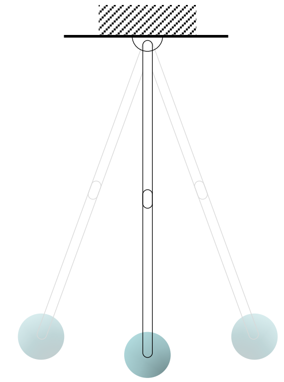
SIMULAÇÃO NUMÉRICA DIRETA DAS EQUAÇÕES DE CFD – SURGIMENTO DA TURBULÊNCIA

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \vec{\nabla} \cdot (\rho \vec{u}) = 0$$

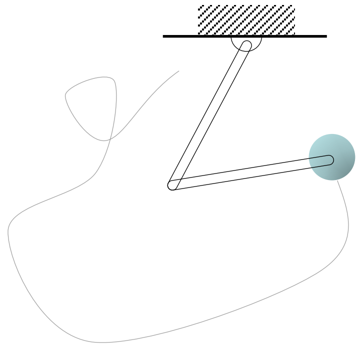
$$\rho \cdot \left(\frac{\partial \vec{u}}{\partial t} + \vec{u} \cdot \vec{\nabla} \vec{u} \right) = -\vec{\nabla} P + \vec{\nabla} \cdot \tilde{T} + \sum \vec{F}_{3D}$$

$$\rho C_P \left(\frac{\partial T}{\partial t} + \vec{u} \cdot \vec{\nabla} T \right) = \vec{\nabla} \cdot (k \vec{\nabla} T) + \tilde{T} : \tilde{D}$$

lam. | transição | turbulento



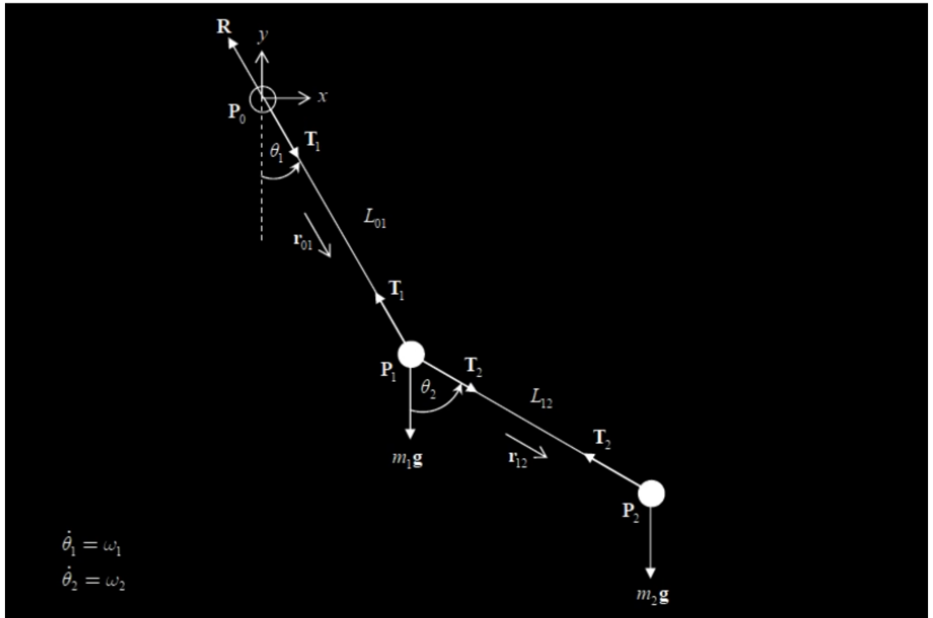
inércia < dissipação



inércia > dissipação

As questões postadas no Chat do YouTube serão respondidas ao final da aula.

SISTEMA DINÂMICO NÃO LINEAR – TRANSIÇÃO PARA O CAOS



$$\dot{\theta}_1 = \omega_1$$

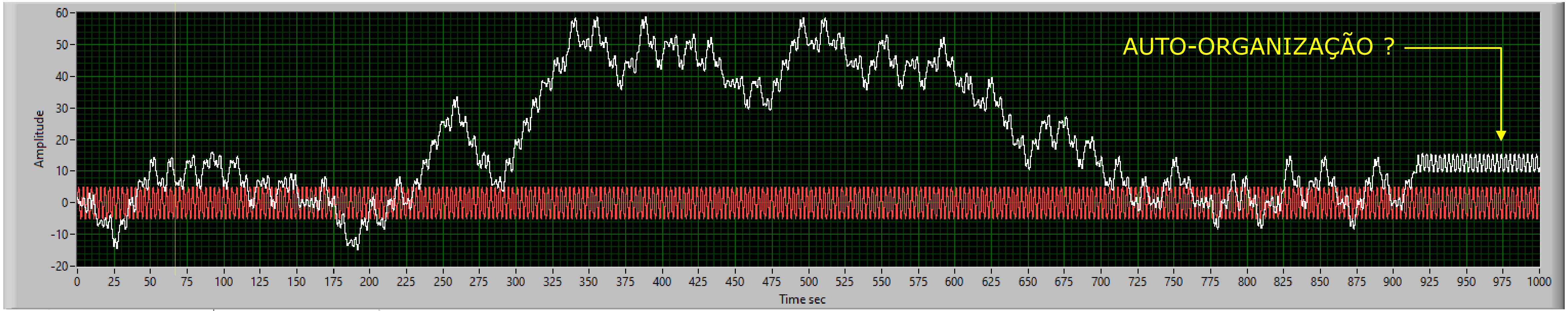
$$\dot{\theta}_2 = \omega_2$$

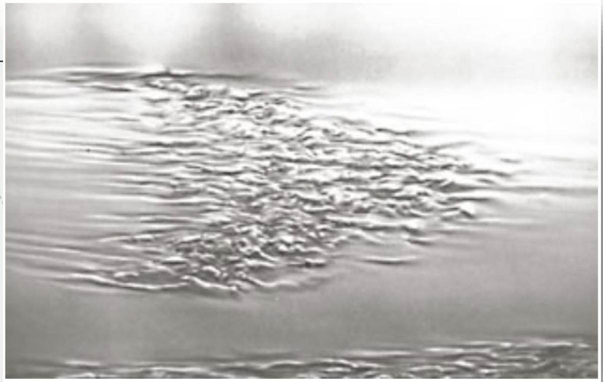
$$\dot{\omega}_1 = \frac{\frac{g}{L_{01}}\left(\sin\theta_2\cos(\theta_1-\theta_2)-\left(1+\frac{m_1}{m_2}\right)\sin\theta_1\right)-\omega_2^2\frac{L_{12}}{L_{01}}\sin(\theta_1-\theta_2)-\omega_1^2\sin(\theta_1-\theta_2)\cos(\theta_1-\theta_2)}{1+\frac{m_1}{m_2}-\cos^2(\theta_1-\theta_2)}$$

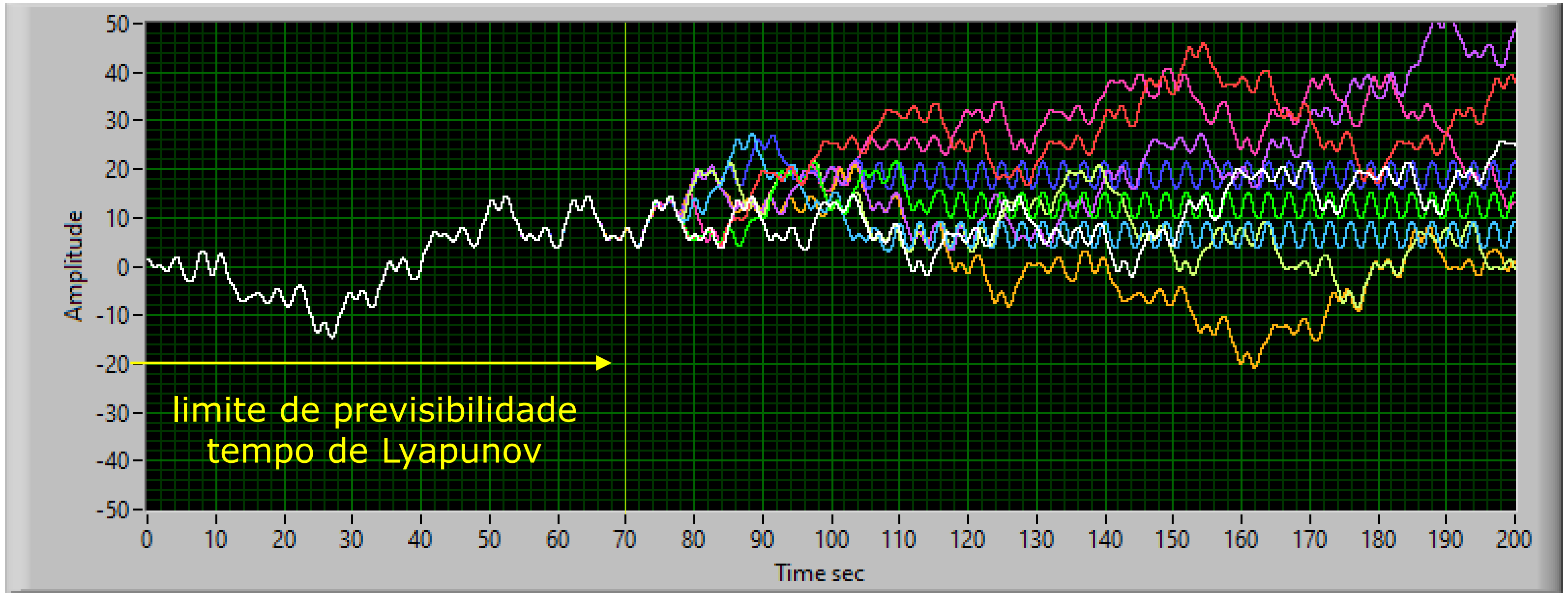
$$\dot{\omega}_2 = -\dot{\omega}_1\frac{L_{01}}{L_{12}}\cos(\theta_1-\theta_2)+\omega_1^2\frac{L_{01}}{L_{12}}\sin(\theta_1-\theta_2)-\frac{g}{L_{12}}\sin\theta_2$$

TRANSIÇÃO →

CAOS →







As questões postadas no Chat do YouTube serão respondidas ao final da aula.

Matemática na Prática

Prof. P. Seleghim

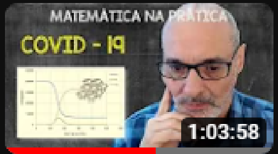
Public

7 videos 810 views Last updated on Mar 24, 2021

Play all

Shuffle

No description



Entendendo a COVID-19 - Modelos Compartimentais para Epidemias Infecciosas / Matemática na Prática

Prof. P. Seleghim • 1.8K views • 2 years ago

É POSSÍVEL PREVER O FUTURO ? Os processos dinâmicos e a teoria do CAOS - MATEMÁTICA NA PRÁTICA

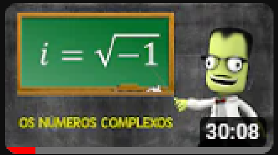
Prof. P. Seleghim • 1.5K views • 2 years ago

Entendendo a Transformada de Fourier: de Aristóteles a Roberto Carlos

Prof. P. Seleghim • 1.7K views • 2 years ago

Aplicando a Transformada de Fourier (FFT): Elvis Presley, Diana Ross e Seu Jorge

Prof. P. Seleghim • 783 views • 2 years ago

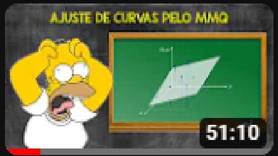


Entendendo os Números Complexos

Prof. P. Seleghim • 708 views • 2 years ago

Equações não lineares - o método de Newton-Raphson

Prof. P. Seleghim • 3.2K views • 2 years ago



O MÉTODO OS MÍNIMOS QUADRADOS - MMQ: ajuste de curvas e sistemas sobredeterminados

Prof. P. Seleghim • 981 views • 2 years ago

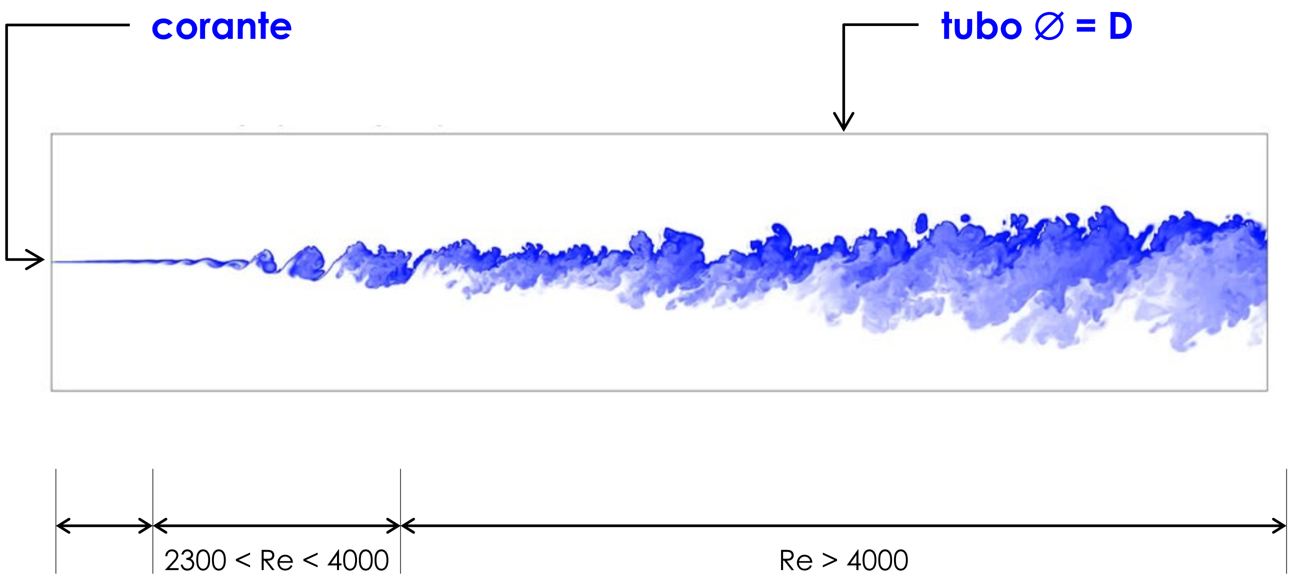
As questões postadas no Chat do YouTube serão respondidas ao final da aula.

ESCOAMENTOS LAMINAR – TRANSIÇÃO – TURBULENTO

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \vec{\nabla} \cdot (\rho \vec{u}) = 0$$

$$\rho \cdot \left(\frac{\partial \vec{u}}{\partial t} + \vec{u} \cdot \vec{\nabla} \vec{u} \right) = -\vec{\nabla} P + \vec{\nabla} \cdot \tilde{T} + \sum \vec{F}_{3D}$$

$$\rho C_P \left(\frac{\partial T}{\partial t} + \vec{u} \cdot \vec{\nabla} T \right) = \vec{\nabla} \cdot (k \vec{\nabla} T) + \tilde{T} : \tilde{D}$$



$$Re_D = \frac{\rho \, U \, D}{\mu} = \frac{efeitos \; dinâmicos}{efeitos \; viscosos}$$

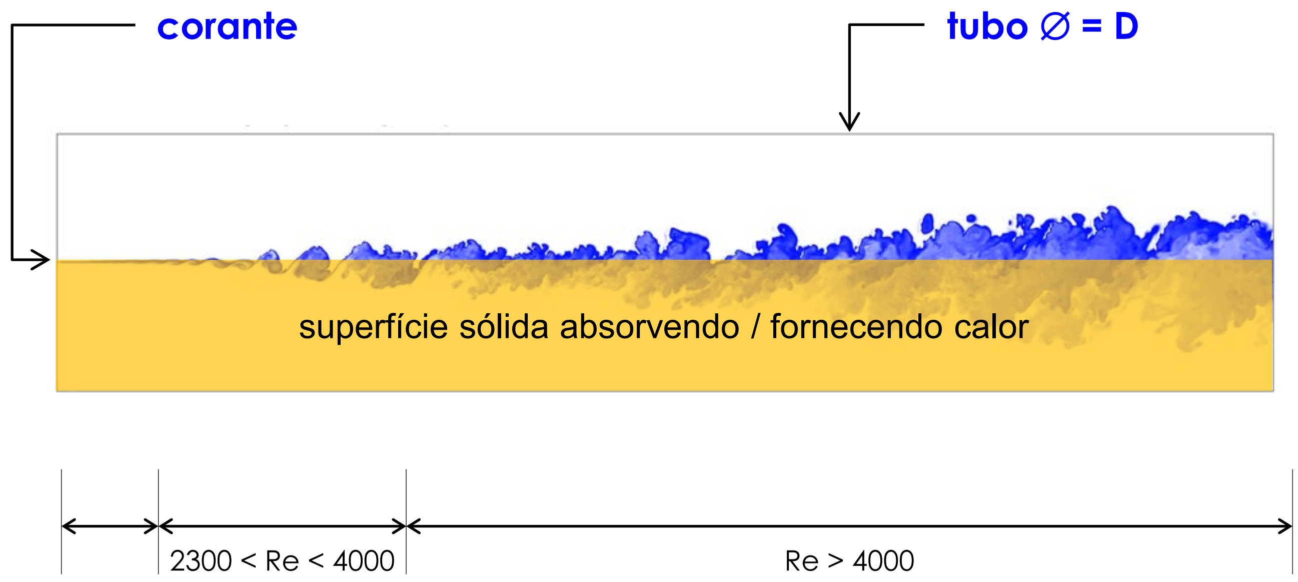
As questões postadas no Chat do YouTube serão respondidas ao final da aula.

ESCOAMENTOS LAMINAR – TRANSIÇÃO – TURBULENTO

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \vec{\nabla} \cdot (\rho \vec{u}) = 0$$

$$\rho \cdot \left(\frac{\partial \vec{u}}{\partial t} + \vec{u} \cdot \vec{\nabla} \vec{u} \right) = -\vec{\nabla} P + \vec{\nabla} \cdot \tilde{T} + \sum \vec{F}_{3D}$$

$$\rho C_P \left(\frac{\partial T}{\partial t} + \vec{u} \cdot \vec{\nabla} T \right) = \vec{\nabla} \cdot (k \vec{\nabla} T) + \tilde{T} : \tilde{D}$$



$$Re_D = \frac{\rho\, U\, D}{\mu} = \frac{efeitos\ dinâmicos}{efeitos\ viscosos}$$

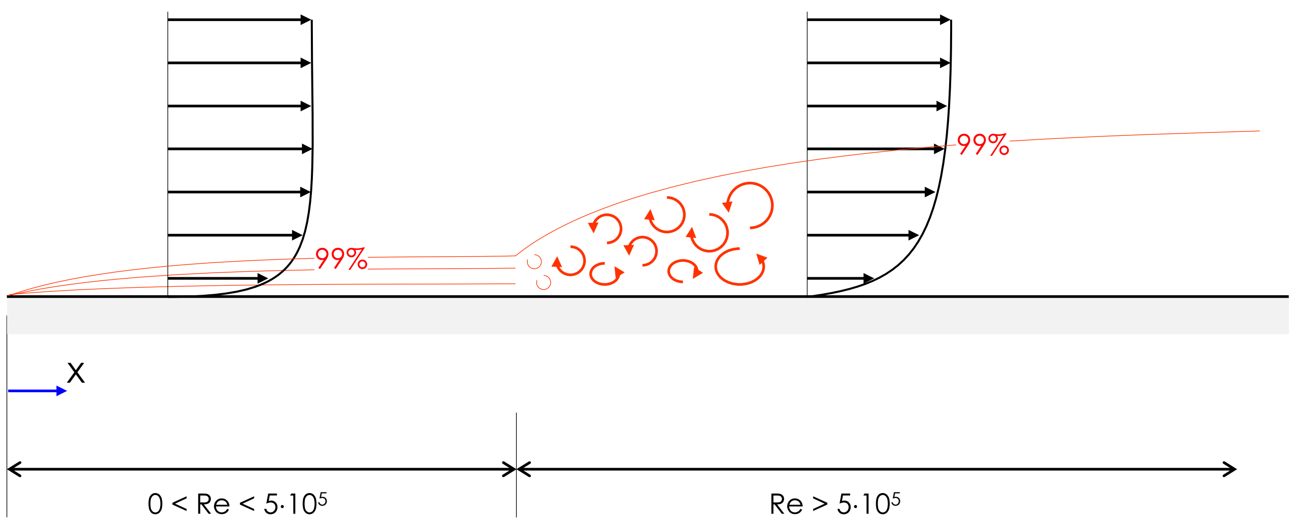
As questões postadas no Chat do YouTube serão respondidas ao final da aula.

ESCOAMENTOS LAMINAR – TRANSIÇÃO – TURBULENTO

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \vec{\nabla} \cdot (\rho \vec{u}) = 0$$

$$\rho \cdot \left(\frac{\partial \vec{u}}{\partial t} + \vec{u} \cdot \vec{\nabla} \vec{u} \right) = -\vec{\nabla} P + \vec{\nabla} \cdot \tilde{T} + \sum \vec{F}_{3D}$$

$$\rho C_P \left(\frac{\partial T}{\partial t} + \vec{u} \cdot \vec{\nabla} T \right) = \vec{\nabla} \cdot (k \vec{\nabla} T) + \tilde{T} : \tilde{D}$$

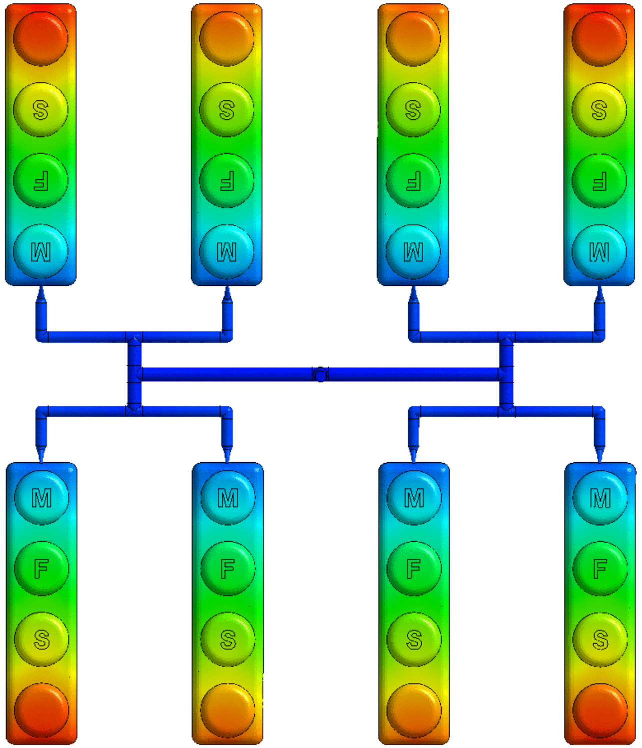


$$Re_x = \frac{\rho \, U \, x}{\mu} = \frac{efeitos\ dinâmicos}{efeitos\ viscosos}$$

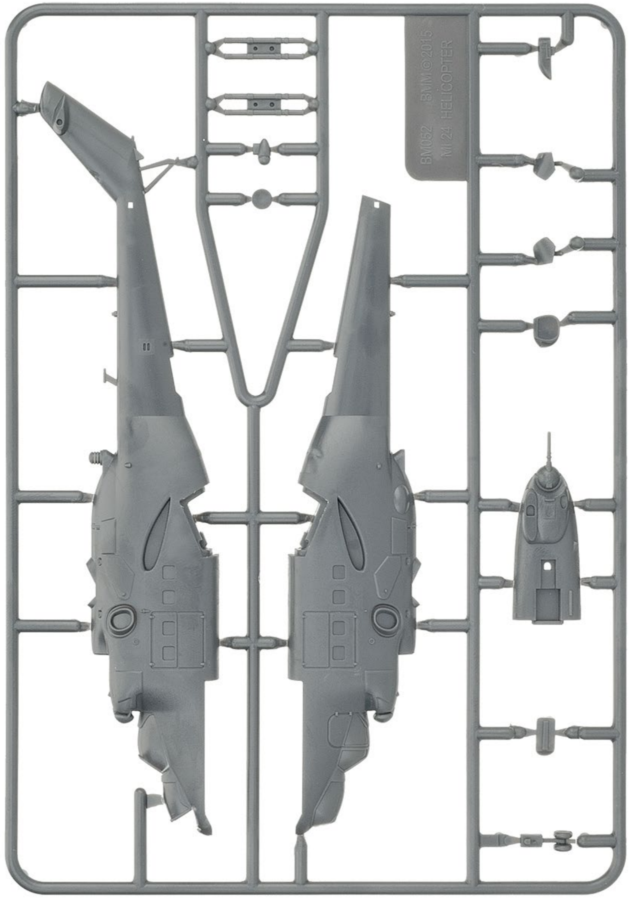
As questões postadas no Chat do YouTube serão respondidas ao final da aula.

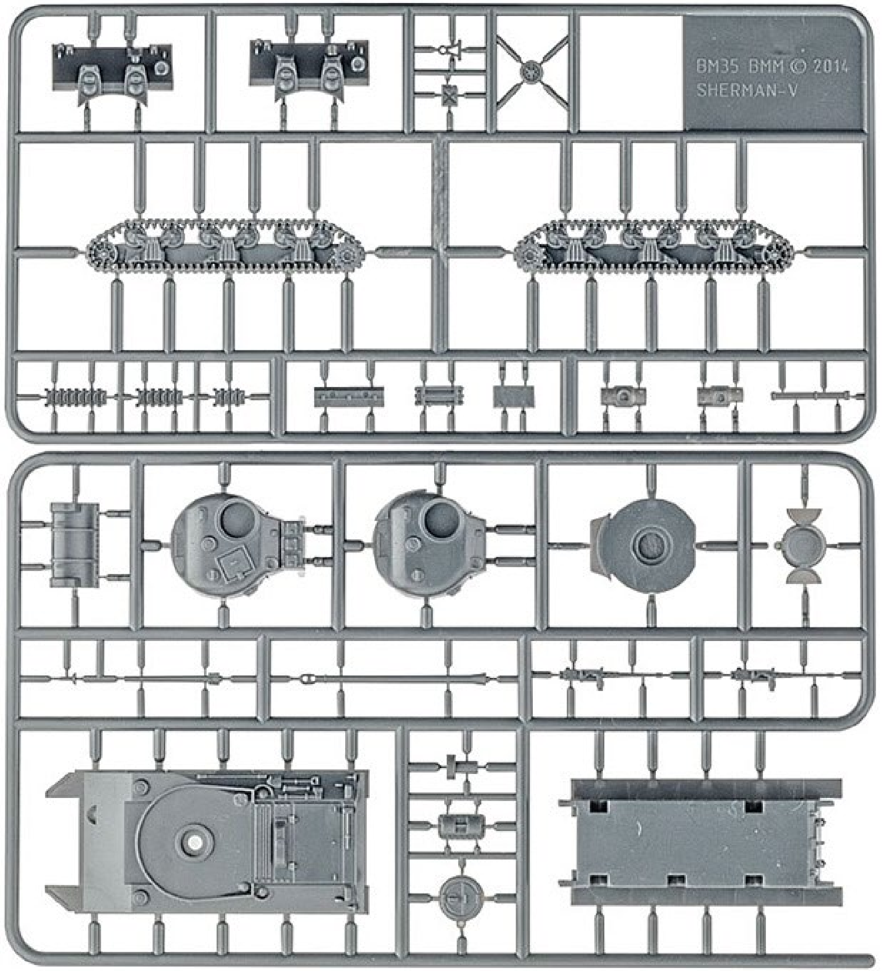
ABORDAGEM TRADICIONAL (HISTÓRICA):

VISCOSIDADE >> EFEITOS DINÂMICOS – COUETTE E POISEUILLE

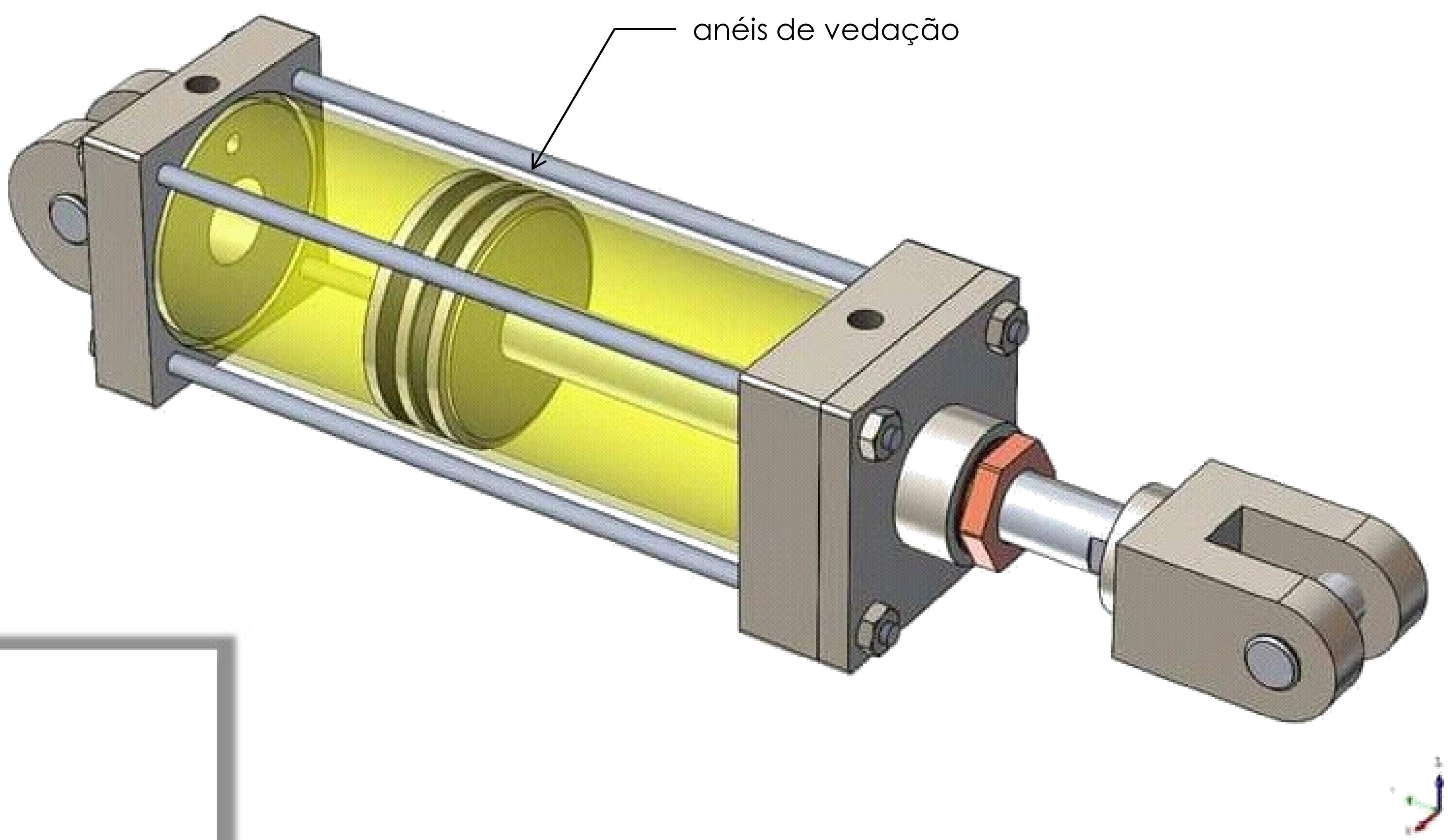


https://ingenieria-plastica.com

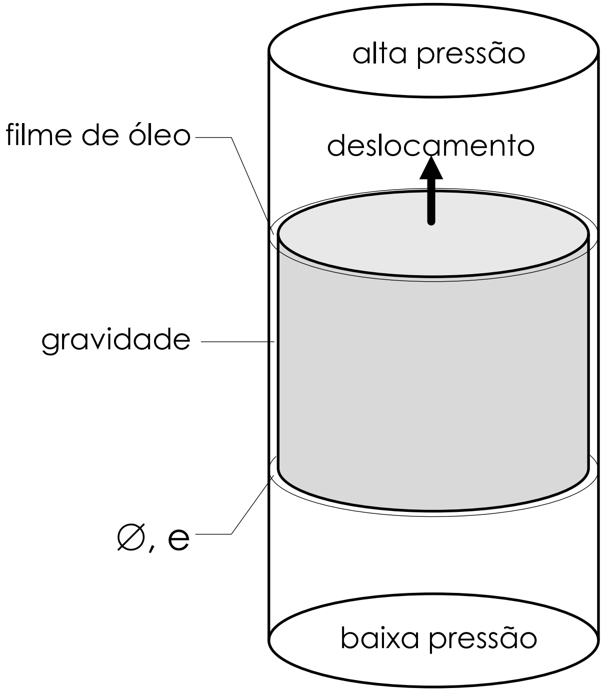




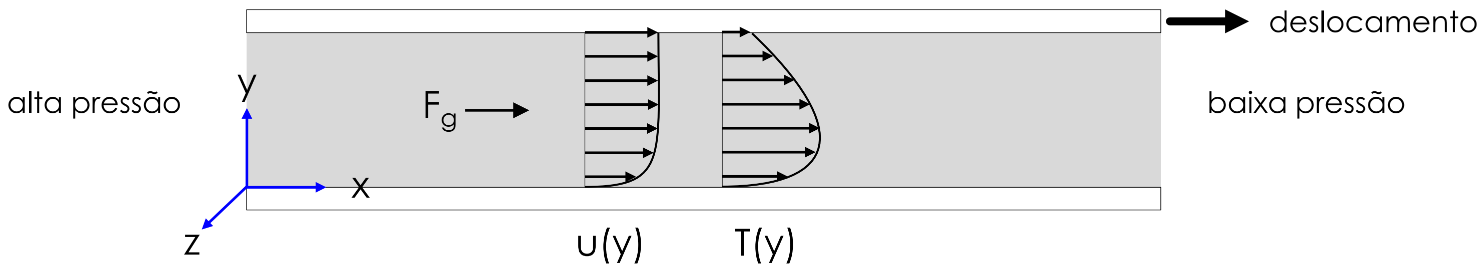
As questões postadas no Chat do YouTube serão respondidas ao final da aula.


anéis de vedação

ESCOAMENTOS DOMINADOS PELOS EFEITOS VISCOSOS (Re ↓↓↓)

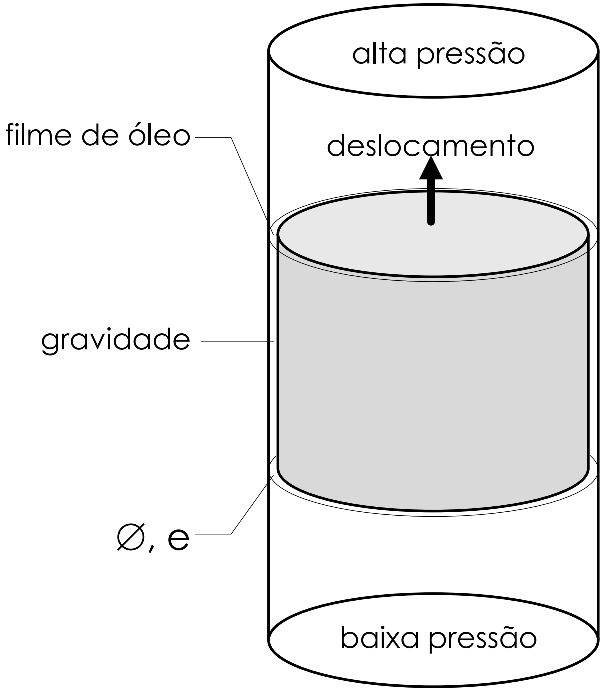


∅ >>> e → escoamento entre placas planas

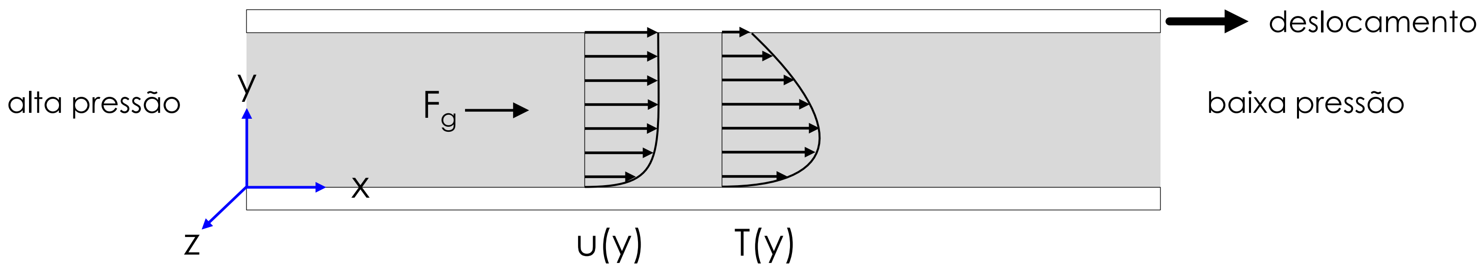


Os próximos slides são antididáticos !!!

ESCOAMENTOS DOMINADOS PELOS EFEITOS VISCOSOS (Re ↓↓↓)



∅ >>> e → escoamento entre placas planas



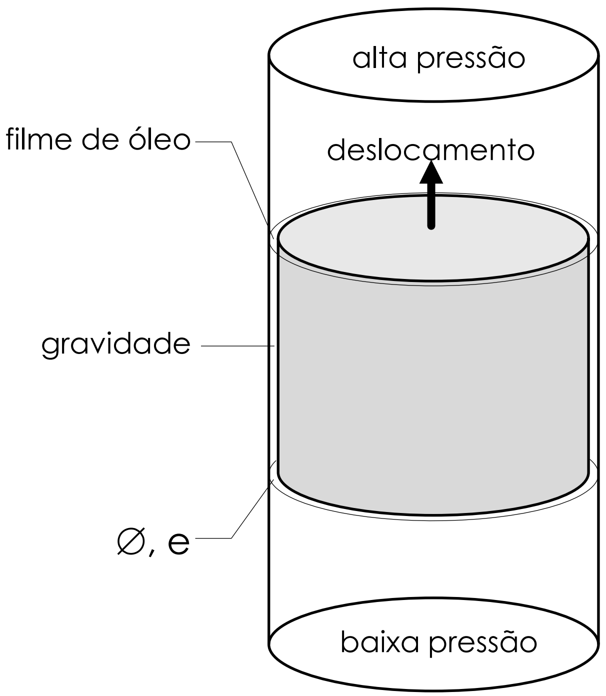
Balanço de massa (escoamento incompressível ρ ≅ cte):

$$\cancel{\frac{\partial \rho}{\partial t}} + \rho\vec{\nabla}\cdot\vec{u} + \cancel{\vec{u}\cdot\vec{\nabla}\rho} = 0$$

$$\vec{\nabla}\cdot\vec{u} = \left(\frac{\partial}{\partial x},\frac{\partial}{\partial y},\frac{\partial}{\partial z}\right)\cdot(u,v,w) = \cancel{\frac{\partial u}{\partial x}} + \cancel{\frac{\partial v}{\partial y}} + \cancel{\frac{\partial w}{\partial z}} = 0$$

$$pq.\,u = u(y)$$

ESCOAMENTOS DOMINADOS PELOS EFEITOS VISCOSOS (Re ↓↓↓)



Balanço de qdm (escoamento incompressível ρ ≅ cte):

$$\rho \cdot \left(\frac{\partial \vec{u}}{\partial t} + \vec{u} \cdot \vec{\nabla}\vec{u}\right) = -\vec{\nabla}P + \vec{\nabla} \cdot \tilde{T} + \sum \vec{F}_{3D}$$

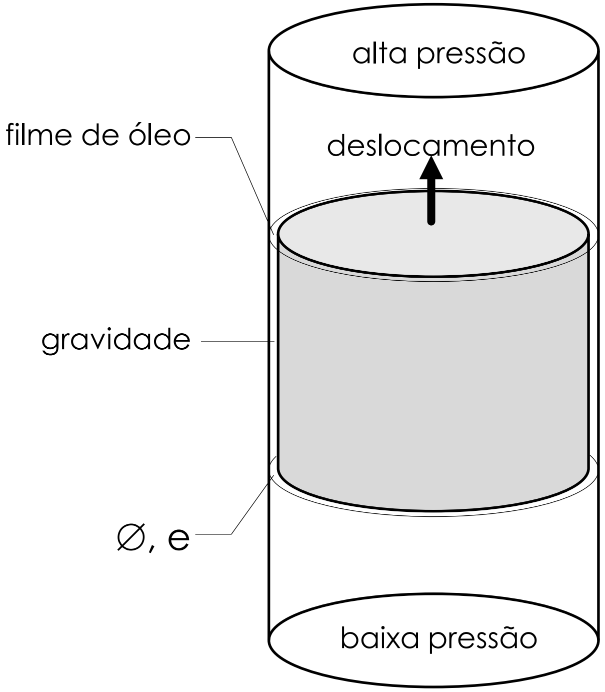
(1) (2)

$$\rho \cdot \left(0 + \vec{u} \cdot \vec{\nabla}\vec{u}\right) = -\vec{\nabla}P + \mu\nabla^2\vec{u} + \vec{g}$$

$$\nabla^2\vec{u} = (\nabla^2 u, \nabla^2 v, \nabla^2 w) = \left(\cancel{\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \cancel{\frac{\partial^2 u}{\partial z^2}}, 0\,, 0\right)$$

$$\nabla^2\vec{u} = (\nabla^2 u, \nabla^2 v, \nabla^2 w) = \left(\frac{\partial^2 u}{\partial y^2}, 0\,, 0\right)$$

ESCOAMENTOS DOMINADOS PELOS EFEITOS VISCOSOS (Re ↓↓↓)



Balanço de qdm (escoamento incompressível ρ ≅ cte):

$$\rho\cdot\left(\frac{\partial\vec{u}}{\partial t}+\vec{u}\cdot\vec{\nabla}\vec{u}\right)=-\vec{\nabla}P+\vec{\nabla}\cdot\tilde{T}+\sum\vec{F}_{3D}$$

(1) (2)

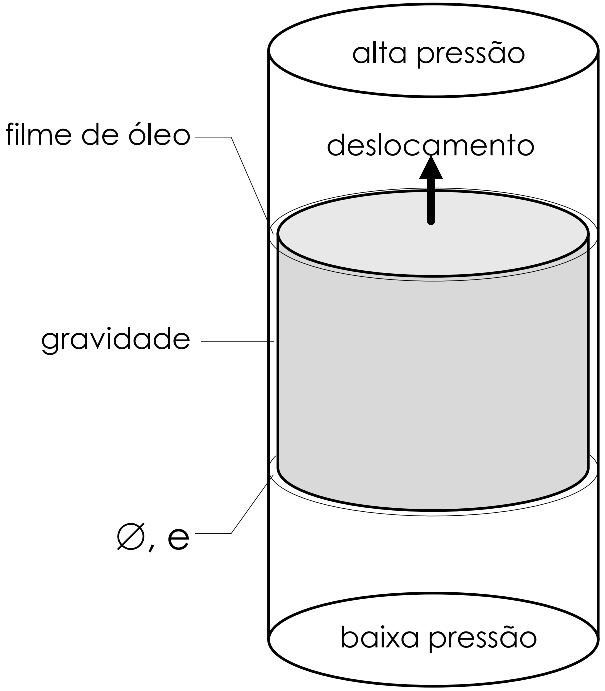
$$\rho\cdot\left(0+\vec{u}\cdot\vec{\nabla}\vec{u}\right)=-\vec{\nabla}P+\mu\nabla^2\vec{u}+\vec{g}$$

$$\vec{u}\cdot\vec{\nabla}\vec{u}=(u,v,w)\cdot\left[\begin{pmatrix}\partial/\partial x\\ \partial/\partial y\\ \partial/\partial z\end{pmatrix}\cdot(u,v,w)\right]=(u,v,w)\cdot\begin{bmatrix}\partial u/\partial x & \partial v/\partial x & \partial w/\partial x\\ \partial u/\partial y & \partial v/\partial y & \partial w/\partial y\\ \partial u/\partial z & \partial v/\partial z & \partial w/\partial z\end{bmatrix}=\cdots$$

$$\ldots=\left(u\cancel{\frac{\partial u}{\partial x}}+v\cancel{\frac{\partial u}{\partial y}}+w\cancel{\frac{\partial u}{\partial z}}\;,u\cancel{\frac{\partial v}{\partial x}}+v\cancel{\frac{\partial v}{\partial y}}+w\cancel{\frac{\partial v}{\partial z}},u\cancel{\frac{\partial w}{\partial x}}+v\cancel{\frac{\partial w}{\partial y}}+w\cancel{\frac{\partial w}{\partial z}}\right)$$

$$\therefore\ \vec{u}\cdot\vec{\nabla}\vec{u}\equiv 0\ \ para\, u=u(y)\ e\ v=w=0$$

ESCOAMENTOS DOMINADOS PELOS EFEITOS VISCOSOS (Re ↓↓↓)



Balanço de qdm (escoamento incompressível ρ ≅ cte):

$$\rho \cdot \left(\frac{\partial \vec{u}}{\partial t} + \vec{u} \cdot \vec{\nabla} \vec{u} \right) = -\vec{\nabla} P + \vec{\nabla} \cdot \tilde{T} + \sum \vec{F}_{3D}$$

(1) (2)

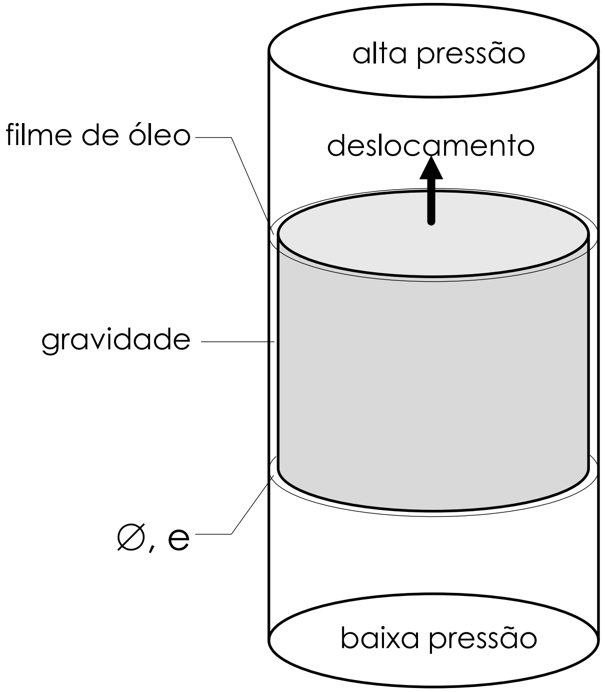
$$\rho \cdot \left(0 + \vec{u} \cdot \vec{\nabla} \vec{u} \right) = -\vec{\nabla} P + \mu \nabla^2 \vec{u} + \vec{g}$$

$$0 = -\frac{\partial P}{\partial x} + \mu \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + g$$

Deslocamento do pistão predomina sobre as demais forças ⇨ COUETTE

Gradiente de pressão e/ou força gravitacional predominam ⇨ POISEUILLE

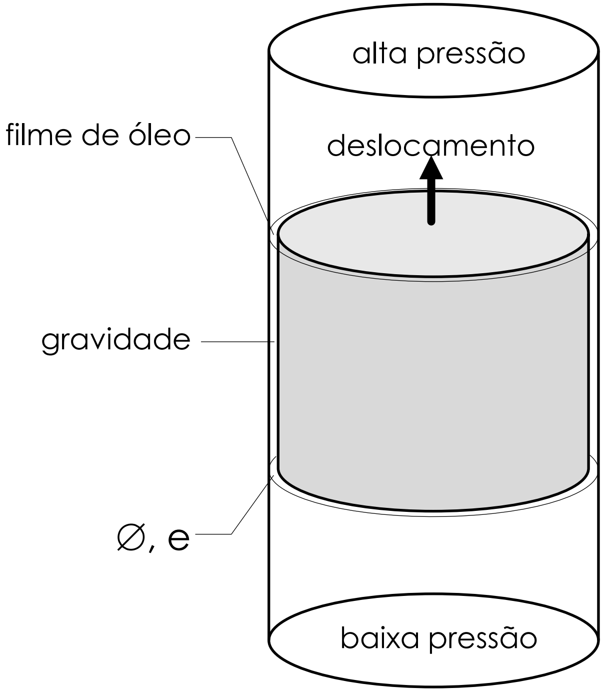
ESCOAMENTOS DOMINADOS PELOS EFEITOS VISCOSOS (Re ↓↓↓)



Deslocamento do pistão predomina sobre as demais forças ⇨ *COUETTE*

Gradiente de pressão e/ou força gravitacional predominam ⇨ *POISEUILLE*

ESCOAMENTOS DOMINADOS PELOS EFEITOS VISCOSOS (Re ↓↓↓)



Balanço de energia (escoamento incompressível ρ e k ≅ cte):

$$\rho C_P\left(\frac{\partial T}{\partial t} + \vec{u}\cdot\vec{\nabla}T\right) = \vec{\nabla}\cdot(k\vec{\nabla}T) + \tilde{T}:\tilde{D}$$

$$\rho C_P(0+0) = k\,\partial^2 T/\partial y^2 + \mu(\partial u/\partial y)^2$$

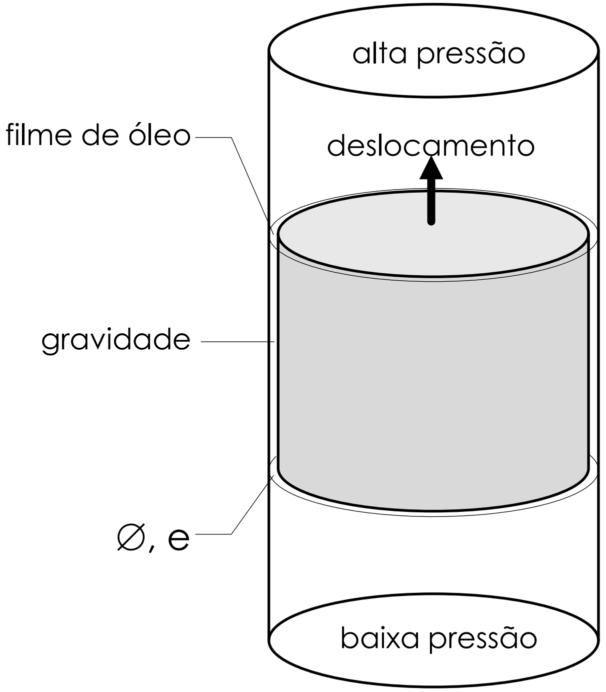
$$\tilde{T}:\tilde{D} \overset{\text{def}}{=} \mu\Phi(\vec{u})$$

"Força × deslocamento" (energia mecânica transformada em energia térmica devido à ação da viscosidade) → aquecimento viscoso

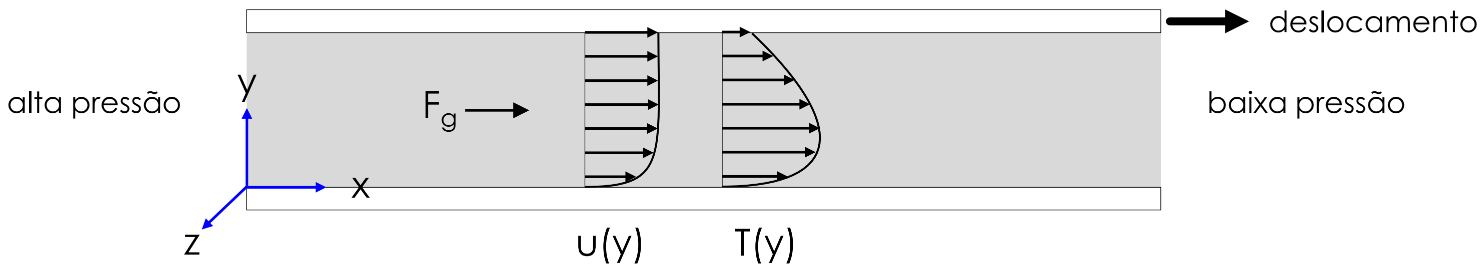
$$\Phi = 2\left[\cancel{\left(\frac{\partial u}{\partial x}\right)^2} + \cancel{\left(\frac{\partial v}{\partial y}\right)^2} + \cancel{\left(\frac{\partial w}{\partial z}\right)^2} - \frac{1}{3}\left(\cancel{\frac{\partial u}{\partial x}} + \cancel{\frac{\partial v}{\partial y}} + \cancel{\frac{\partial w}{\partial z}}\right)^2\right] + \left(\cancel{\frac{\partial v}{\partial x}} + \frac{\partial u}{\partial y}\right)^2 + \left(\cancel{\frac{\partial w}{\partial y}} + \cancel{\frac{\partial v}{\partial z}}\right)^2 + \left(\cancel{\frac{\partial u}{\partial z}} + \cancel{\frac{\partial w}{\partial x}}\right)^2$$

aquecimento viscoso

ESCOAMENTOS DOMINADOS PELOS EFEITOS VISCOSOS (Re ↓↓↓)



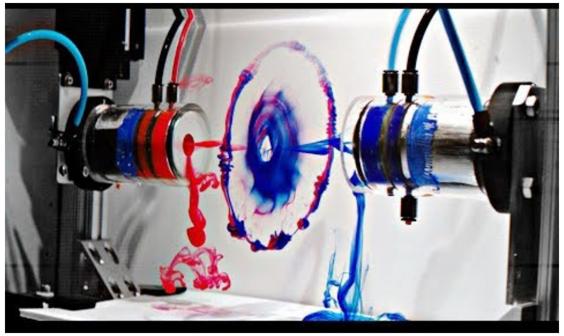
∅ >>> e → escoamento entre placas planas



Balanço de QdM: $$-\frac{dP}{dx} + \mu \frac{d^2u}{dy^2} + g = 0$$

Balanço de energia: $$k\frac{d^2T}{dy^2} + \mu \left(\frac{du}{dy}\right)^2 = 0$$

SmarterEveryDay
9.73M subscribers



enércia / gravidade

ENERGIA
“MISTURAMENTO”
MOVIMENTO DE GIRO

CFD analysis of biogas reator with 3 side mixers.
55 views • Premiered May 21, 2020

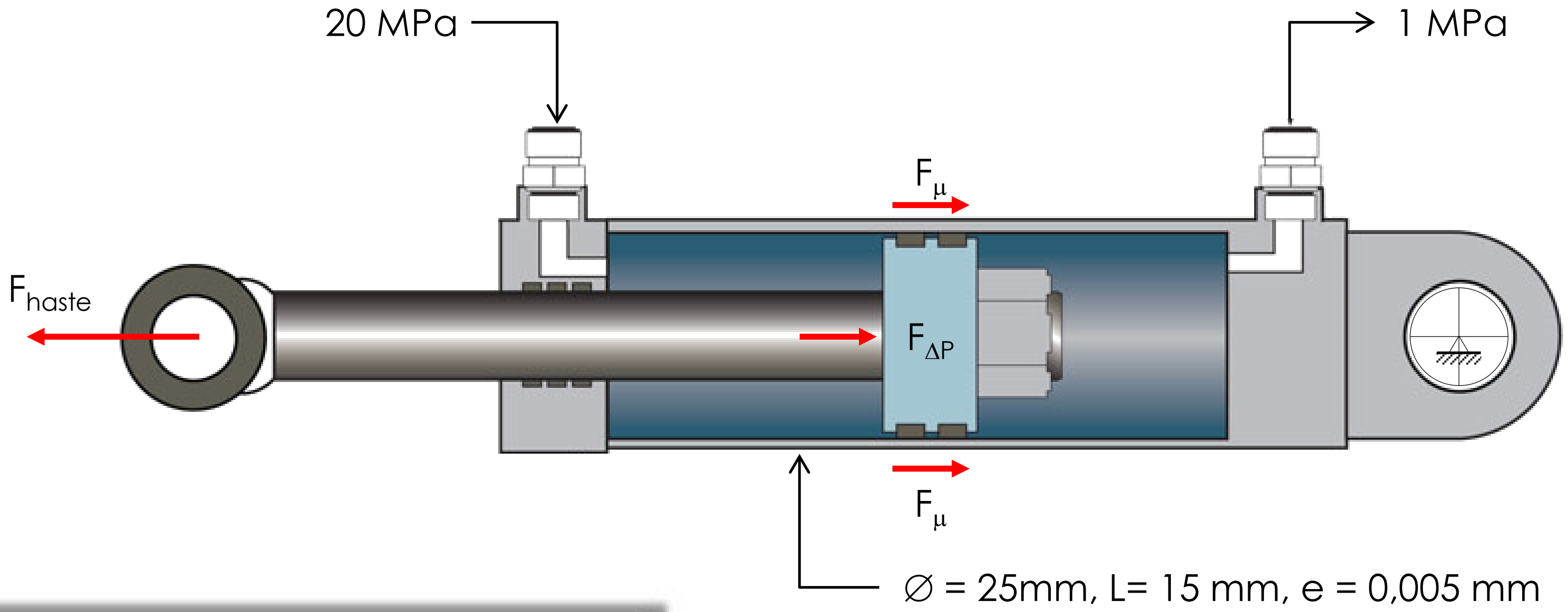
Gabriel Berestinas
112 subscribers

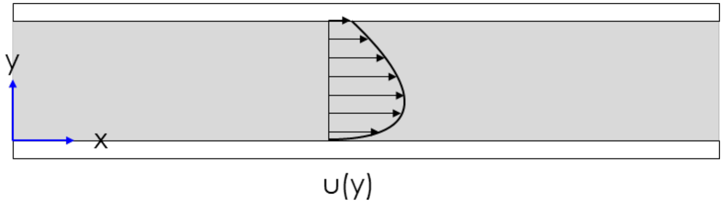
As questões postadas no Chat do YouTube serão respondidas ao final da aula.

EXEMPLO PRÁTICO:

ESCOAMENTO EM UM ACIONADOR HIDRÁULICO

Um acionador usa óleo SAE 10W como fluido hidráulico e está operando a pressão monométrica de 20 MPa e temperatura de 55°C. O pistão interno tem diâmetro e extensão de 25 mm e15 mm respectivamente. A folga média do ajuste na camisa é de 0,005 mm. Determine o volume de vazamento de óleo em 1 ano quando o lado de baixa pressão está a 1,0 MPa. Calcule a força na haste para manter o pistão parado. (O cilindro está apoiado.)





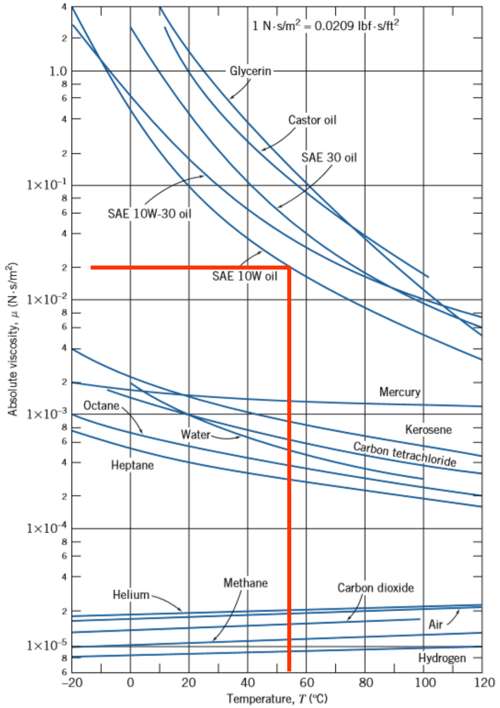
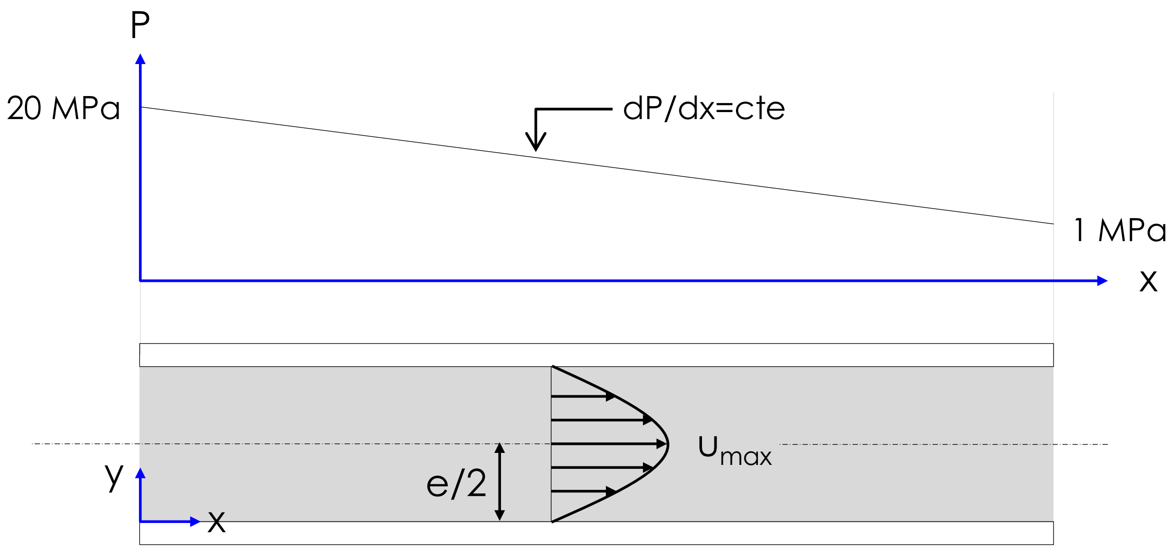


Fig. A.2 Dynamic (absolute) viscosity of common fluids as a function of temperature. (Data from References [1, 6, and 10].)

$\mu = 0{,}02$ Pa.s @ 55°C

As questões postadas no Chat do YouTube serão respondidas ao final da aula.



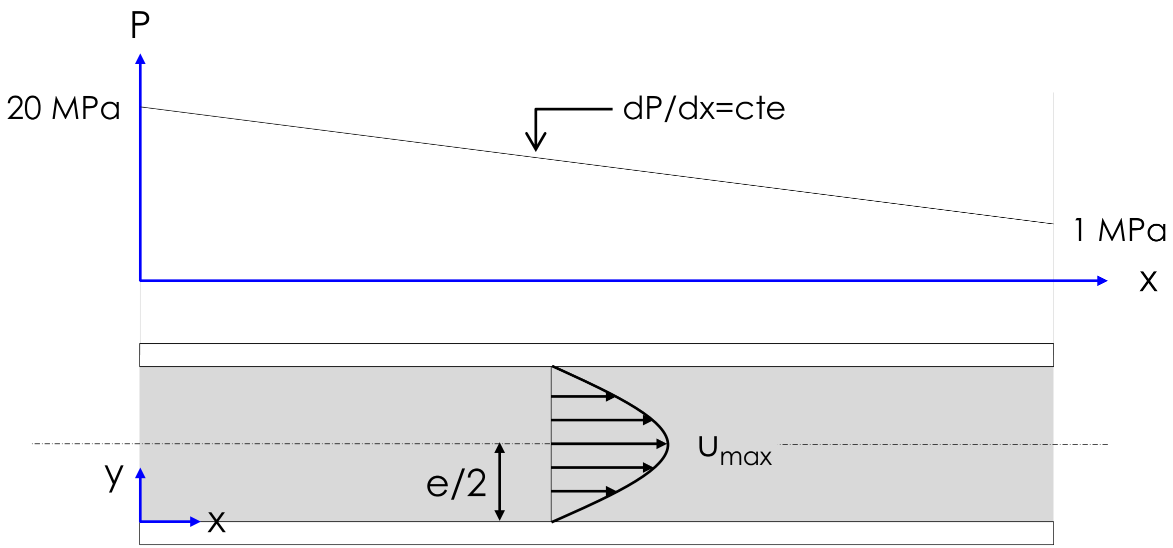
só depende de x

só depende de y

$$-\frac{dP}{dx} + \mu\frac{d^2u}{dy^2} + \cancel{g} = 0 \rightarrow \quad \mu\frac{d^2u}{dy^2} = \frac{dP}{dx} = cte$$

$$u(y) = \frac{1}{2\mu}\frac{dP}{dx}\cdot y^2 + \frac{C1}{\mu}\cdot y + C2$$

$$u(0) = u(e) = 0 \rightarrow \qquad u(y) = \frac{1}{2\mu}\frac{dP}{dx}\cdot\left(y^2 - e\cdot y\right)$$



só depende de x

só depende de y

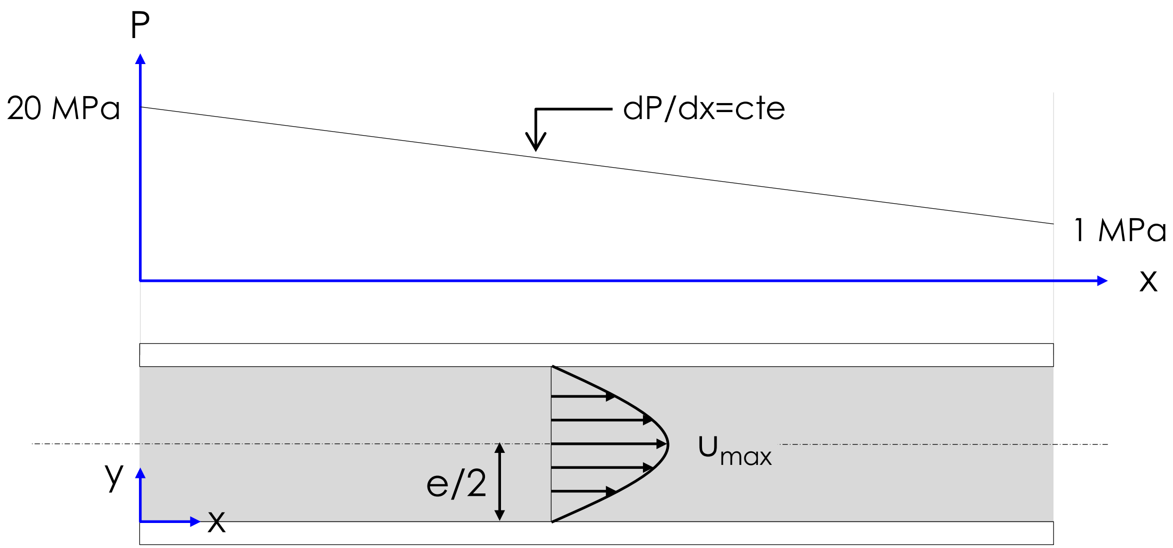
$$-\frac{dP}{dx}+\mu\frac{d^2u}{dy^2}+\cancel{g}=0 \rightarrow \quad \mu\frac{d^2u}{dy^2}=\frac{dP}{dx}=cte$$

$$u(y)=\frac{1}{2\mu}\frac{dP}{dx}\cdot y^2+\frac{C1}{\mu}\cdot y+C2$$

$$u(0)=u(e)=0 \rightarrow \qquad u(y)=\frac{1}{2\mu}\frac{dP}{dx}\cdot\left(y^2-e\cdot y\right)$$

$$\tau_y(y)=\mu\frac{du}{dy}=\mu\left(\frac{1}{\mu}\frac{dP}{dx}\cdot y-\frac{e}{2\mu}\frac{dP}{dx}\right)=\frac{dP}{dx}\left(y-\frac{e}{2}\right)$$

$$y=e/2 \rightarrow u=u_{max}$$

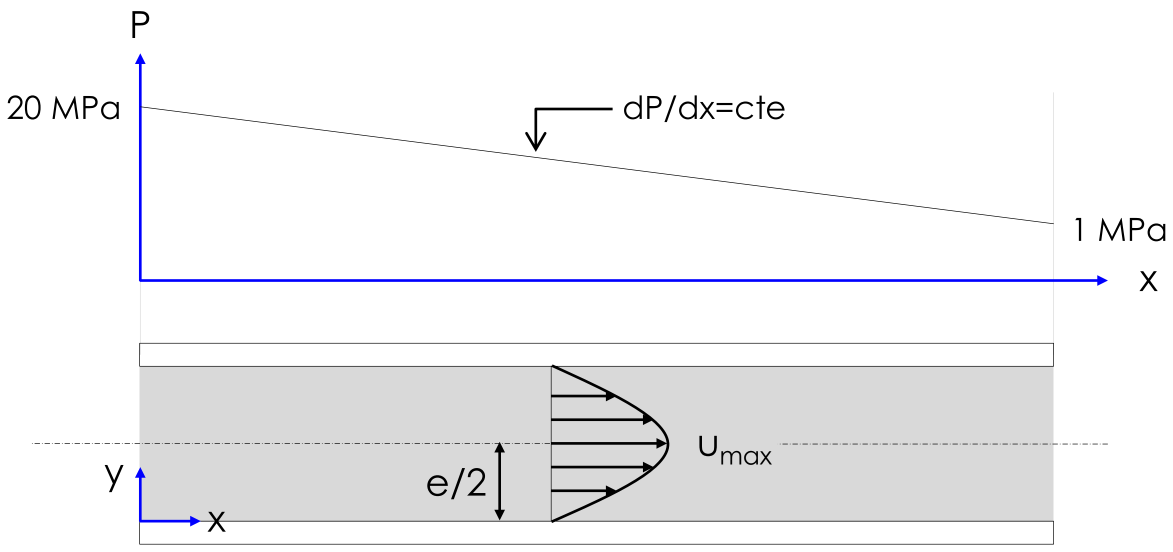


$$u(y) = \frac{1}{2\mu}\frac{dP}{dx}\cdot\left(y^2 - e\cdot y\right)$$

$$Q = \int_A \vec{u}\cdot d\vec{A} = \int_0^e u(y)\cdot \pi D dy$$

$$Q = \frac{\pi D}{2\mu}\frac{dP}{dx}\int_0^e \left(y^2 - e\cdot y\right)\cdot dy = \frac{\pi D}{2\mu}\frac{dP}{dx}\left(\frac{e^3}{3} - e\cdot\frac{e^2}{2}\right) = -\frac{\pi D}{12\mu}\frac{dP}{dx}e^3$$

$dP/dx < 0 \rightarrow Q > 0$

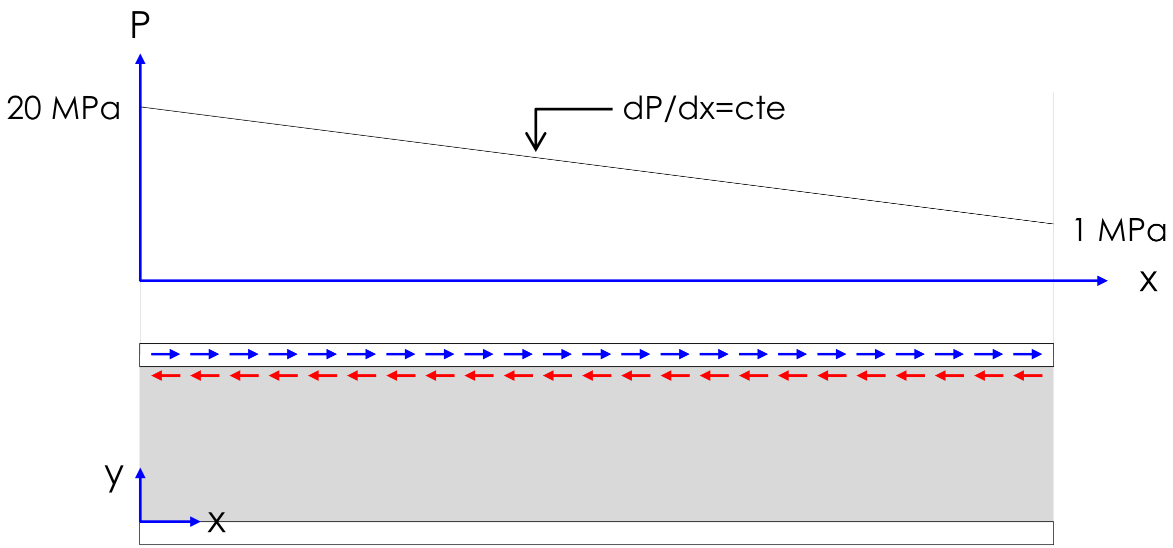


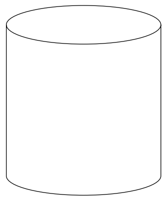
$$Q = \int_A \vec{u} \cdot d\vec{A} = \int_0^e u(y) \cdot \pi D dy$$

$$Q = -\frac{\pi D}{12\mu}\frac{dP}{dx}e^3$$

$$Q = -\frac{\pi\, 25 \cdot 10^{-3}}{12 \cdot 0{,}02}\left(\frac{[1-20] \cdot 10^6}{15 \cdot 10^{-3}}\right)(0{,}005 \cdot 10^{-3})^3 = 5{,}1814 \cdot 10^{-8}\, m^3/s$$

$$Q \cdot 3600 \cdot 24 \cdot 365 = 1{,}6295\, m^3$$





$$\rightarrow A = \pi D l$$

$$\tau_x(y) = \frac{dP}{dx}\left(y - \frac{e}{2}\right) \rightarrow F_\mu = \tau_y(0) \cdot \pi D l$$

$$F_\mu = \pi\, 25 \cdot 10^{-3} \cdot 15 \cdot 10^{-3} \left(\frac{[1-20] \cdot 10^6}{15 \cdot 10^{-3}}\right)\left(0 - \frac{0{,}005 \cdot 10^{-3}}{2}\right) = -3{,}731\ N$$

$$F_{\Delta P} = \frac{\pi\,(25 \cdot 10^{-3})^2}{4} 19 \cdot 10^6 = 9{,}327\ kN$$

Obs.: desprezando FdeltaP sobre o filme de óleo

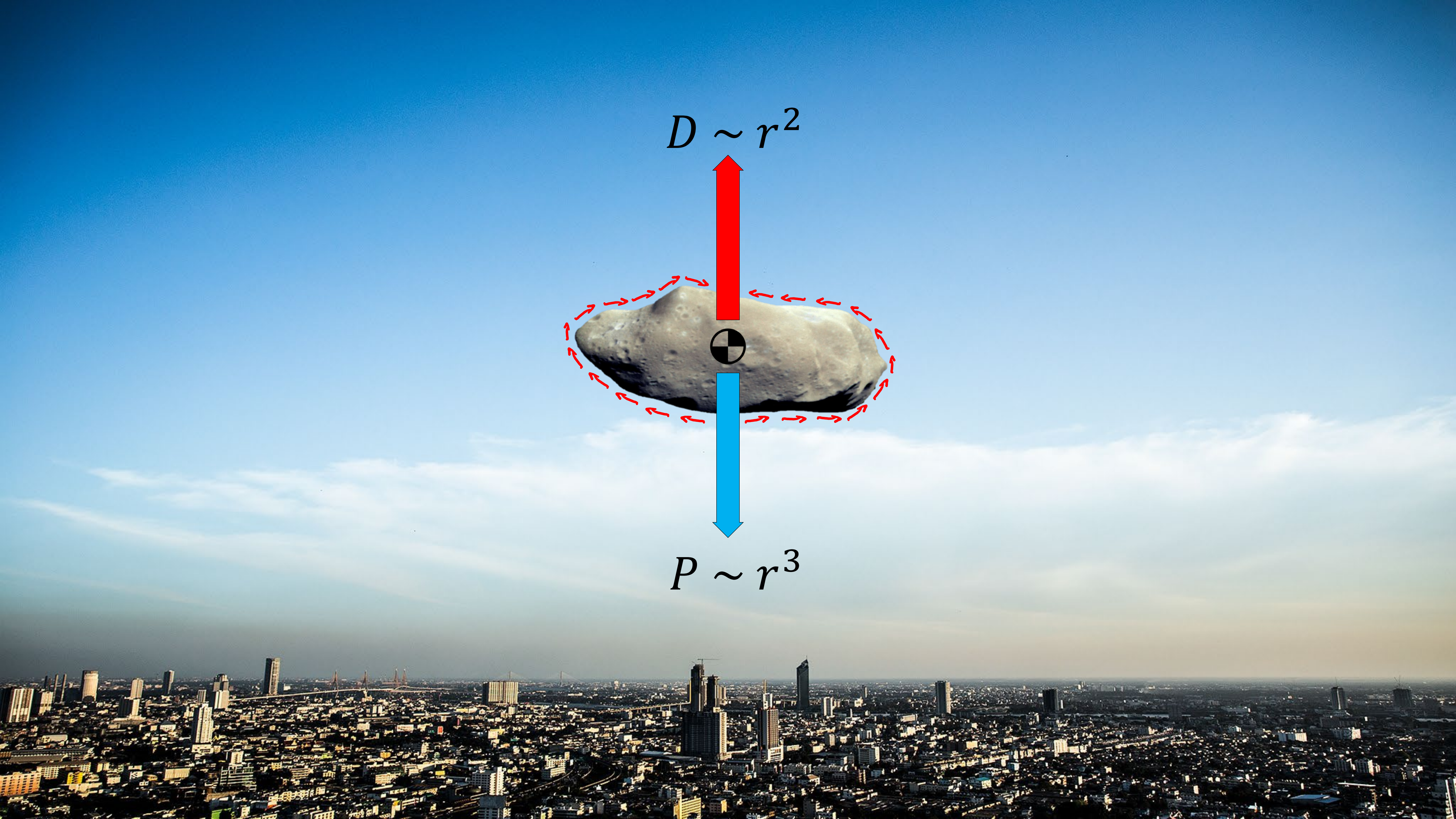
$$\rightarrow F_{haste} = 9{,}327 + 0{,}00746 = 9{,}331\ kN$$

As questões postadas no Chat do YouTube serão respondidas ao final da aula.

ABORDAGEM HISTÓRICA:

ESCALA FENOMENOLÓGICA – NÚMEROS ADIMENSIONAIS

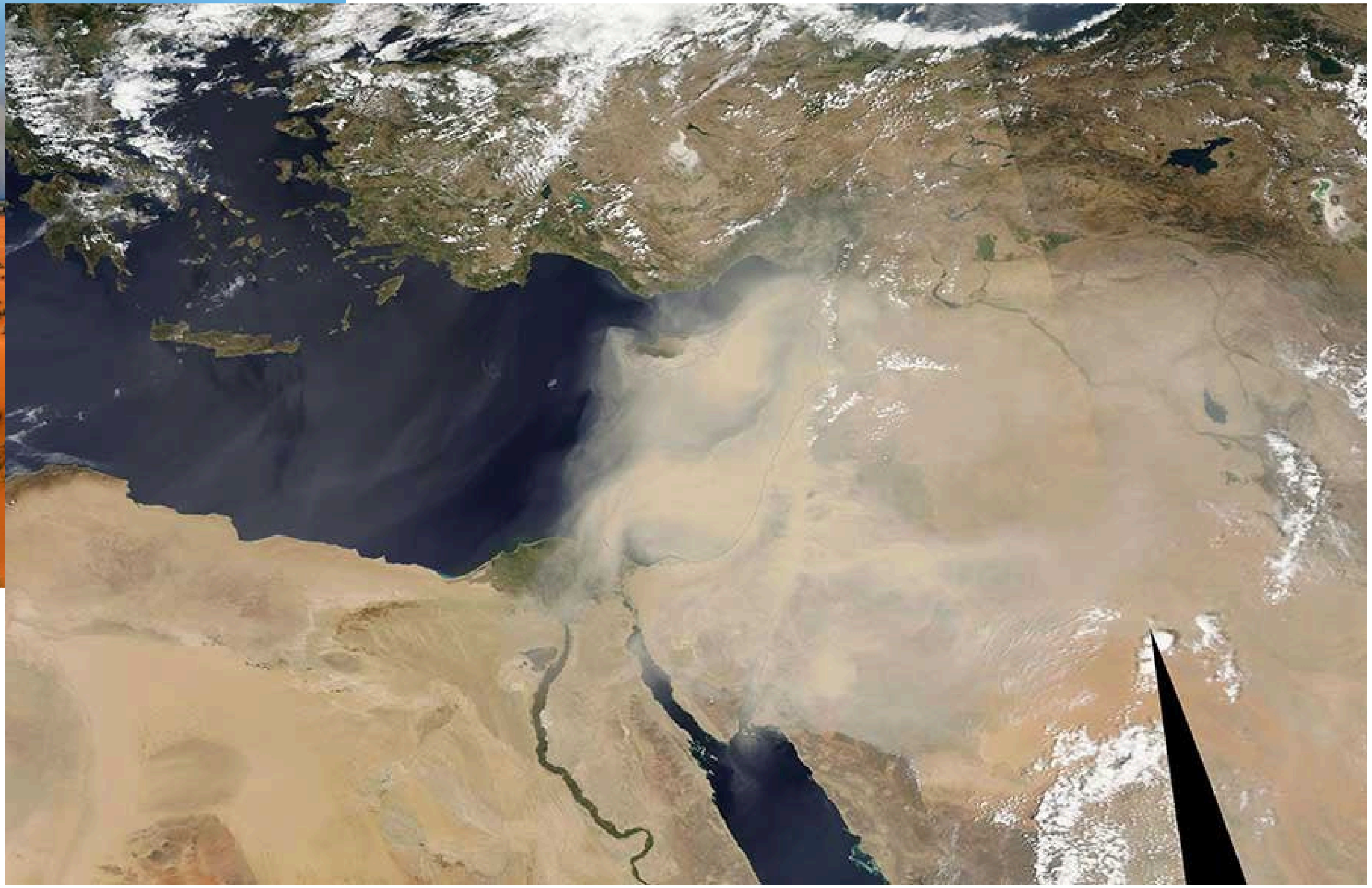
Ou... como os besouros conseguem voar !?!?


$D \sim r^2$
$P \sim r^3$

r

As questões
serão respo

r [illegible]



$r \rightarrow 0$

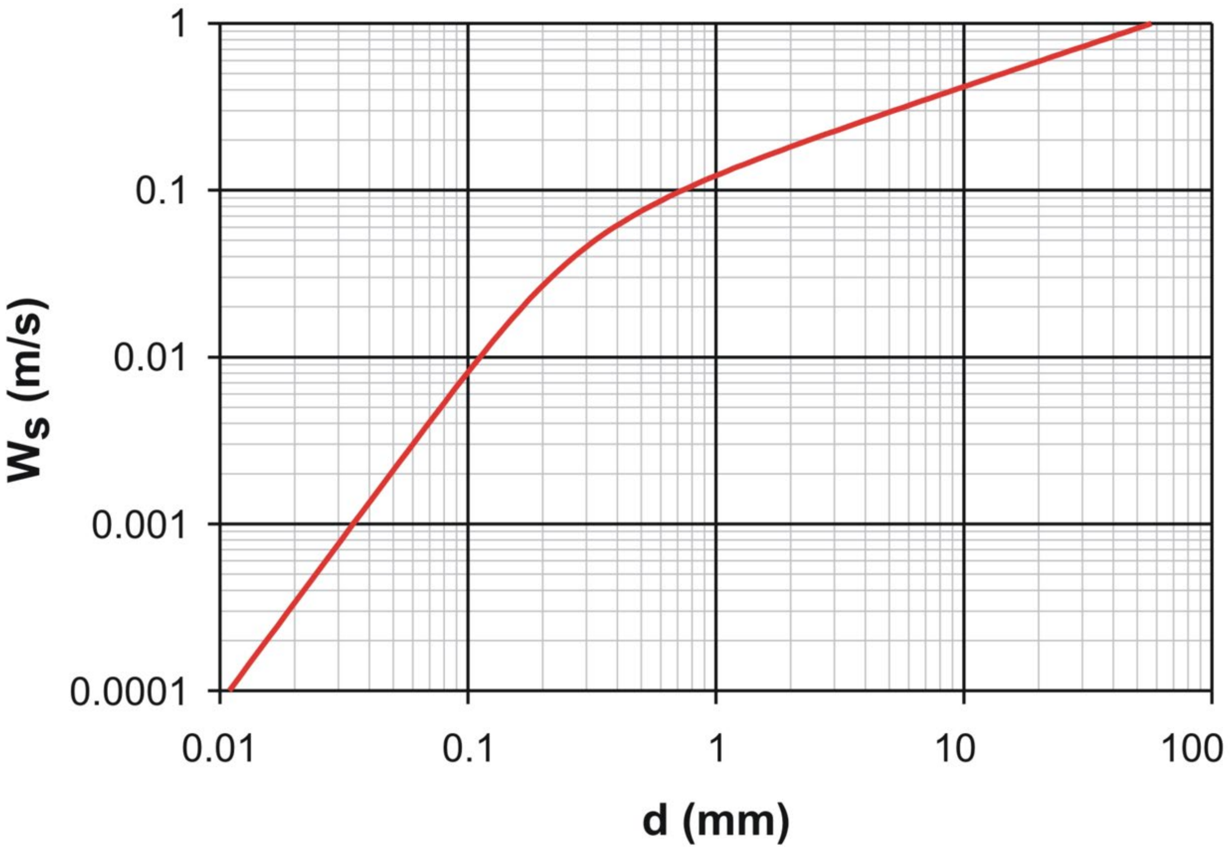
As questões postadas no Chat do YouTube serão respondidas ao final da aula.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \vec{\nabla} \cdot (\rho \vec{u}) = 0$$

$$\rho \cdot \left(\frac{\partial \vec{u}}{\partial t} + \vec{u} \cdot \vec{\nabla} \vec{u} \right) = -\vec{\nabla} P + \vec{\nabla} \cdot \tilde{T} + \sum \vec{F}_{3D}$$

$$\rho C_P \left(\frac{\partial T}{\partial t} + \vec{u} \cdot \vec{\nabla} T \right) = \vec{\nabla} \cdot (k \vec{\nabla} T) + \tilde{T} : \tilde{D}$$

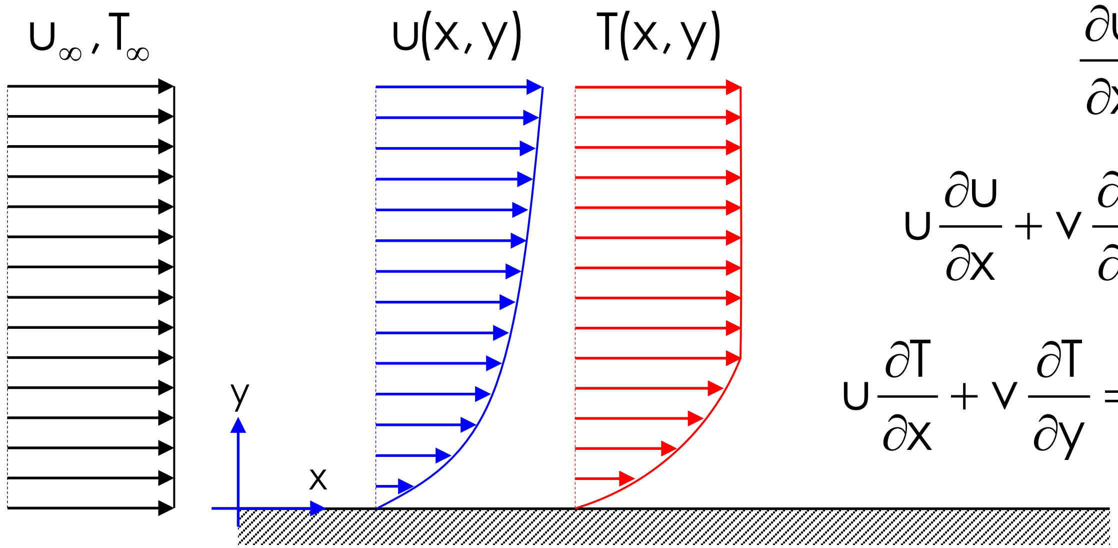
Settling velocity W_s of a sand grain (diameter d, density 2650 kg/m^3) in water at 20 °C, computed with the formula of Soulsby (1997).



mesmas equações → resultados diferentes → ?????

As questões postadas no Chat do YouTube serão respondidas ao final da aula.

Adimensionalização das equações governantes... PLACA PLANA

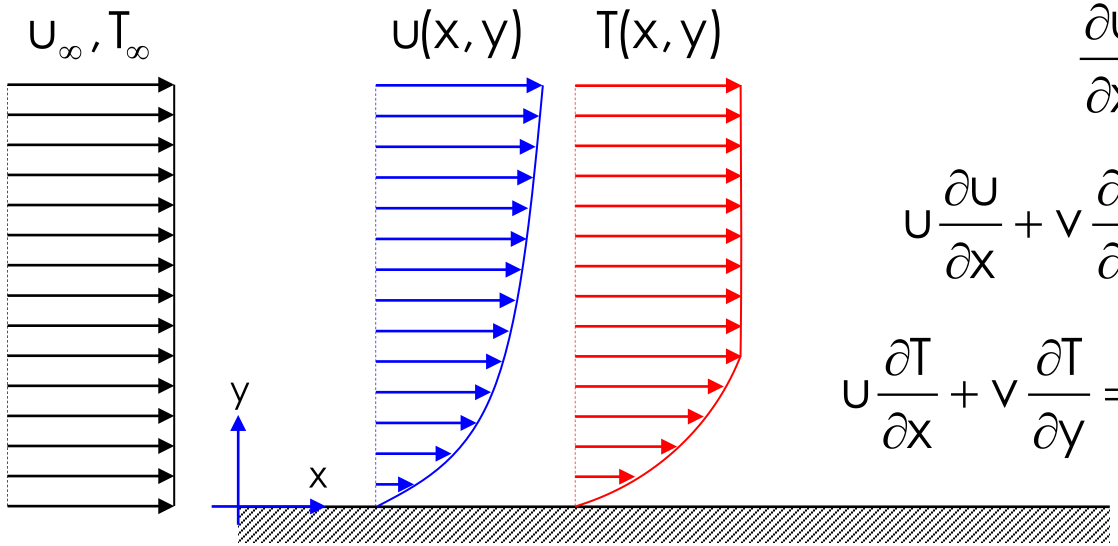


$$\left.\begin{aligned}
&\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \\
&u\frac{\partial u}{\partial x} + v\frac{\partial u}{\partial y} = \frac{\mu}{\rho}\frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \\
&u\frac{\partial T}{\partial x} + v\frac{\partial T}{\partial y} = \frac{k}{\rho C_P}\frac{\partial^2 T}{\partial y^2}
\end{aligned}\right\}
\quad
\begin{aligned}
&x^* = \frac{x}{L} \qquad y^* = \frac{y}{L} \\
&u^* = \frac{u}{u_\infty} \qquad v^* = \frac{v}{u_\infty} \qquad P^* = \frac{P}{\rho u_\infty^2} \\
&T^* = \frac{T - T_2}{T_\infty - T_s}
\end{aligned}$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} = \frac{\partial(u_\infty u^*)}{\partial x} = u_\infty \frac{\partial u^*}{\partial x} = u_\infty \frac{\partial u^*}{\partial x^*}\frac{dx^*}{dx} = \frac{u_\infty}{L}\frac{\partial u^*}{\partial x^*}$$

$$\frac{u_\infty}{L}\frac{\partial u^*}{\partial x^*} + \frac{u_\infty}{L}\frac{\partial v^*}{\partial y^*} = 0 \quad \boxed{\rightarrow \frac{\partial u^*}{\partial x^*} + \frac{\partial v^*}{\partial y^*} = 0}$$

Adimensionalização das equações governantes... PLACA PLANA



$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0$$

$$u\frac{\partial u}{\partial x} + v\frac{\partial u}{\partial y} = \frac{\mu}{\rho}\frac{\partial^2 u}{\partial y^2}$$

$$u\frac{\partial T}{\partial x} + v\frac{\partial T}{\partial y} = \frac{k}{\rho C_P}\frac{\partial^2 T}{\partial y^2}$$

$$x^* = \frac{x}{L} \qquad y^* = \frac{y}{L}$$

$$u^* = \frac{u}{u_\infty} \qquad v^* = \frac{v}{u_\infty} \qquad P^* = \frac{P}{\rho u_\infty^2}$$

$$T^* = \frac{T - T_2}{T_\infty - T_s}$$

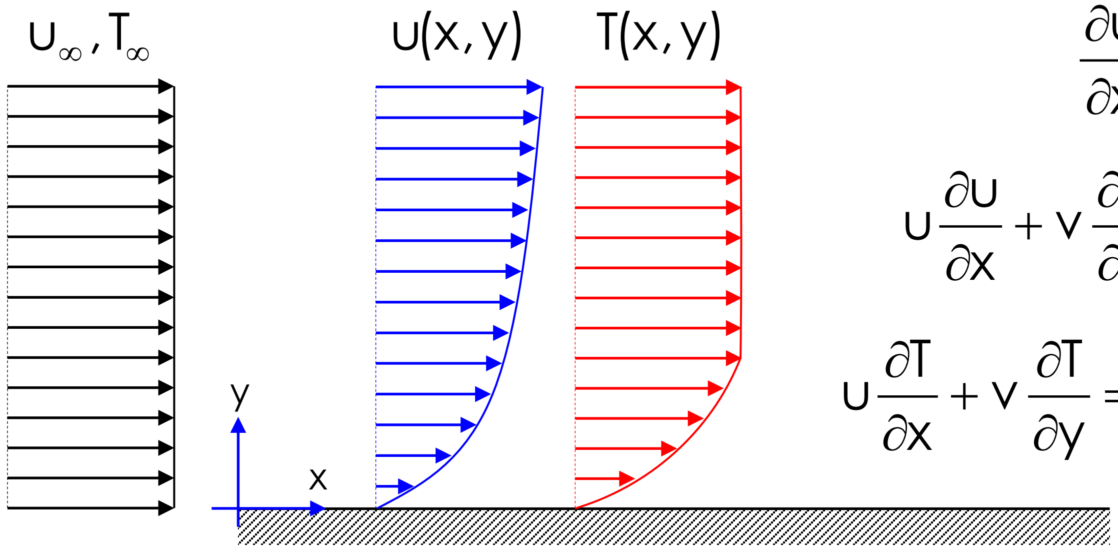
$$\frac{\partial u}{\partial x} = \frac{u_\infty}{L}\frac{\partial u^*}{\partial x^*}$$

$$\frac{\partial v}{\partial y} = \frac{u_\infty}{L}\frac{\partial v^*}{\partial y^*}$$

$$\Rightarrow \quad u\frac{\partial u}{\partial x} + v\frac{\partial u}{\partial y} = \frac{\mu}{\rho}\frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \rightarrow \boxed{u^*\frac{\partial u^*}{\partial x^*} + v^*\frac{\partial u^*}{\partial y^*} = \frac{1}{Re}\frac{\partial^2 u^*}{\partial y^{*2}}}$$

Define o efeito da escala dimensional

Adimensionalização das equações governantes... PLACA PLANA



$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0$$

$$u\frac{\partial u}{\partial x} + v\frac{\partial u}{\partial y} = \frac{\mu}{\rho}\frac{\partial^2 u}{\partial y^2}$$

$$u\frac{\partial T}{\partial x} + v\frac{\partial T}{\partial y} = \frac{k}{\rho C_P}\frac{\partial^2 T}{\partial y^2}$$

$$x^* = \frac{x}{L} \qquad y^* = \frac{y}{L}$$

$$u^* = \frac{u}{u_\infty} \qquad v^* = \frac{v}{u_\infty} \qquad P^* = \frac{P}{\rho u_\infty^2}$$

$$T^* = \frac{T - T_2}{T_\infty - T_s}$$

$$T^* = \frac{T - T_2}{T_\infty - T_s} \Rightarrow u\frac{\partial T}{\partial x} + v\frac{\partial T}{\partial y} = \frac{k}{\rho C_P}\frac{\partial^2 T}{\partial y^2}$$

$$\rightarrow u^*\frac{\partial T^*}{\partial x^*} + v^*\frac{\partial T^*}{\partial y^*} = \frac{1}{\mathrm{Re}\cdot\mathrm{Pr}}\frac{\partial^2 T^*}{\partial {y^*}^2}$$

Define o efeito da escala dimensional

Define o efeito das características do fluido

Adimensionalização das equações governantes...

$$\frac{\partial u}{\partial x} = \frac{u_\infty}{L}\frac{\partial u^*}{\partial x^*}$$

$$\frac{\partial v}{\partial y} = \frac{u_\infty}{L}\frac{\partial v^*}{\partial y^*}$$

$$\frac{\partial P}{\partial x} = \frac{\rho u_\infty^2}{L}\frac{\partial P^*}{\partial x^*}$$

$$\frac{\partial P}{\partial y} = \frac{\rho u_\infty^2}{L}\frac{\partial P^*}{\partial y^*}$$

$$\Rightarrow$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \vec{\nabla}\cdot(\rho\vec{U}) = 0$$

$$\rho\cdot\left(\frac{\partial \vec{U}}{\partial t} + \vec{U}\cdot\vec{\nabla}\vec{U}\right) = -\vec{\nabla}P + \mu\nabla^2\vec{U} + \sum F_k$$

$$\rho C_P\left(\frac{\partial T}{\partial t} + \vec{U}\cdot\vec{\nabla}T\right) = \vec{\nabla}\cdot(k\vec{\nabla}T)$$

Adimensionalização das equações governantes...

$$\frac{\partial u}{\partial x} = \frac{u_\infty}{L}\frac{\partial u^*}{\partial x^*}$$

$$\frac{\partial v}{\partial y} = \frac{u_\infty}{L}\frac{\partial v^*}{\partial y^*}$$

$$\frac{\partial P}{\partial x} = \frac{\rho u_\infty^2}{L}\frac{\partial P^*}{\partial x^*}$$

$$\frac{\partial P}{\partial y} = \frac{\rho u_\infty^2}{L}\frac{\partial P^*}{\partial y^*}$$

$$\Rightarrow$$

$$\frac{\partial \rho^*}{\partial t^*} + \vec{\nabla}\cdot(\rho^* \vec{U}^*) = 0$$

$$\rho^* \cdot \left(\frac{\partial \vec{U}^*}{\partial t^*} + \vec{U}^* \cdot \vec{\nabla}\vec{U}^*\right) = -\vec{\nabla}P^* + \frac{1}{Re}\nabla^2\vec{U}^* + \sum \frac{1}{R_k}F_k^*$$

$$\left(\frac{\partial T^*}{\partial t^*} + \vec{U}^* \cdot \vec{\nabla}T^*\right) = \frac{1}{Re\cdot Pr}\vec{\nabla}\cdot\vec{\nabla}T^*$$

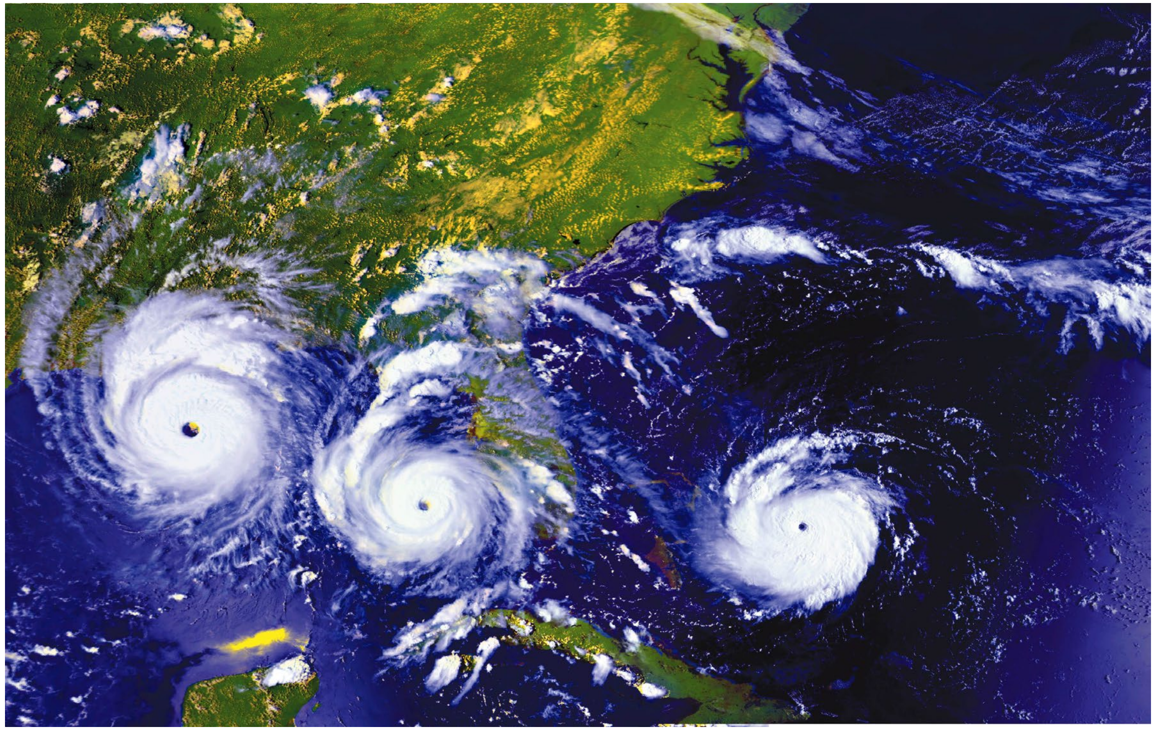
Forças externas

$$Re = \frac{\rho u_0 D}{\mu} \rightarrow \frac{\text{inércia}}{\text{d.viscosa}}$$

$$Pr = \frac{\mu}{k/C_P} \rightarrow \frac{\text{d.viscosa}}{\text{d.térmica}}$$

As equações governam o fenômeno via leis de conservação. Os números adimensionais definem o comportamento na escala do problema modelado...

Adimensionalização das equações governantes...



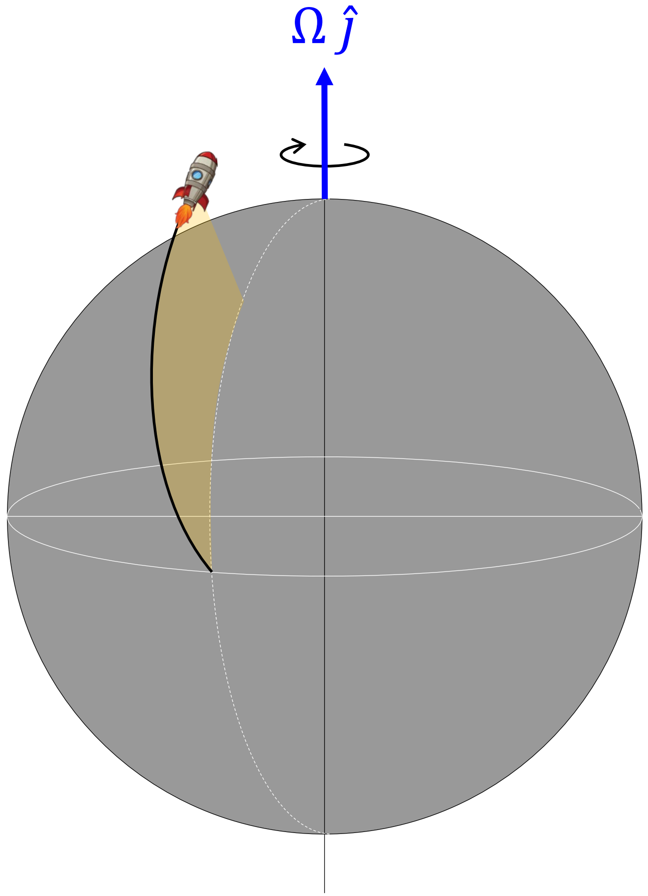
Ω = rotação planetária
φ = latitude

Ec = Eckert

Mesmas equações adimensionais de balanço de massa, q. de movimento e energia porém, com diferentes números adimensionais

$$Re = \frac{\rho u_0 D}{\mu} \quad Pr = \frac{C_p \mu}{k} \quad Eu = \frac{P_0}{\rho u_0^2} \quad Fr = \frac{u_0}{\sqrt{gD}} \quad Ec = \frac{u_0^2}{C_P (T_s - T_\infty)} \quad Ro = \frac{U/L}{2\Omega \sin\varphi}$$

$$\rho^* \cdot \left(\frac{\partial \vec{U}^*}{\partial t^*} + \vec{U}^* \cdot \vec{\nabla} \vec{U}^* \right) = -\vec{\nabla} P^* + \frac{1}{Re} \nabla^2 \vec{U}^* + \sum \frac{1}{R_k} F_k^*$$

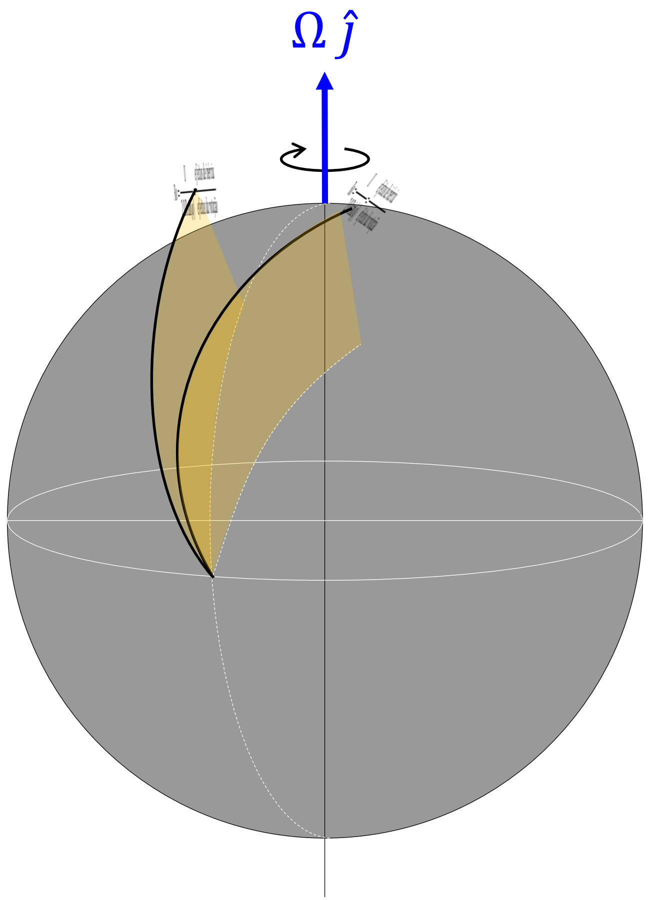


As questões postadas no Chat do YouTube serão respondidas ao final da aula.

$$\rho^* \cdot \left(\frac{\partial \vec{U}^*}{\partial t^*} + \vec{U}^* \cdot \vec{\nabla} \vec{U}^* \right) = -\vec{\nabla} P^* + \frac{1}{Re} \nabla^2 \vec{U}^* + \sum \frac{1}{R_k} F_k^*$$

$$\rho^* \cdot \left(\frac{\partial \vec{u}^*}{\partial t^*} + \vec{u}^* \cdot \vec{\nabla} \vec{u}^* \right) = -\vec{\nabla} P^* + \frac{1}{Re} \nabla^2 \vec{u}^* + \vec{g}^* + \frac{1}{R_O} F^*_{Coriolis}$$

$$F^*_{Coriolis} = f \cdot \hat{j} \times \vec{u}^* \quad e \quad f = 2\,\Omega \sin(\varphi)$$



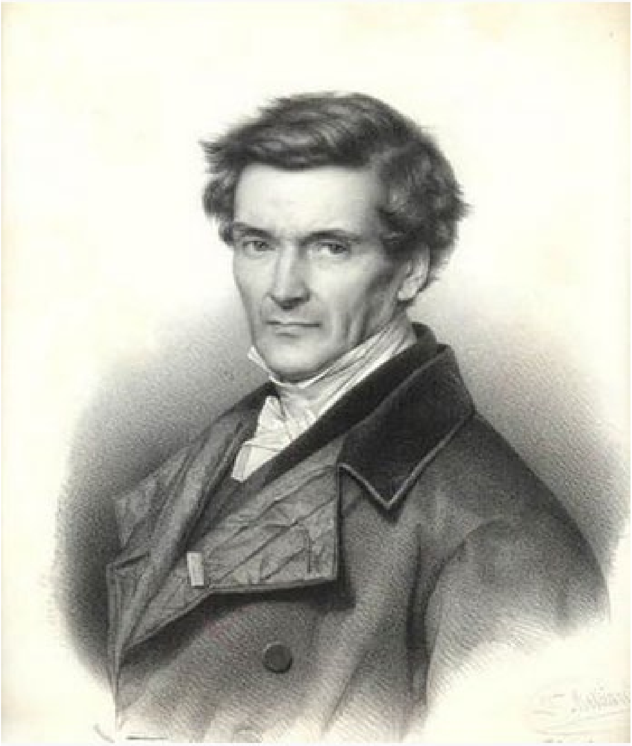
$$Ro = \frac{U}{2\,\Omega\,\mathrm{R} \sin(\varphi)} = \frac{efeitos\ de\ inércia}{efeitos\ da\ rotação}$$

VOLTANDO AOS FURACÕES DA AULA PASSADA...

Por que os furacões giram no sentido anti-horário no hemisfério norte e no sentido horário no hemisfério sul ???

As questões postadas no Chat do YouTube serão respondidas ao final da aula.

Por que os furacões giram no sentido anti-horário no hemisfério norte e no sentido horário no hemisfério sul ???



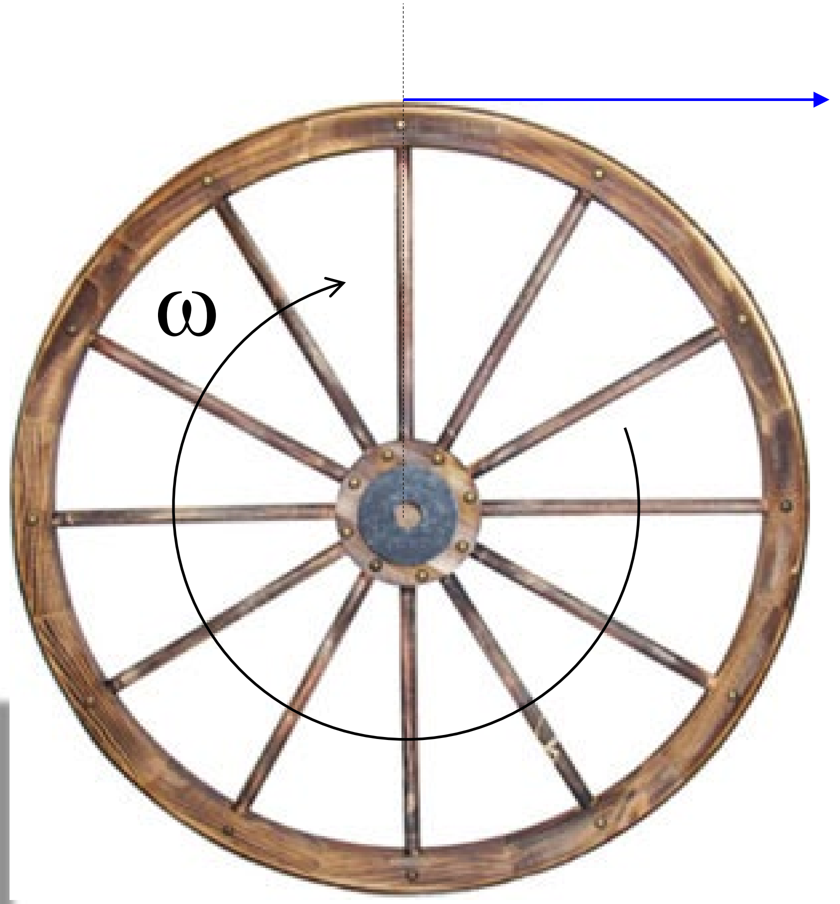
Gaspard-Gustave de Coriolis

Carl-Gustaf Rossby

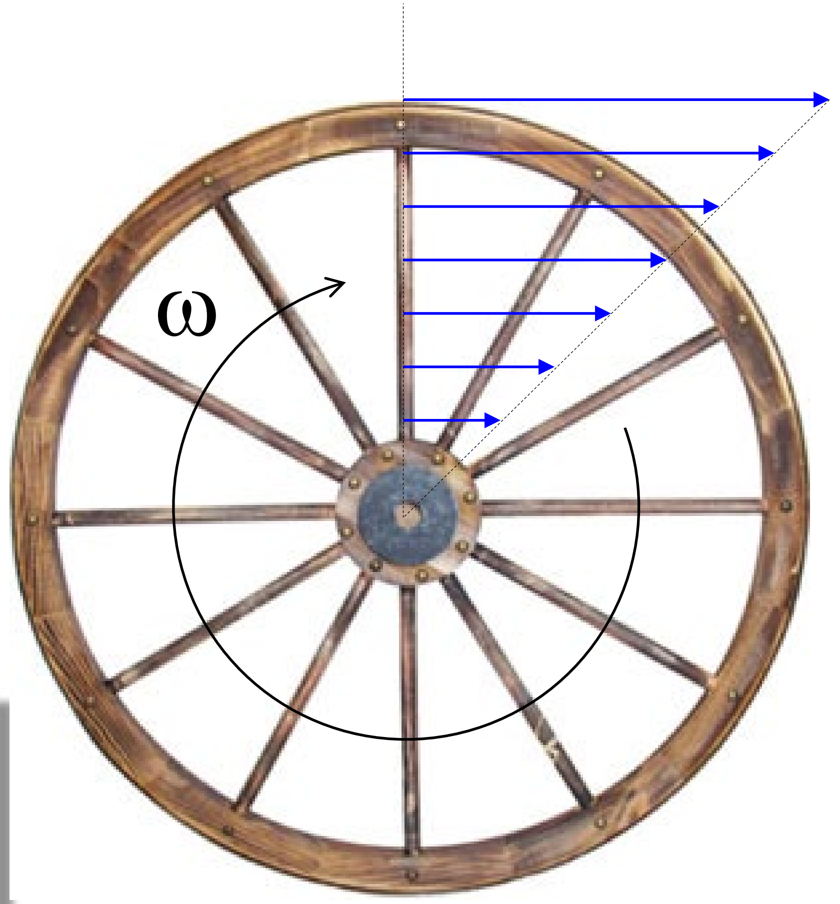
Fenômenos atmosféricos de grande escala...

YouTube As questões postadas no Chat do YouTube serão respondidas ao final da aula.

Por que os furacões giram no sentido anti-horário no hemisfério norte e no sentido horário no hemisfério sul ???

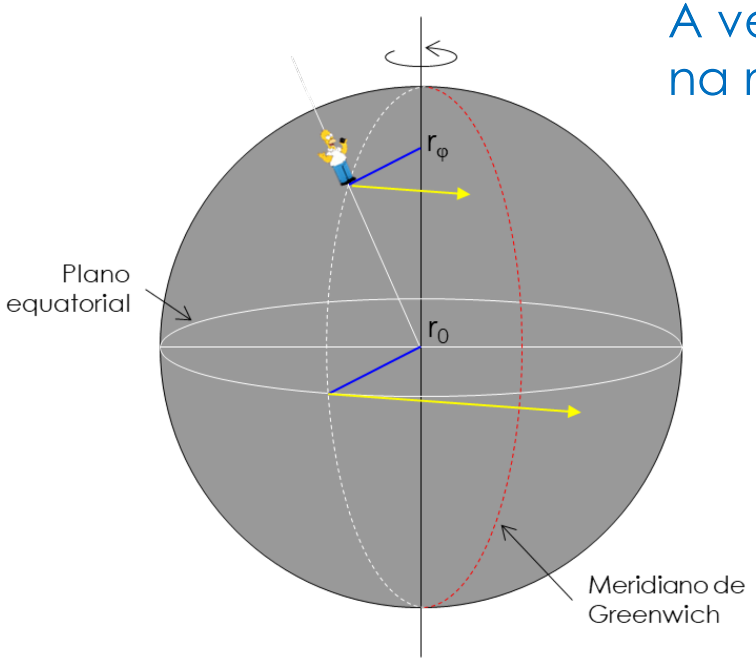


Por que os furacões giram no sentido anti-horário no hemisfério norte e no sentido horário no hemisfério sul ???

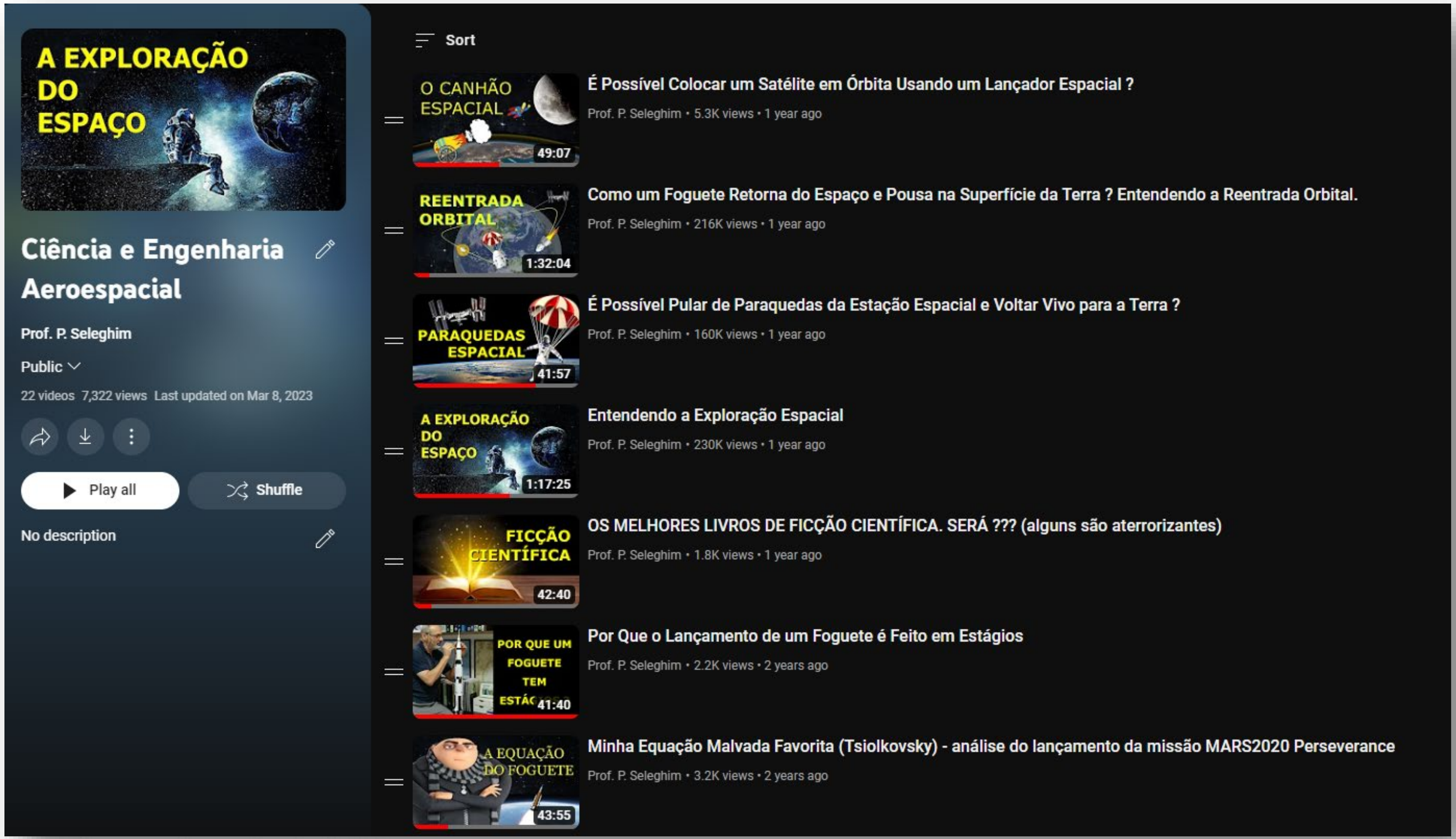


$$V = \omega \cdot r$$

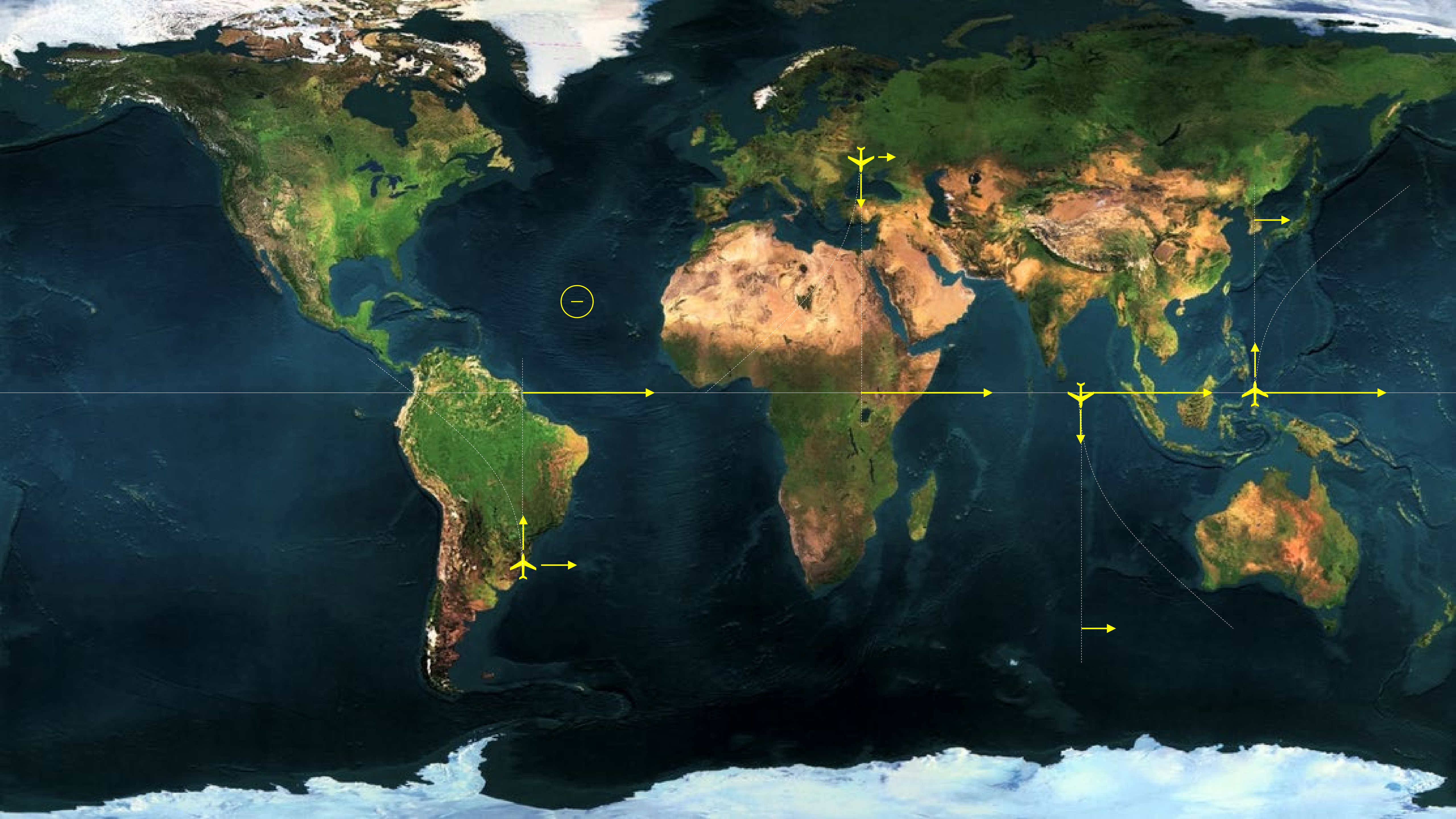
Por que os furacões giram no sentido anti-horário no hemisfério norte e no sentido horário no hemisfério sul ???

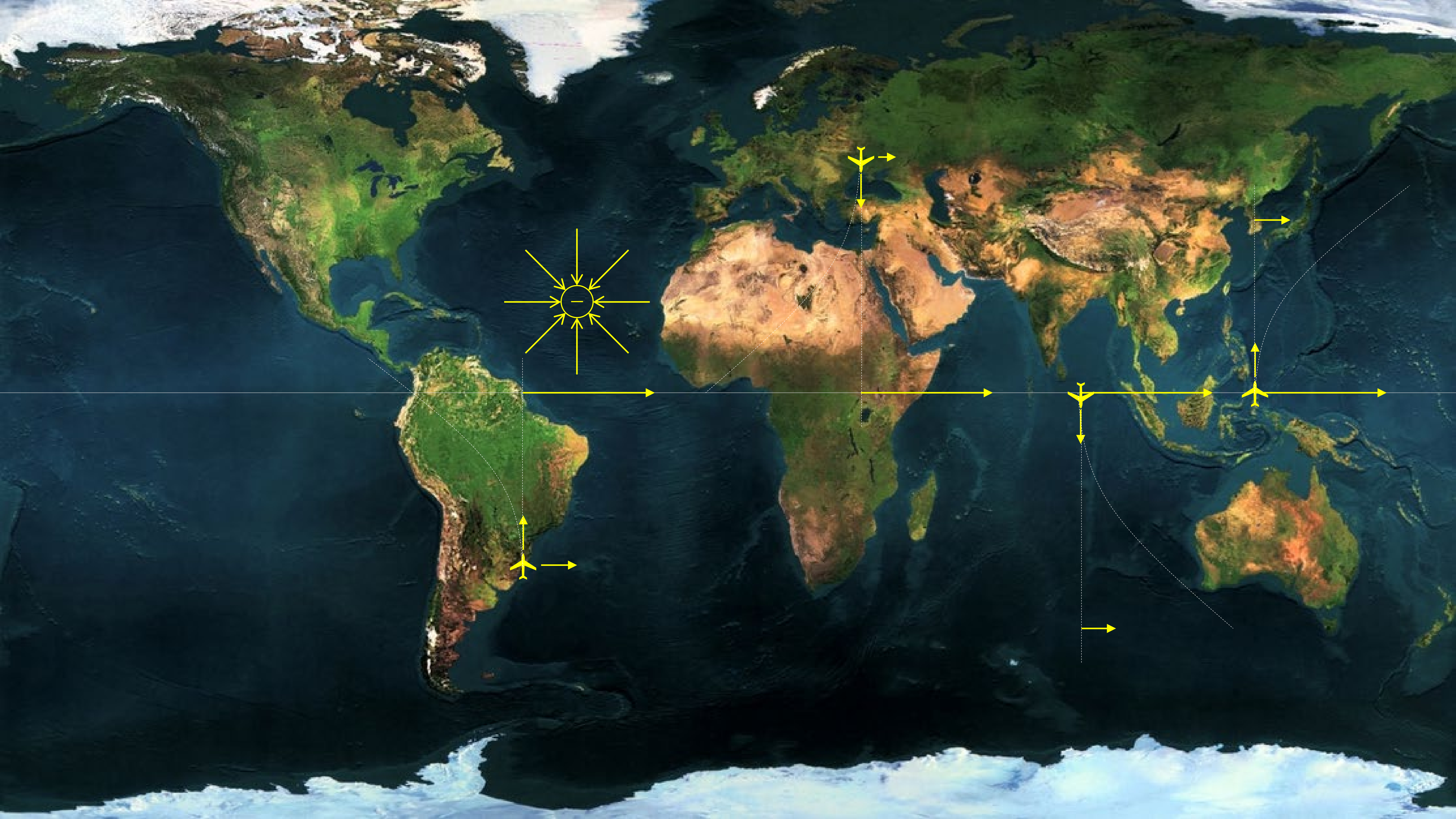


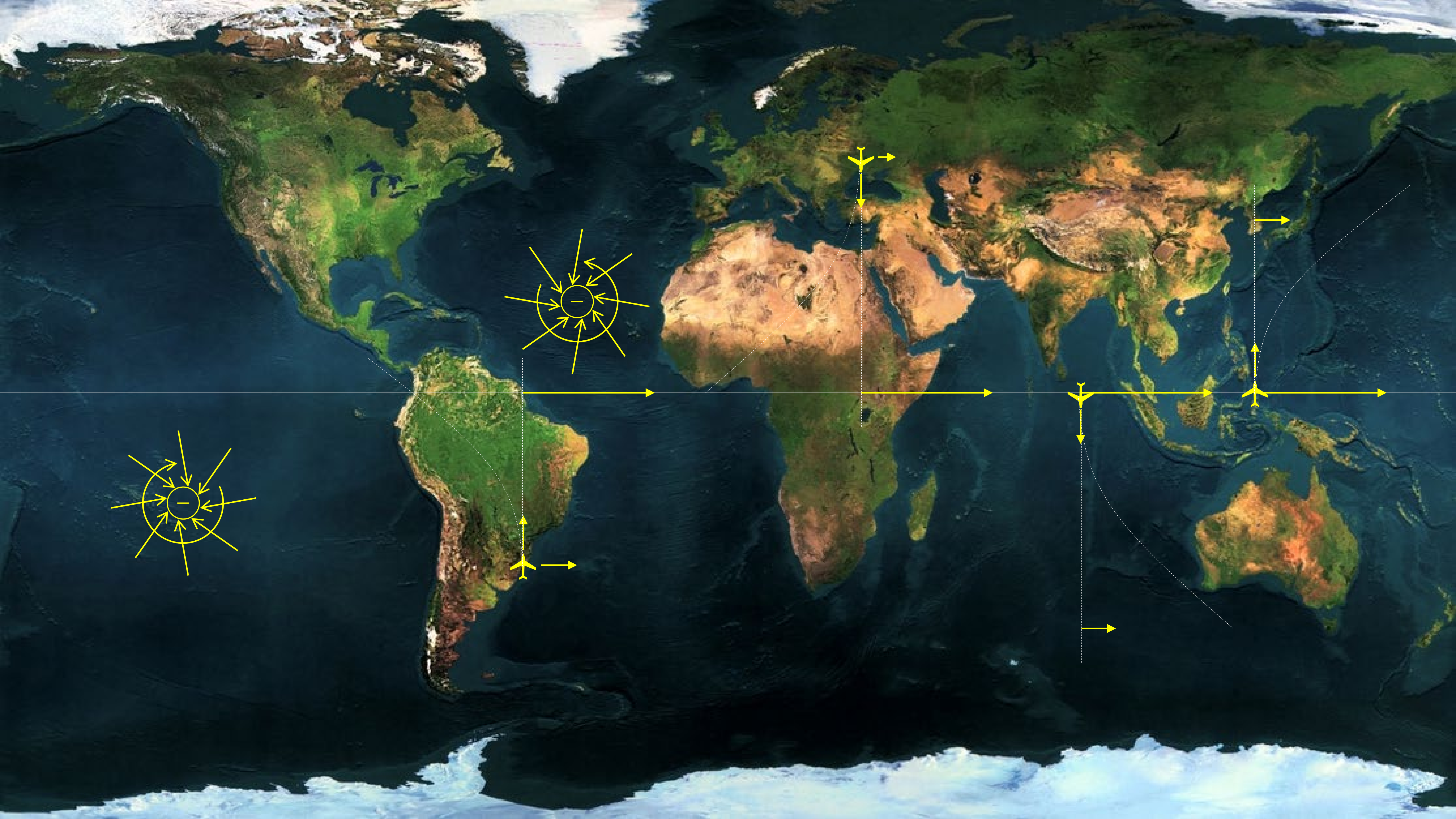
A velocidade tangencial é máxima ao longo do equador e decresce na medida em que a latitude aumenta...

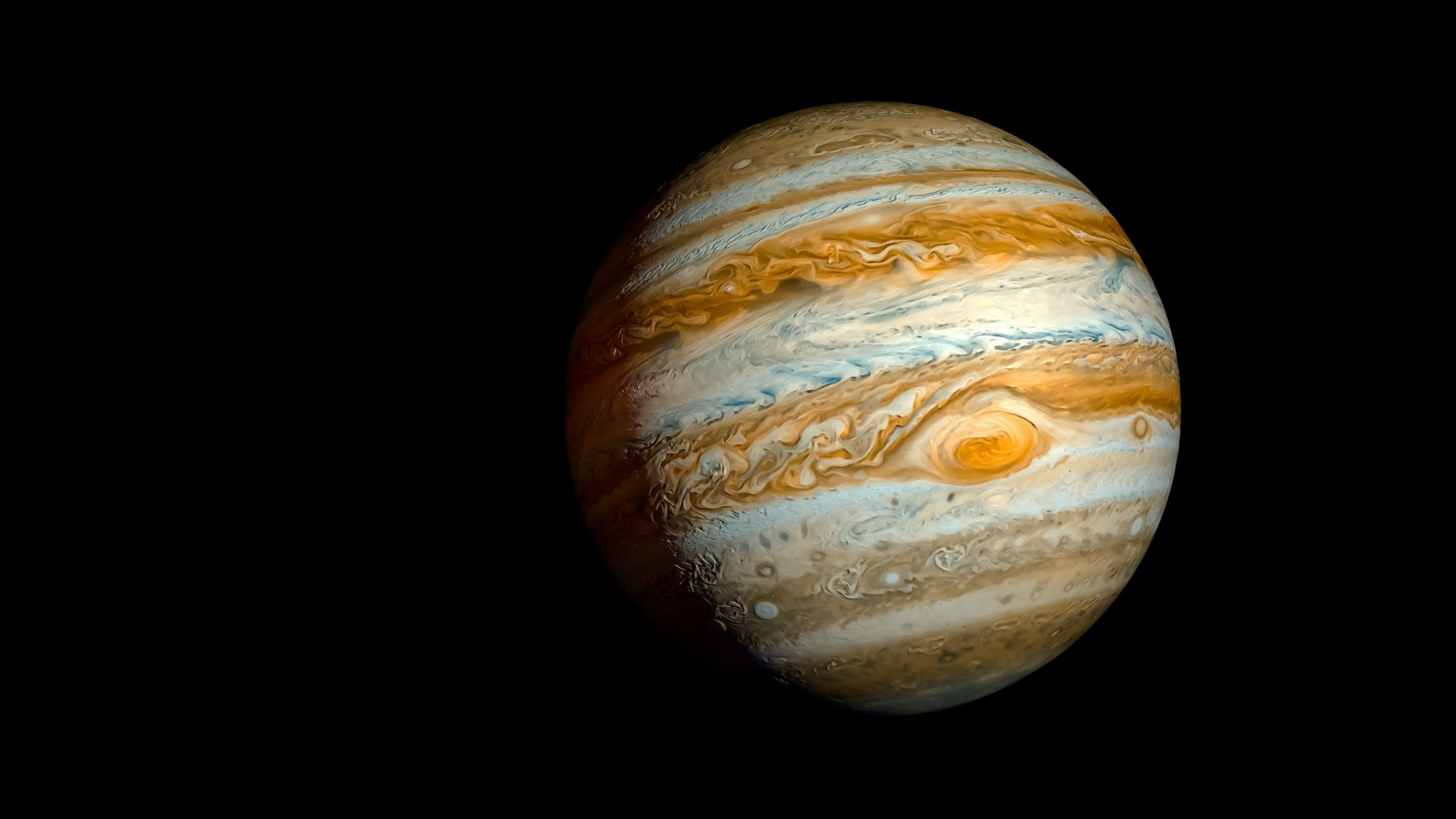


As questões postadas no Chat do YouTube serão respondidas ao final da aula.



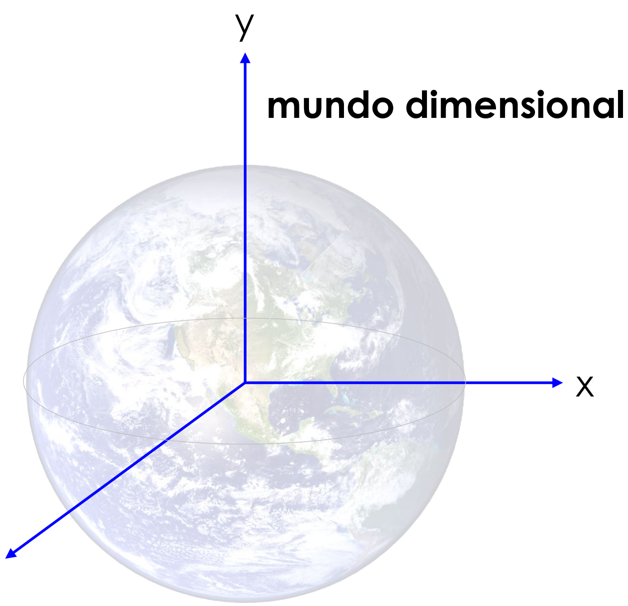




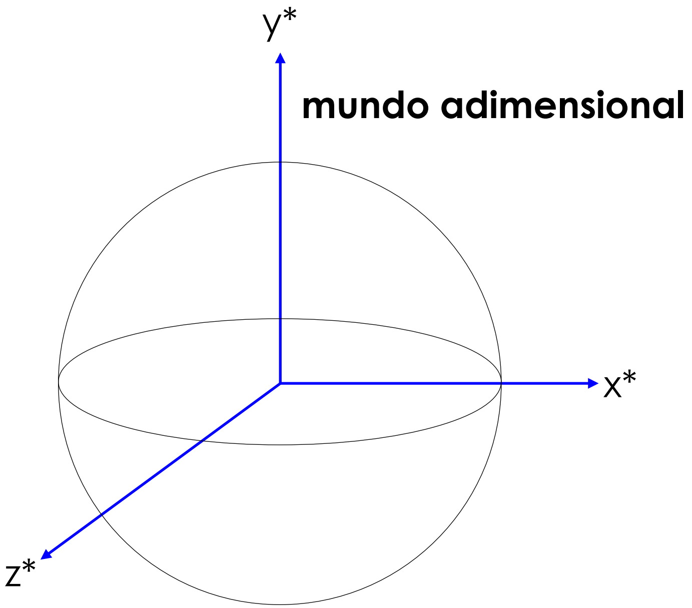


IDENTIFICAÇÃO DOS EFEITOS DA ESCALA DIMENSIONAL E DAS LEIS DE CONSERVAÇÃO...

Equações governantes



parâmetros de escala



Escala dimensional do fenômeno

Equações de inventário

As questões postadas no Chat do YouTube serão respondidas ao final da aula.