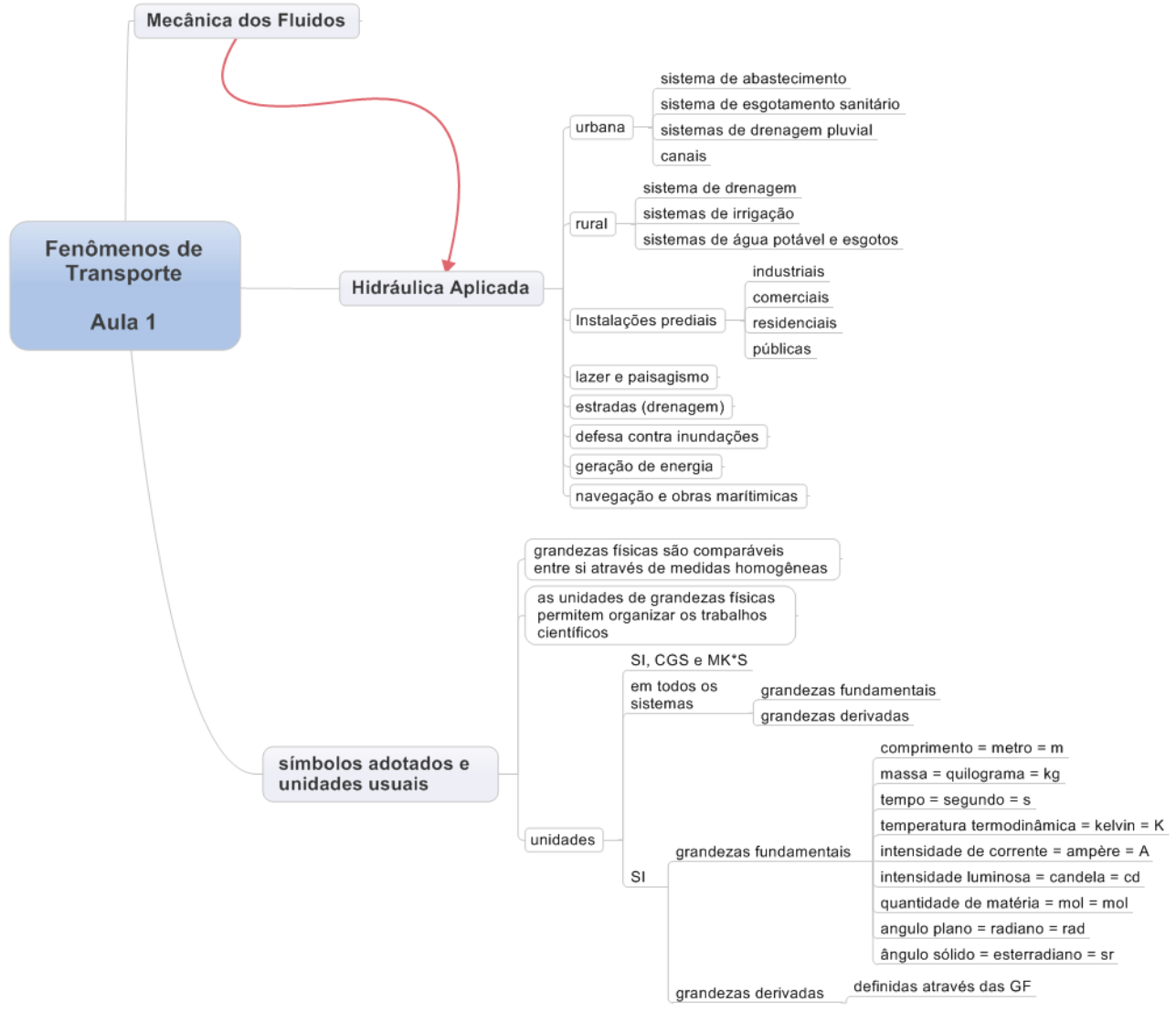


Fenômenos de Transporte

Aula 1 do segundo semestre
de 2012



Fenômenos de Transporte
Aula 1

Mecânica dos Fluidos

Hidráulica Aplicada

urbana

- sistema de abastecimento
- sistema de esgotamento sanitário
- sistemas de drenagem pluvial
- canais

rural

- sistema de drenagem
- sistemas de irrigação
- sistemas de água potável e esgotos

Instalações prediais

- industriais
- comerciais
- residenciais
- públicas

lazer e paisagismo

estradas (drenagem)

defesa contra inundações

geração de energia

navegação e obras marítimas

símbolos adotados e unidades usuais

unidades

grandezas físicas são comparáveis entre si através de medidas homogêneas

as unidades de grandezas físicas permitem organizar os trabalhos científicos

SI, CGS e MK*S

em todos os sistemas

grandezas fundamentais

grandezas derivadas

SI

grandezas fundamentais

- comprimento = metro = m
- massa = quilograma = kg
- tempo = segundo = s
- temperatura termodinâmica = kelvin = K
- intensidade de corrente = ampère = A
- intensidade luminosa = candela = cd
- quantidade de matéria = mol = mol
- ângulo plano = radiano = rad
- ângulo sólido = esterradiano = sr

grandezas derivadas

definidas através das GF

Para calcularmos a aceleração da gravidade pode-se recorrer a fórmula:

$$g = 980,616 - 2,5928 \times \cos 2\varphi + 0,0069 \times (\cos 2\varphi)^2 - 0,3086 \times H$$

φ = latitude em graus

H = altitude em quilômetros

g = aceleração da gravidade em cm/s

Em São Paulo a latitude é 24 graus S e altitude de 800 m o que resulta em $g = 9,78637 \text{ m/s}^2$, portanto, para a realidade latino-americana parece que a melhor aproximação para o valor de g é 9,79 ou 9,8 m/s^2 .

Propriedades dos fluidos, conceitos

Fluidos são substâncias cujas moléculas têm a propriedade de se mover, umas em relação as outras, sob a ação de forças de mínima grandeza.

Primeira classificação: líquidos e gases (ou vapores). Os líquidos têm uma superfície livre , e uma determinada massa de um líquido a uma mesma temperatura, ocupa só um determinado volume de um recipiente que não transborda. Os gases (ou vapores) não apresentam superfície livre e tão pouco têm um volume próprio, isto porque ocupam sempre o volume que lhe é oferecido..

Massa específica, densidade relativa (ou massa específica relativa) e peso específico

Massa específica = massa de um fluido em uma unidade de volume, portanto:

$$\rho = \frac{m}{V} \rightarrow [\rho]_{SI} = \frac{kg}{m^3}$$

Observação: a massa específica máxima da água, que é 1000 kg/m³, é obtida na temperatura de 3,98 °C e é considerada a massa específica padrão dos líquidos.

Peso específico de um fluido = peso da unidade de volume desse fluido

$$\gamma = \frac{G}{V} = \frac{m \times g}{V} = \rho \times g \rightarrow [\gamma]_{SI} = \frac{N}{m^3}$$

Densidade relativa ou massa específica relativa de um dados fluido é a relação entre a massa específica desse fluido e a massa específica padrão.

$$\rho_r = \frac{\rho}{\rho_{\text{padrão}}}$$

Para líquidos a massa específica padrão é a massa específica da água obtida na temperatura de 3,98°C, ou seja:

$$\rho_{r_{\text{líquidos}}} = \frac{\rho}{1000}$$

Para os gases a massa específica padrão é a do ar nas CNPT (Condições Normais de Temperatura (**20°C**) e Pressão (1 atm) e a mesma pode ser obtida pela equação de Clapeyron modificada.

$$p \times V = n \times R \times T = \frac{m}{M} \times R \times T$$

$$\therefore p \times \frac{V}{m} = \frac{R}{M} \times T \Rightarrow \frac{p}{\rho} = R_{\text{gás}} \times T$$

$$\text{ar} \Rightarrow R_{\text{ar}} = 287 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2 \times \text{K}}$$

Vamos calcular

Compressibilidade = a propriedade que têm os corpos de reduzir seus volumes sob a ação de pressões externas. Considerando a lei de conservação de massa, um aumento da pressão corresponde a um aumento de massa específica, ou seja, uma diminuição de volume, portanto:

$$dV = -\alpha \times V \times dp \rightarrow \text{equação 1}$$

α é o coeficiente de compressibilidade

V é o volume inicial

dp é a variação de pressão

O inverso de α é ε ($\varepsilon = 1/\alpha$), denominado **módulo de elasticidade de volume**. Por outro lado, sabemos que:

$$m = \rho \times V = \text{constante}$$

\therefore derivando temos:

$$0 = \rho \times dV + V \times d\rho \Rightarrow V = -\rho \times \frac{dV}{d\rho}$$

Substituindo a informação anterior na equação 1, temos:

$$dV = \frac{1}{\varepsilon} \times \frac{\rho \times dV}{d\rho} \times dp$$

$$\therefore \frac{\varepsilon}{\rho} = \frac{dp}{d\rho} \rightarrow \text{equação 2}$$

Verificamos diretamente da equação 2, que o módulo de elasticidade de volume tem dimensões de pressão.

Para os líquidos, ele varia muito pouco com a pressão, entretanto, varia apreciavelmente com a temperatura. Os gases tem o módulo de elasticidade de volume muito variável com a pressão e com a temperatura.

Suponhamos que certa transformação de um gás se dê a uma temperatura constante e que a mesma obedeça à lei de Boyle:

$$\frac{p}{\rho} = \text{constante} \Rightarrow \frac{dp}{d\rho} = \frac{p}{\rho} \therefore \text{pela equação 2, temos:}$$

$$\varepsilon = p \rightarrow \text{equação 3}$$

O resultado da equação 3 pode ser assim escrito: “quando um gás se transforma segundo a lei de Boyle, o seu módulo de elasticidade de volume iguala-se à sua pressão, a cada instante.”

Para os líquidos, desde que não haja grandes variações de temperatura, pode considerar o módulo de elasticidade de volume constante. Então a equação 2 pode ser assim integrada:

$$\ln \frac{\rho}{\rho_0} = \frac{1}{\varepsilon} \times (p - p_0) \rightarrow \text{equação 4}$$

A equação 4 expressa a variação da massa específica com a pressão. Como essa variação é muito pequena, pode-se escrever a expressão aproximada:

$$\frac{\rho - \rho_0}{\rho_0} = \alpha \times (p - p_0)$$
$$\therefore \rho = \rho_0 \times [1 + \alpha \times (p - p_0)]$$

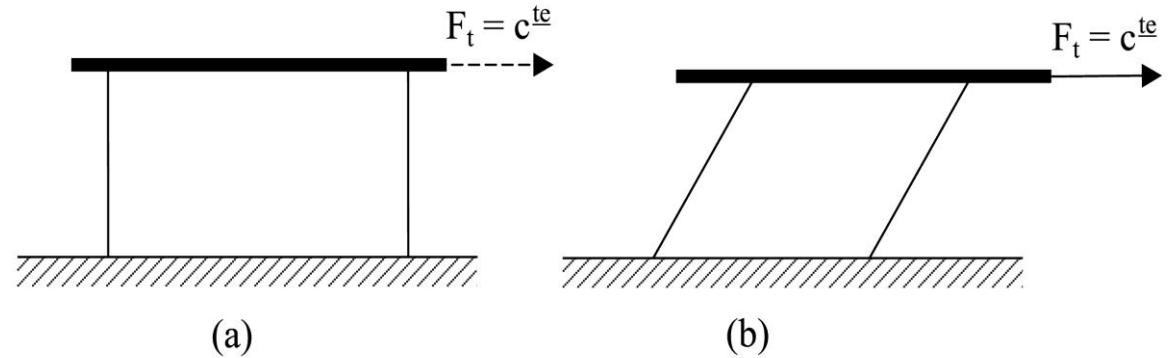
Nos fenômenos em que se pode desprezar α , tem-se $\rho = \rho_0$, que é a condição de incompressibilidade.

Normalmente a compressibilidade da água é considerada apenas no problema do golpe de ariete.

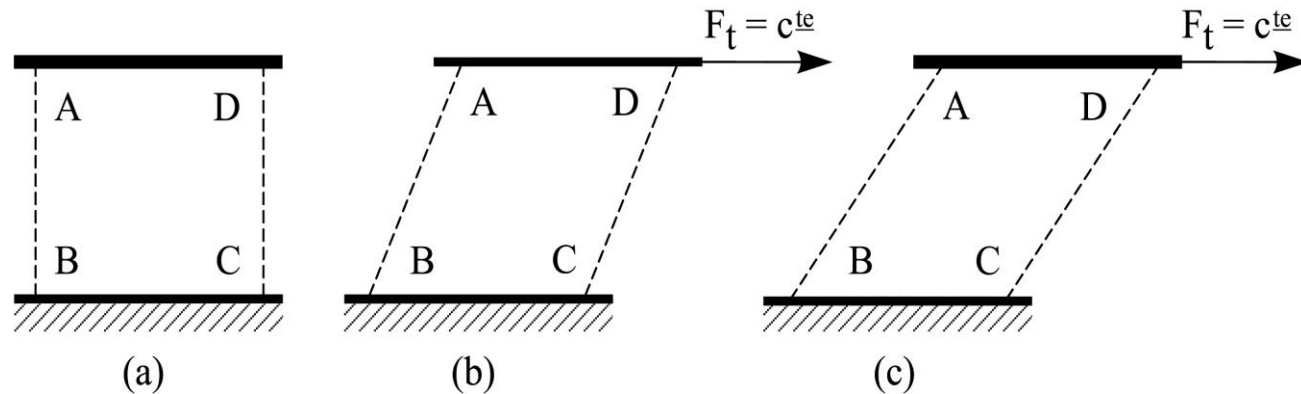
Segunda classificação dos fluidos: compressíveis e incompressíveis.

sólido

Viscosidade dinâmica, cinemática e fluido ideal ou perfeito.



Sólido se deforma angularmente mas pode assumir nova posição de equilíbrio



Líquido se deforma continuamente

líquido

Experiência das duas placas

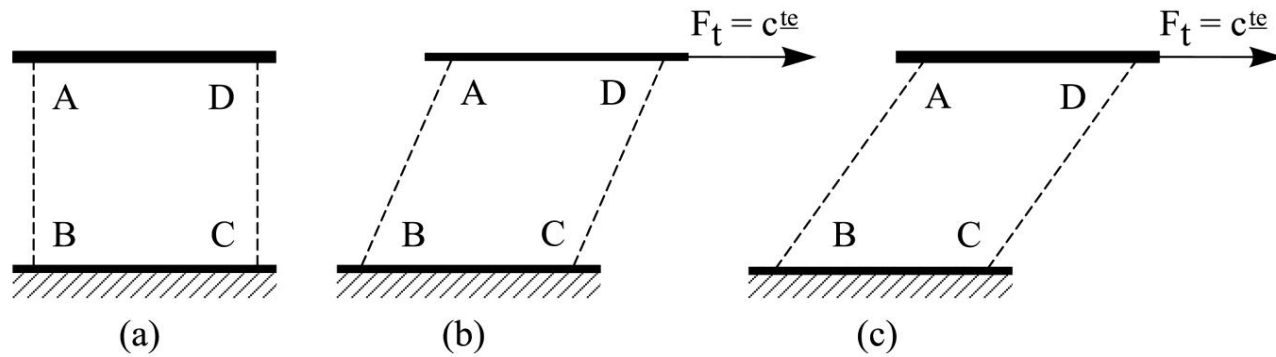
9/8/2006 - v4

outro conceito de fluido



“Fluido é uma substância que se deforma continuamente, quando submetido a uma força tangencial constante, não atinge uma nova configuração de equilíbrio estático.”

(Brunetti, p.2)



princípio de aderência

As partículas fluidas em contato com uma superfície sólida apresentam a velocidade da superfície



Na experiência das duas placas observa-se que após um intervalo de tempo (dt) a placa superior adquire uma velocidade constante.





Sendo $v = \text{cte}$, pode-se afirmar que a somatória das forças na placa móvel é igual a zero, portanto surge uma força de mesma intensidade, mesma direção, porém sentido contrário a F_t . Para entender esta força que surge, vamos estudar a tensão de cisalhamento.



tensão de cisalhamento

Experiência das duas placas

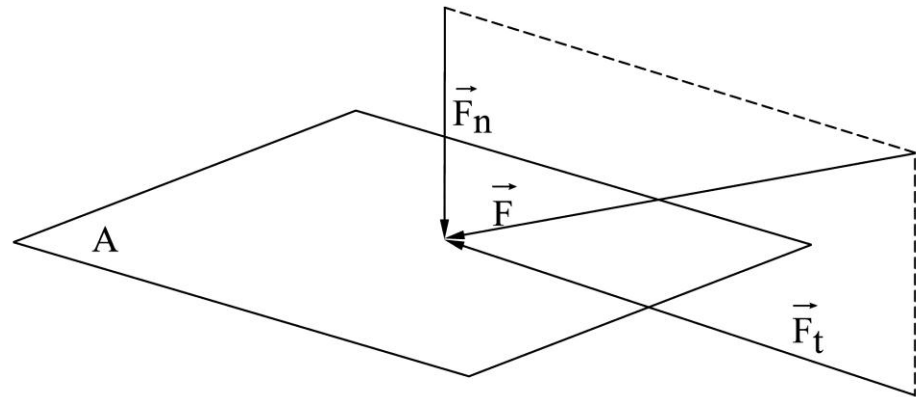
8/9/2006 - v7



Uma força aplicada a uma área “A” pode ser decomposta.

Define-se tensão de cisalhamento:

$$\tau = \frac{F_t}{A}$$



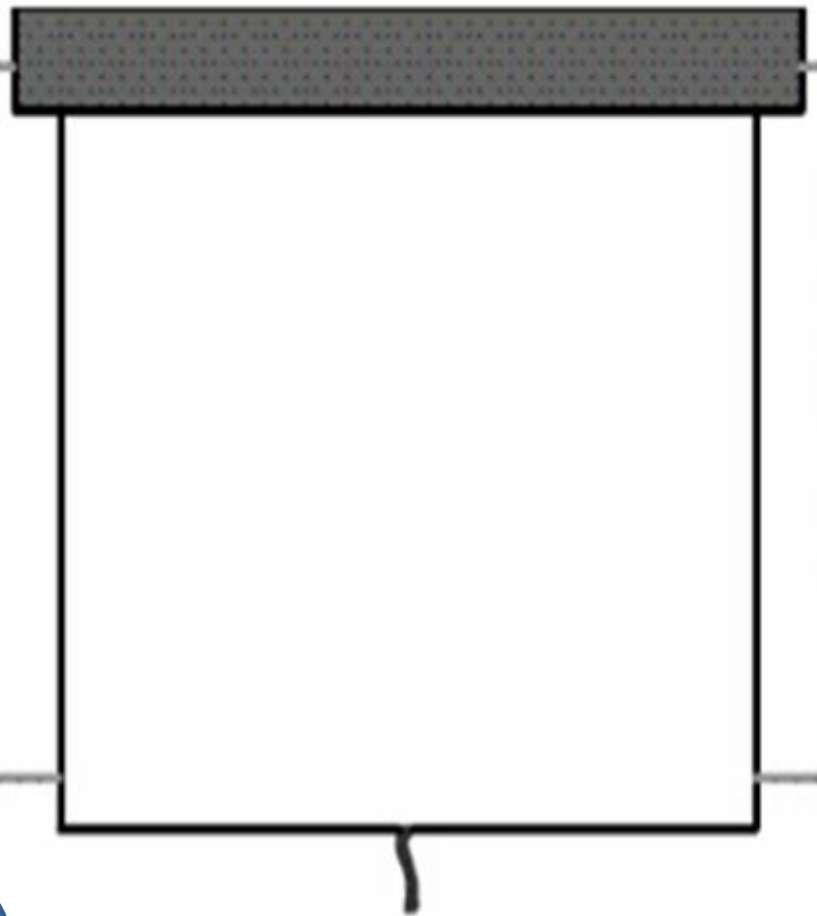
Unidades de tensão de cisalhamento

$$\text{Pa} = \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \rightarrow \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2} \rightarrow \frac{\text{dina}}{\text{cm}^2}$$

$$1 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2} = 9,8 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 9,8 \times 10^5 \frac{\text{dina}}{\text{m}^2} = 98 \frac{\text{dina}}{\text{cm}^2}$$



COMO SE
CALCULA A
TENSÃO DE
CISALHAMENTO?



tensão de cisalhamento

**Experiência
das duas placas**

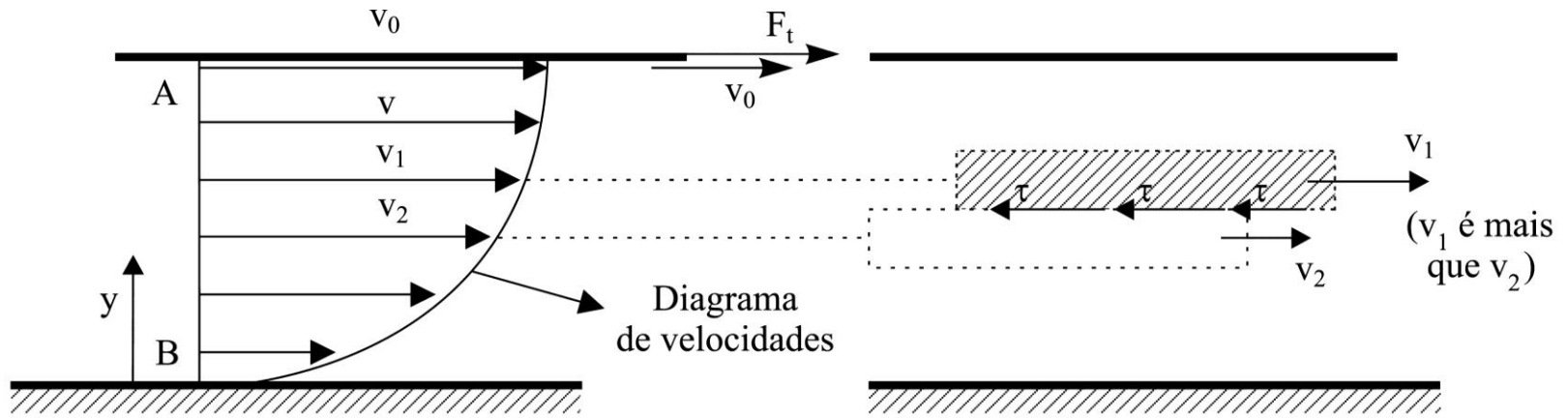
8/9/2006 - v6

será calculada pela

lei de Newton da viscosidade

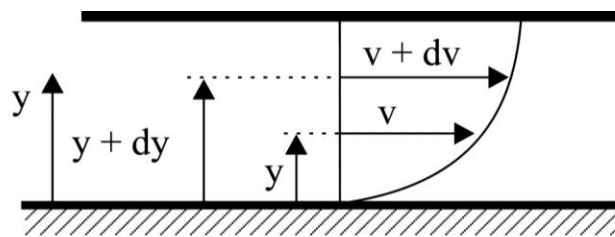
A tensão de cisalhamento é diretamente proporcional ao gradiente de velocidade.

Gradiente de velocidade



(a)

(b)



(c)

$$\frac{dv}{dy}$$

Unidade do gradiente

$$\left[\frac{dv}{dy} \right] = t^{-1} \therefore \left[\frac{dv}{dy} \right] = s^{-1} = \text{hz}$$

Lei de Newton da viscosidade

$$\tau = \alpha \frac{dv}{dy}$$

Os fluidos que obedecem esta lei são considerados fluidos newtonianos.

Viscosidade absoluta ou dinâmica – (μ)

É a constante de proporcionalidade da
lei de Newton da viscosidade



PORTANTO:

$$\tau = \mu \frac{dv}{dy}$$

$\mu \rightarrow$ viscosidade absoluta
ou dinâmica

Unidades da viscosidade absoluta

$$[\mu] = \frac{F \times T}{L^2} \rightarrow \text{equação dimensional}$$

$$\text{SI} \rightarrow [\mu] = \frac{N \times s}{m^2}$$

$$\text{MK}^* \text{S} \rightarrow [\mu] = \frac{\text{kgf} \times s}{m^2}$$

$$\text{CGS} \rightarrow [\mu] = \frac{\text{dina} \times s}{\text{cm}^2} = \text{poise}$$



$$\tau = \mu \frac{dv}{dy}$$

$\mu \rightarrow$ viscosidade absoluta
ou dinâmica





CONCEITO DE
FLUIDO IDEAL OU
PERFEITO

Fluido ideal é
aquele na qual a
viscosidade é nula,
isto é, entre suas
moléculas não se
verificam forças
tangenciais de
atrito.

VISCOSIDADE
CINEMÁTICA (ν)



$$\nu = \frac{\mu}{\rho}$$



Unidades da viscosidade cinemática

$$[\nu] = \frac{L^2}{T} \rightarrow \text{equação dimensional}$$

$$\text{SI} \rightarrow [\nu] = \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$\text{MK}^* \text{S} \rightarrow [\nu] = \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$\text{CGS} \rightarrow [\mu] = \frac{\text{cm}^2}{\text{s}} = \text{stoke}$$