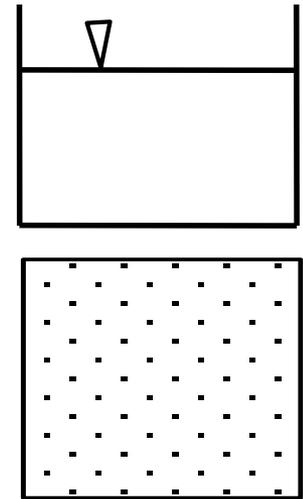


Fluidos

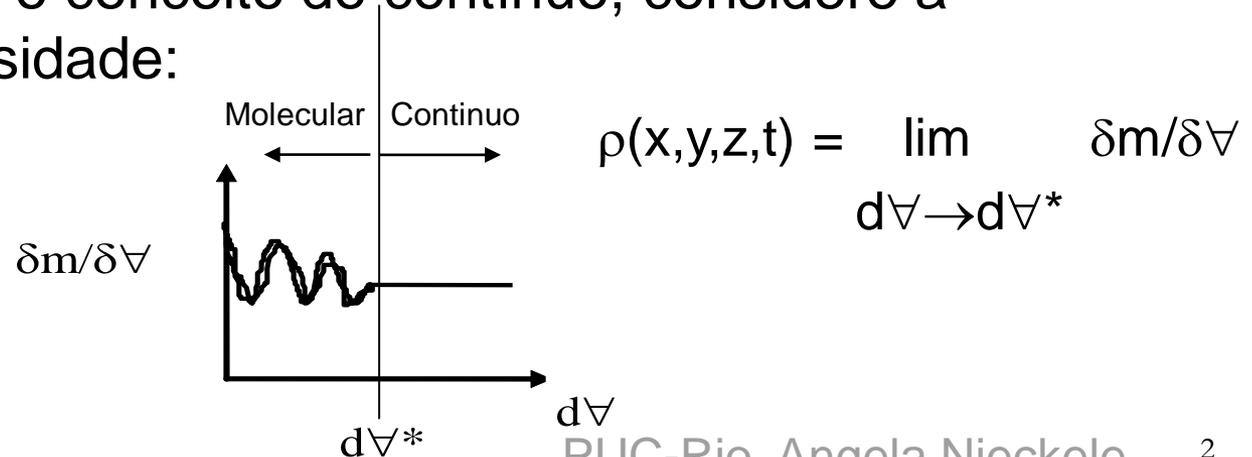
- ❑ *Líquidos*: força coesiva entre moléculas é forte.
Possui superfície livre
- ❑ *Gases*: força coesiva entre moléculas é fraca.
Ocupa todo recipiente.



- Caracterização dos Fluidos quanto ao seu comportamento sob esforços normais compressivos:
 - ❑ Compressíveis: quando há variação apreciável de volumes devido à compressão. Gases em geral se comportam assim.
 - ❑ Incompressíveis: quando a variação do volume é pequena para grandes compressões. A maioria dos líquidos se comporta desta forma.

- Para entender o comportamento da matéria seria necessário considerar cada molécula, conhecendo a história de cada uma, velocidade, aceleração e modos de interação. Isto é inviável sem um tratamento estatístico, devido ao elevado número de moléculas.
- Na maioria das aplicações da engenharia, desejamos estudar uma quantidade de volume de fluido contendo um grande número de moléculas → hipótese do contínuo: admite-se que os fluidos são meios contínuos, esquecendo-se da sua estrutura molecular.
- Para demonstrar o conceito do contínuo, considere a propriedade densidade:

□ ex: densidade:



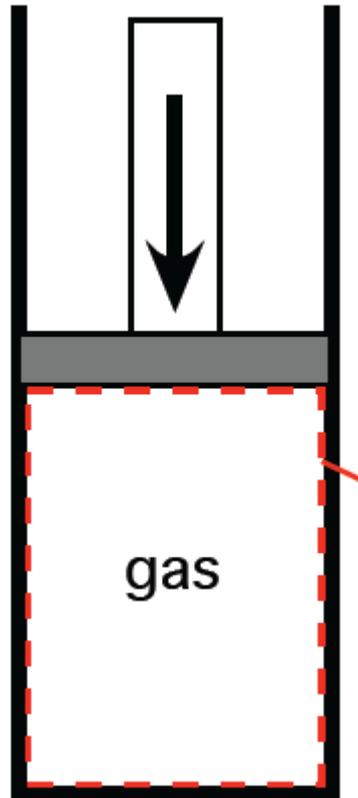
- A hipótese do **contínuo** falha quando as dimensões envolvidas forem da ordem do caminho médio livre entre colisões moleculares:
 - Distância média entre colisões de moléculas do ar nas CNTP:
 - $1,6 \times 10^{-5}$ cm
 - ex. arraste em satélites. A Teoria cinética dos gases trata desta área.

- Conceito do contínuo está associado com o conceito de campo, i.e., todas as grandezas são definidas no espaço e no tempo: Ex: $V(x,y,z,t)$; $P(x,y,z,t)$; etc.
 - Não importa qual a partícula que está no ponto em um determinado instante de tempo, mas sim em que condições a partícula que passar pelo ponto naquele instante possui.

Métodos de Análise: Sistema *versus* Volume de Controle

■ Sistema

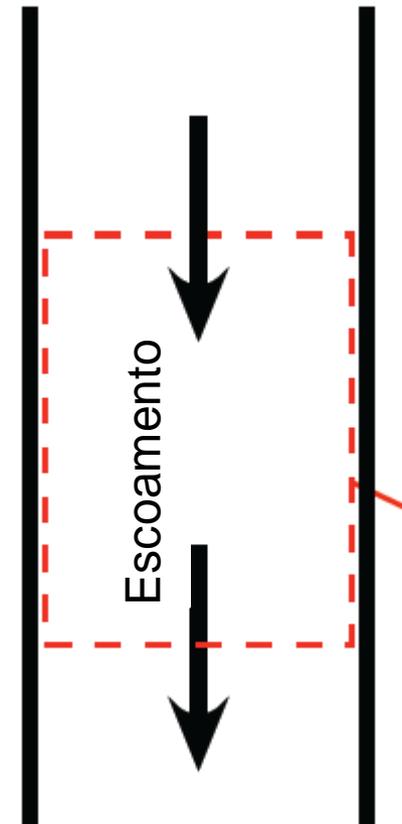
massa constante



Fronteira
do sistema

■ Volume de controle

região fixa do espaço



Fronteira
do volume
de controle

Técnicas Básicas de Análise

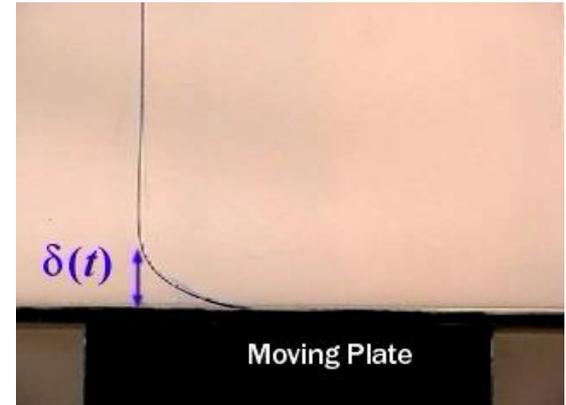
- **Formulação Integral:** equações de conservação são aplicadas a um volume de controle finito
 - menor esforço; resultados globais.
 - ótima ferramenta quando se deseja valores médios e globais.
 - Não fornece detalhes do escoamento.
 - exemplo: força de arraste agindo sobre um objeto
- **Formulação Diferencial:** equações de conservação são aplicadas a um volume de controle infinitesimal
 - maior esforço; resultados pontuais.
 - soluções detalhadas, porém complicadas
 - exemplo: distribuição de pressão ao longo da superfície de um objeto

Fluidos em Movimento

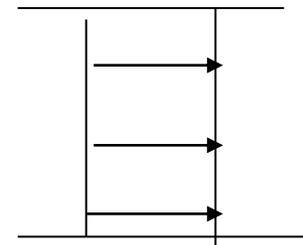
- O escoamento dos fluidos é determinado a partir do conhecimento da velocidade em cada ponto do escoamento, isto é, a partir do campo das diversas grandezas relevantes.
- **Tipos de Campos:**
 - Campo escalar:
 - massa específica: $\rho(\mathbf{r}, t)$; temperatura: $T(\mathbf{r}, t)$; pressão $p(\mathbf{r}, t)$
 - Campo vetorial:
 - velocidade: $\mathbf{V}(\mathbf{r}, t)$; aceleração: $\mathbf{a}(\mathbf{r}, t)$; força $\mathbf{F}(\mathbf{r}, t)$
 - Campo Tensorial:
 - tensão: $\boldsymbol{\sigma}(\mathbf{r}, t)$; gradiente de velocidade: $\nabla \mathbf{V}(\mathbf{r}, t)$;
taxa de deformação $\mathbf{D}(\mathbf{r}, t)$

Tipos de Escoamento

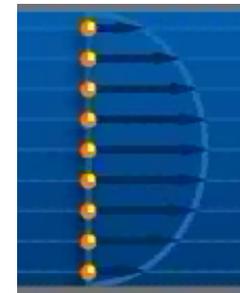
- Regime permanente:
 - $V = V(r)$; isto é $\partial(\) / \partial t = 0$
- Regime transiente:
 - $V = V(r, t)$ Caso geral: $\partial(\) / \partial t \neq 0$



- Escoamento uniforme: a velocidade é a mesma em qualquer ponto do escoamento

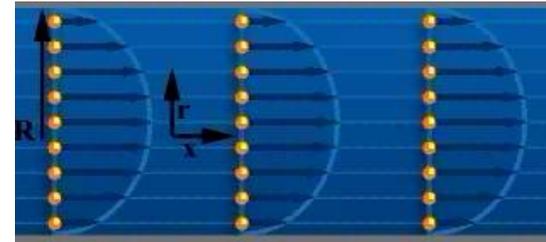
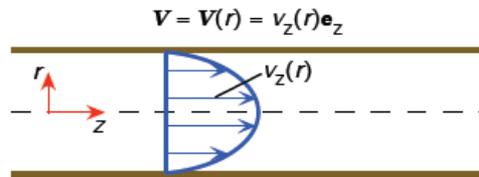


- Escoamento não uniforme: a velocidade varia de ponto para ponto do escoamento

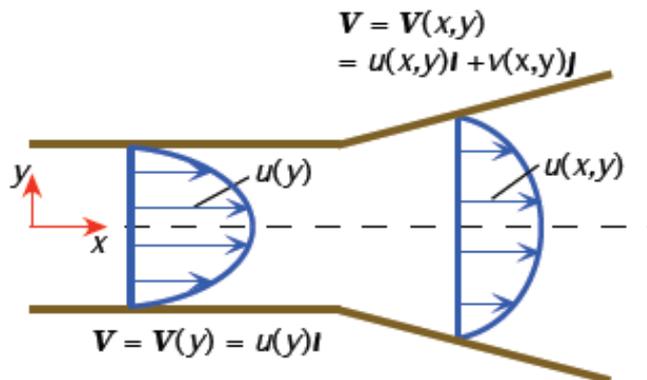


Dimensão

- Uni-dimensional: \mathbf{v} depende somente de uma coordenada espacial



- Bi-dimensional: \mathbf{v} depende somente de duas coordenadas espaciais

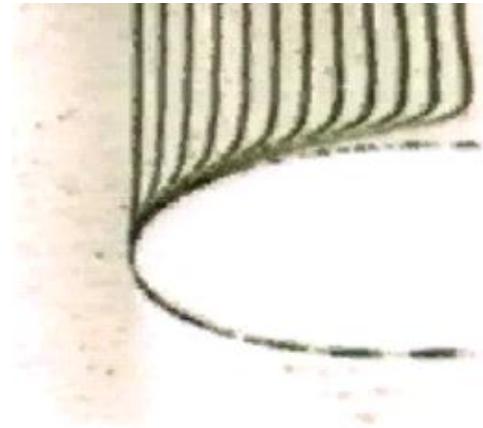


- Tri-dimensional: \mathbf{v} depende das três coordenadas espaciais, caso geral.

- ❑ Fluido perfeito, sem viscosidade:

$$\tau \approx 0 \quad (\dot{\gamma} \approx 0)$$

- ❑ Fluido viscoso : $\tau \neq 0$

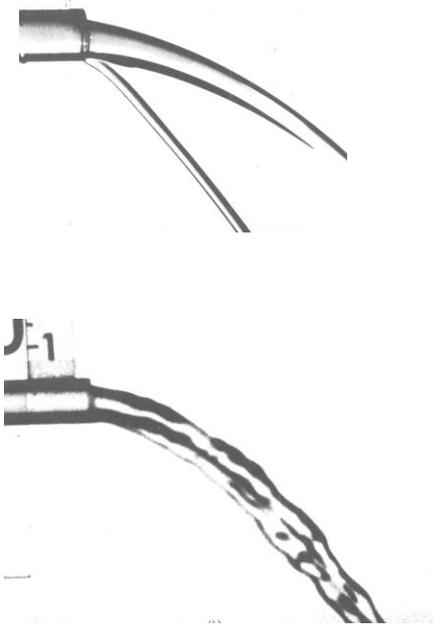


Caracterização dos Fluidos quanto ao seu comportamento sob esforços normais compressivos:

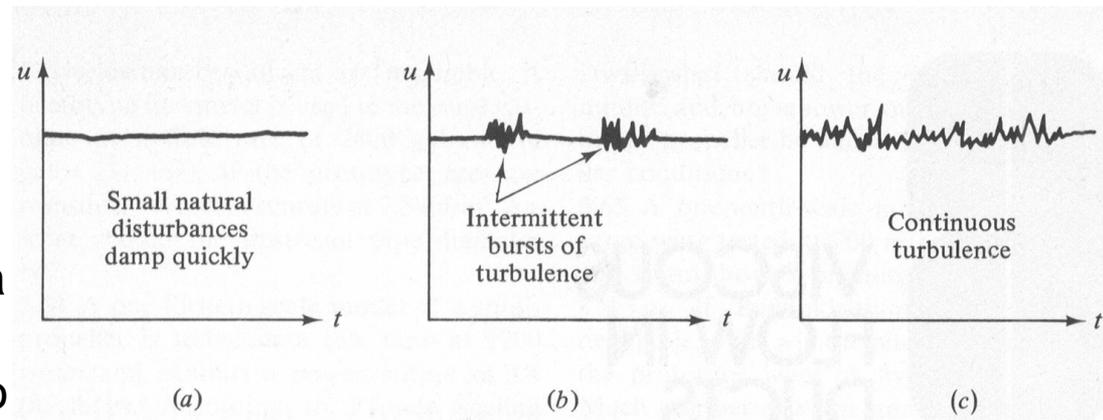
- ❑ Compressíveis: quando há variação apreciável de volumes devido à compressão. Gases em geral se comportam assim. $\rho \neq \text{constante}$ ($M > 0,3$), onde $M = V/c$ é o número de Mach; $c = \text{velocidade do som}$
- ❑ Incompressíveis: quando a variação do volume é pequena para grandes compressões. A maioria dos líquidos se comporta desta forma. $\rho \approx \text{constante}$

Regime de Escoamento:

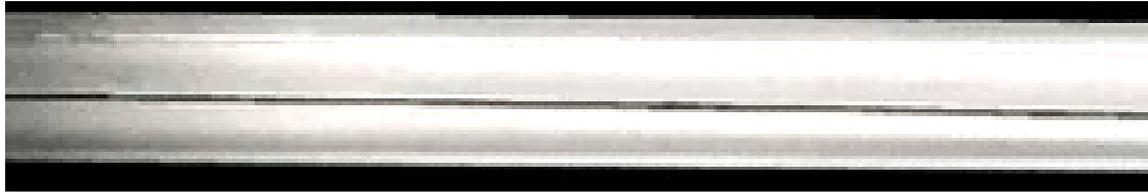
- Escoamento laminar: movimento regular
- Escoamento Turbulento: aparecem turbilhões no escoamento, causando um movimento de mistura. O turbilhamento provoca um regime não permanente. Porém o tempo característico de flutuação turbulenta \ll escala de tempo que define o regime permanente ou transiente



• Se o escoamento é laminar, eventuais perturbações serão amortecidas e desaparecerão (Fig. a). Durante a transição, picos esporádicos de turbulência surgirão (Fig. b). Durante o regime turbulento, o escoamento flutuará continuamente (Fig. c).



■ Experiência de Reynolds



Laminar:
filamento de corante não se mistura



Turbulento: o corante mistura rapidamente

O escoamento turbulento ocorre a altas velocidades. A transição é caracterizada pelo no. de Reynolds

$$\mathbf{Re} = \frac{\rho V D}{\mu}$$

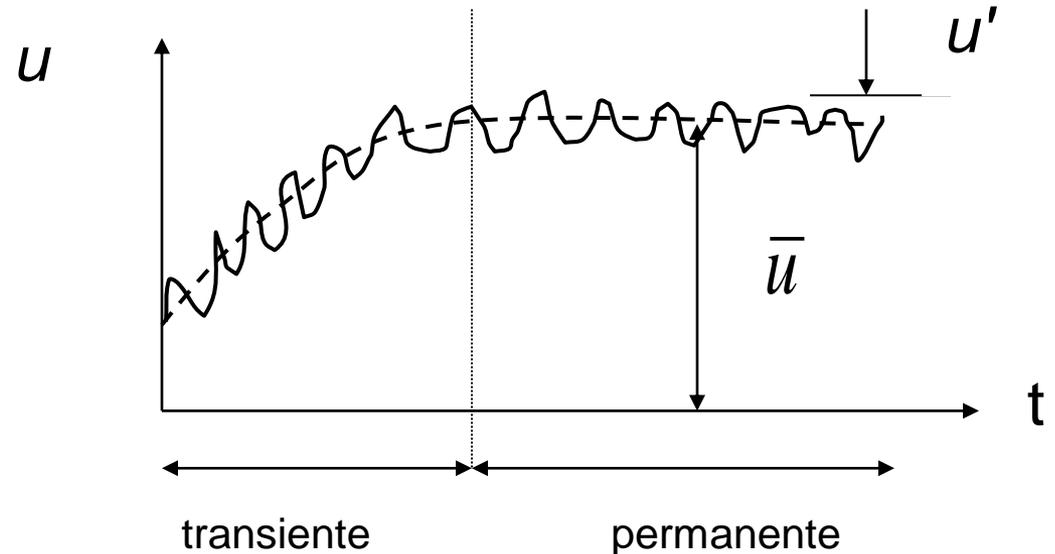
■ Reynolds altos → esc. turbulento

■ Reynolds baixo → esc. laminar



- A análise estatística baseia-se no fato de que o escoamento turbulento pode ser descrito por um valor médio e mais uma flutuação u' (muitas vezes da ordem de 1% a 10% de)

$$u = \bar{u} + u'$$



- Para o engenheiro, muitas vezes é suficiente conhecer o comportamento do valor médio.