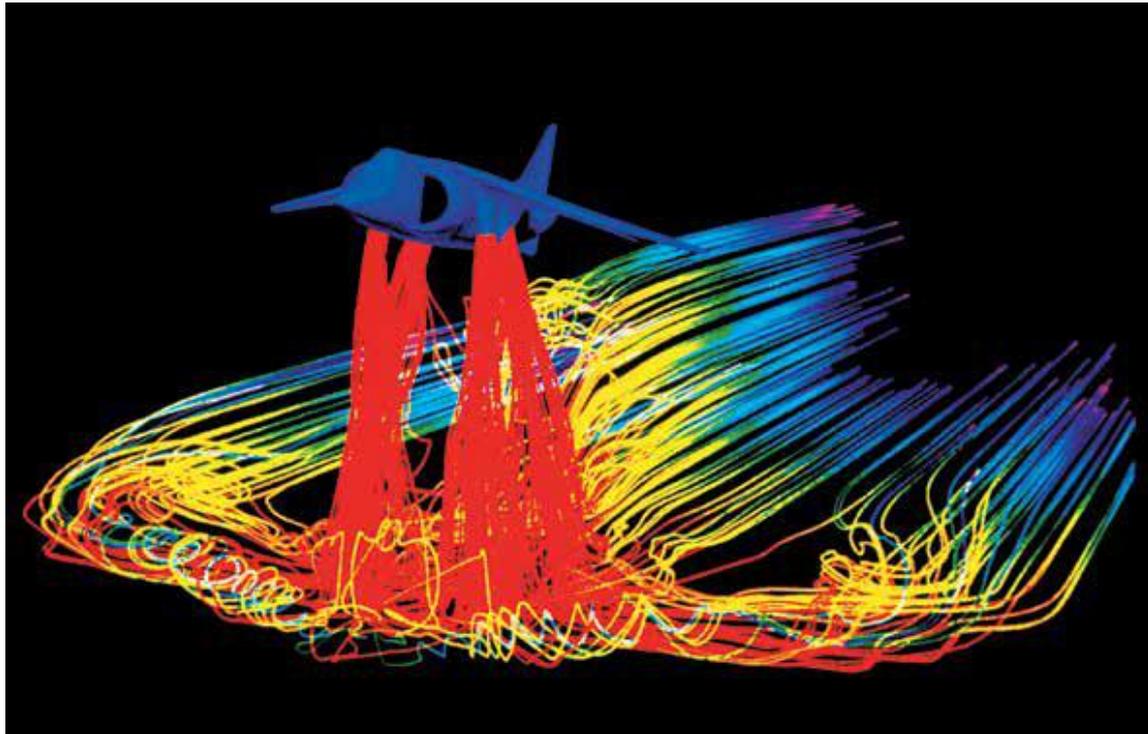


Introdução aos Fluidos em Movimento

Oscar Rodriguez

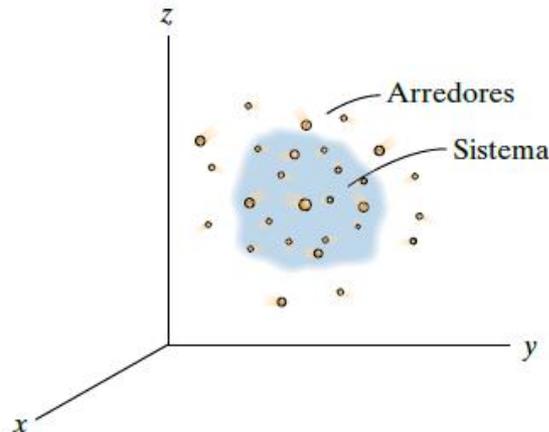
Universidade de São Paulo



Cinemática do Movimento de Fluidos:

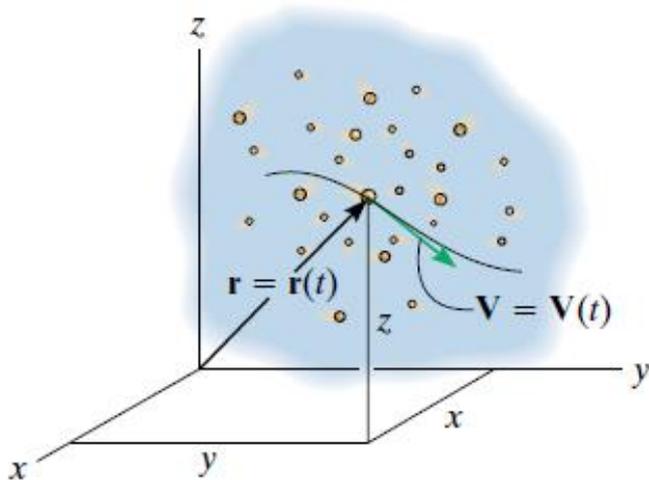
Cinemática é o estudo da geometria do escoamento; ou seja, ela oferece a descrição da posição, da velocidade e da aceleração de um sistema de partículas de fluido.

- ✓ Para definir completamente um escoamento, é preciso especificar a **velocidade** e a **aceleração** de cada partícula do fluido em cada ponto dentro do sistema e em cada instante do tempo. Na mecânica dos fluidos, existem duas maneiras de fazer isso
- ✓ Um **sistema** consiste em uma quantidade específica do fluido que está contido em uma região do espaço:



Descrição lagrangeana — Método do sistema

O escoamento dentro de um sistema de fluido pode ser definido "etiquetando-se" *cada partícula do fluido*



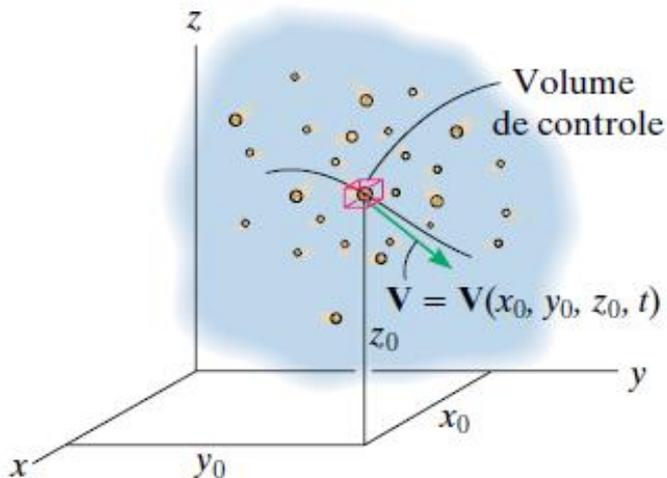
$$\mathbf{V} = \mathbf{V}(t) = \frac{d\mathbf{r}(t)}{dt}$$

A velocidade é *apenas uma função temporal*

A descrição lagrangeana do movimento acompanha uma *única* partícula do fluido enquanto se move pelo sistema.

Descrição euleriana — método do volume de controle

- ✓ A velocidade das partículas de fluido dentro de um sistema também pode ser descrita considerando-se um ponto fixo (x_0, y_0, z_0) rodeado por um volume diferencial de espaço.
- ✓ O volume no espaço através do qual as partículas escoam é chamado de ***volume de controle***, e o limite ou fronteira desse volume é a ***superfície de controle***
- ✓ Temos então um *campo de velocidade*, que é definido em função *tanto* do espaço, onde cada volume de controle está localizado, *quanto* do tempo



$$\mathbf{V}(x, y, z, t) = u(x, y, z, t)\mathbf{i} + v(x, y, z, t)\mathbf{j} + w(x, y, z, t)\mathbf{k}$$

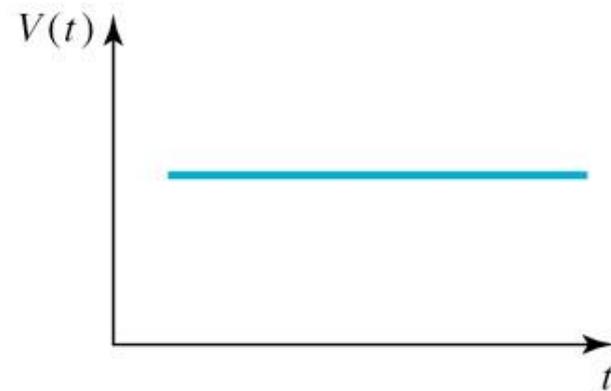
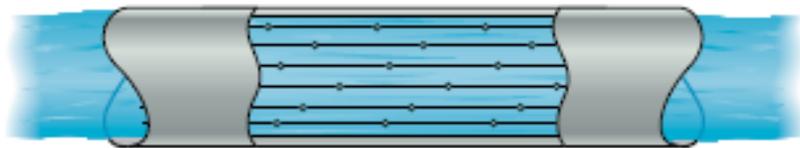
Na mecânica dos fluidos, geralmente é mais fácil usar uma descrição euleriana do que uma descrição lagrangeana para definir o escoamento

Tipos de escoamentos de fluidos

Classificação do escoamento em relação aos seus efeitos viscosos

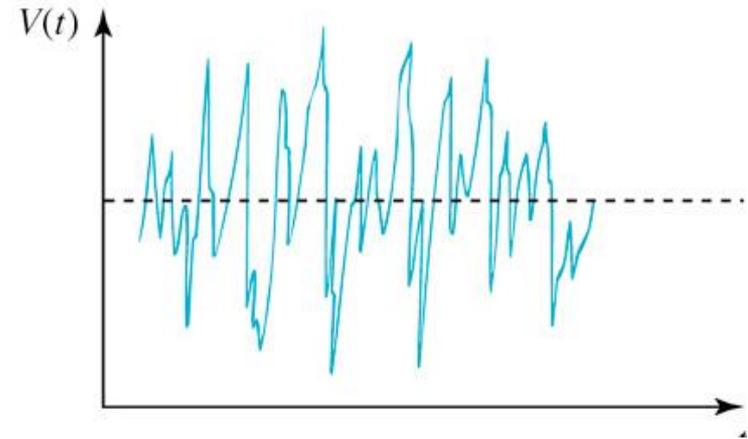
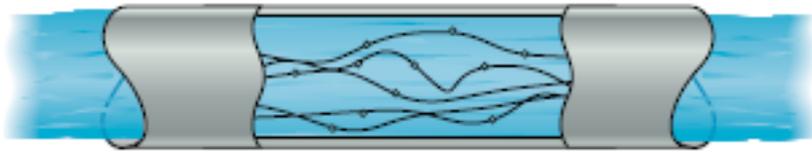
ESCOAMENTO LAMINAR

- ✓ Quando um fluido altamente viscoso escoar muito lentamente, as linhas de trajetória que as partículas seguem são uniformes e sem perturbação. As lâminas ou as camadas finas de fluido são “organizadas”. Uma camada desliza suavemente em relação a uma camada adjacente.



ESCOAMENTO TURBULENTO

- ✓ Aumentando-se a velocidade ou diminuindo-se a viscosidade, e as partículas de fluido podem então seguir linhas de trajetória erráticas, causando uma alta taxa de mistura dentro do fluido.

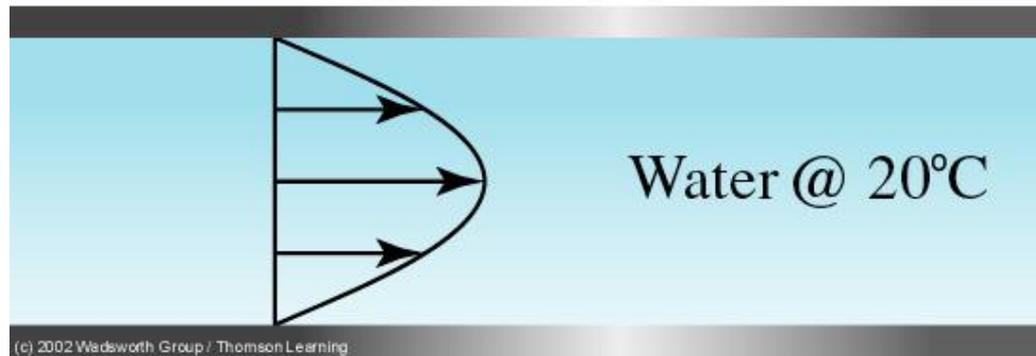


- ✓ Um dos motivos mais importantes para a classificação do escoamento dessa maneira é para determinar a quantidade de energia que o fluido perde devido aos efeitos viscosos.
- ✓ Para tubulação, a transição do regime laminar para o turbulento se inicia quando o Número de Reynolds é maior ou igual a 2000

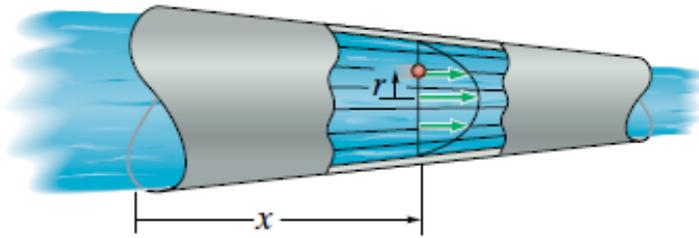
$$Re = \frac{\rho VD}{\mu}$$

Exemplo 1

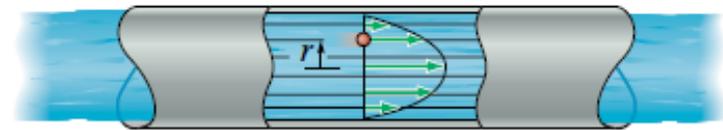
A tubulação de 2 cm de diâmetro da Fig. é usada para transportar água a 20 °C. Qual é a velocidade média máxima que pode existir na tubulação, para a qual é garantido um escoamento laminar?



Classificação do escoamento baseada no número de dimensões



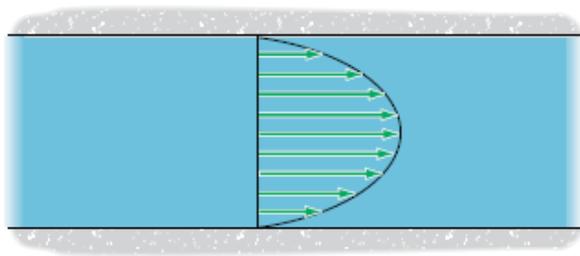
Escoamento bidimensional
Velocidade é uma função de x e r



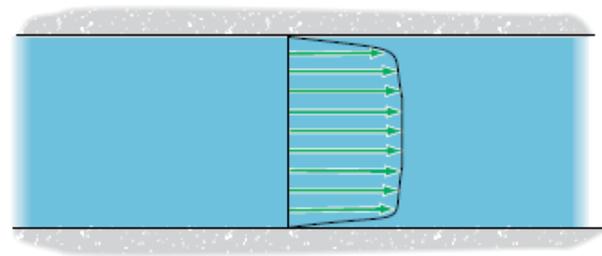
Escoamento unidimensional
Velocidade é função de r

Perfis de velocidade

Se a velocidade depender de somente uma coordenada, dizemos perfil de velocidade. Se depender de mais de uma coordenada, dizemos campo de velocidade.



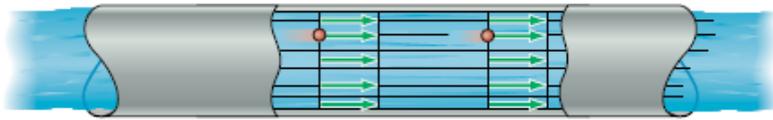
Perfil de velocidade médio para
escoamento laminar



Perfil de velocidade médio para
escoamento turbulento

Classificação do escoamento baseada no espaço e no tempo

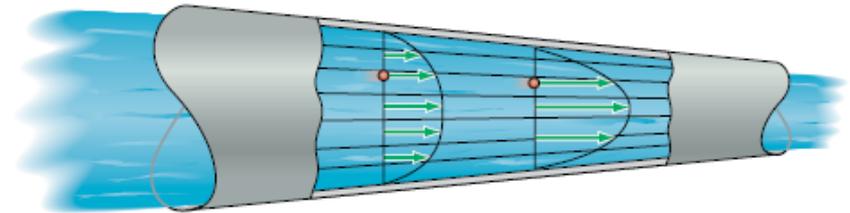
Quando a velocidade de um fluido em um ponto *não muda com o tempo*, o escoamento é considerado um ***escoamento em regime permanente***, e quando a velocidade *não muda de uma posição para a seguinte*, ele é considerado um ***escoamento uniforme***.



Escoamento uniforme em regime permanente

Um fluido ideal mantém a mesma velocidade no tempo e em cada ponto

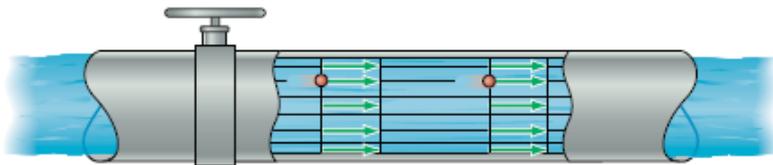
(a)



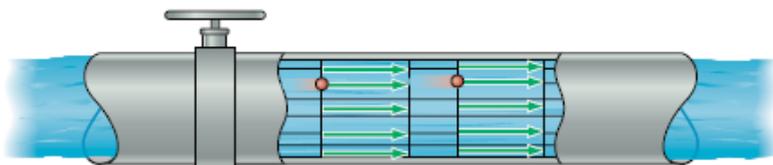
Escoamento não uniforme em regime permanente

A velocidade permanece constante com o tempo, mas é diferente de um local para o seguinte

(c)



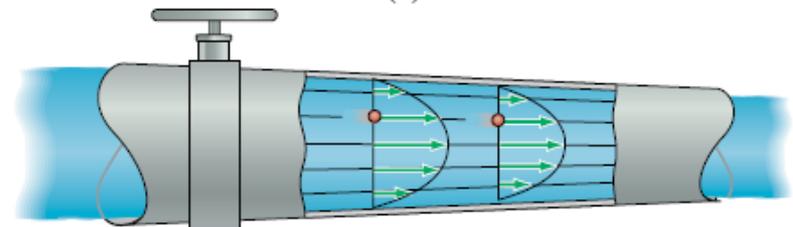
Tempo t



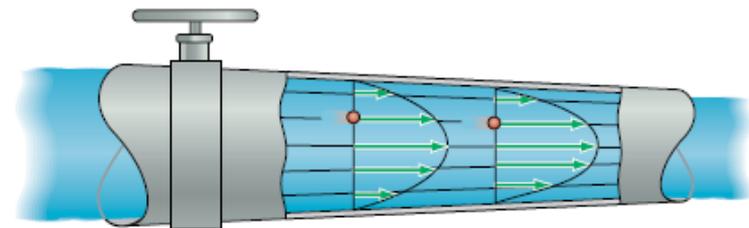
Tempo $t + \Delta t$

Escoamento uniforme transitório

A válvula é lentamente aberta, portanto, em qualquer instante a velocidade de um fluido ideal é a mesma em todos os pontos, mas ela muda com o tempo



Tempo t



Tempo $t + \Delta t$

Escoamento não uniforme transitório

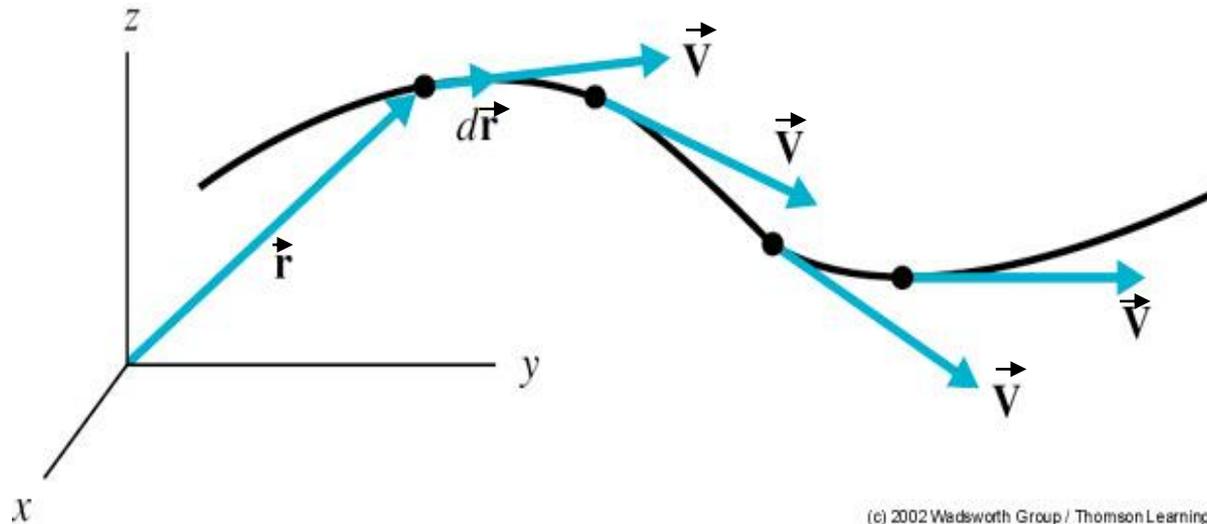
A válvula é lentamente aberta e, devido à variação na seção transversal do tubo, a velocidade será diferente no tempo e em cada ponto

Descrições gráficas do escoamento de fluidos

LINHA DE CORRENTE

- ✓ A **linha de corrente** é uma curva que é desenhada através do fluido de tal maneira que indique a direção da velocidade das partículas nele localizadas em determinado *instante de tempo*.
- ✓ a velocidade de qualquer partícula é sempre tangente à linha de corrente
- ✓ nenhum fluido pode cruzar uma linha de corrente, apenas trafegar ao longo da linha de corrente

Linha de corrente num campo de escoamento

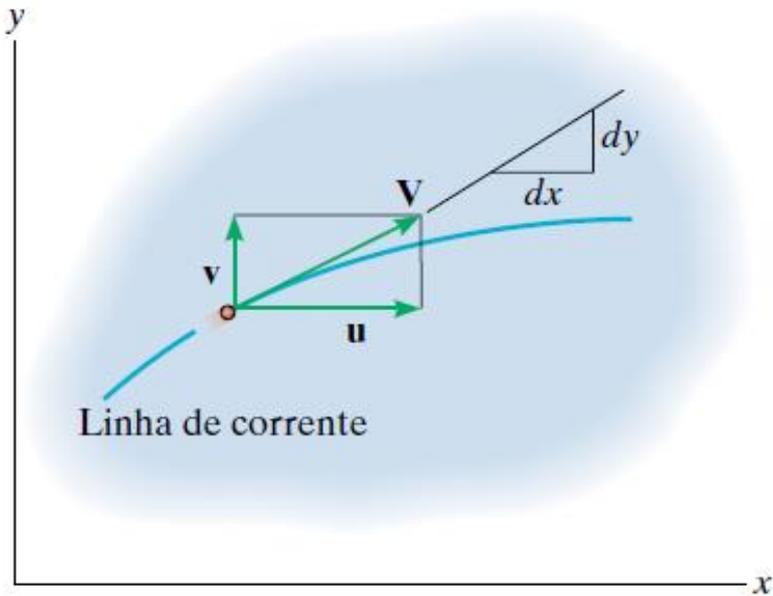


(c) 2002 Wadsworth Group / Thomson Learning

$$\vec{V} \times d\vec{r} = 0$$

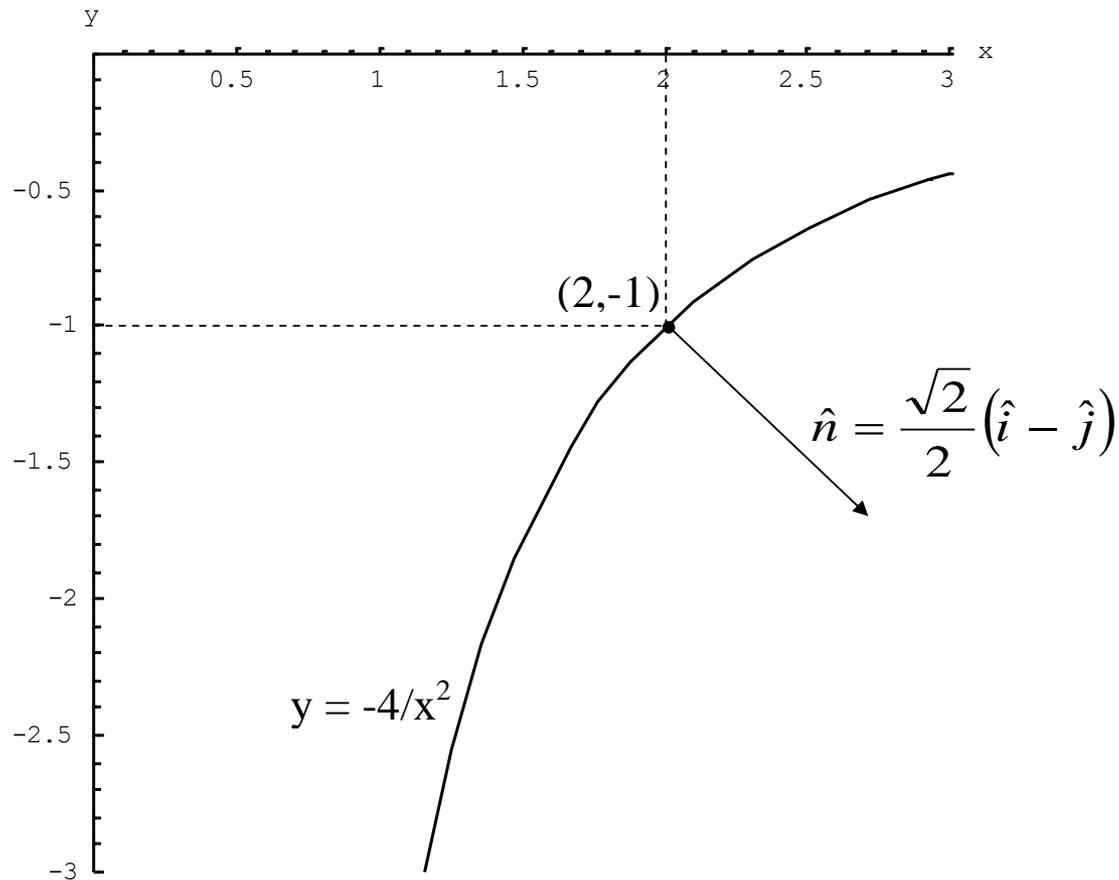
Exemplo 2

O campo de velocidade é dado por $\vec{V} = 2x\hat{i} - yt\hat{j}$ m/s, em que x e y estão em metros e t está em segundos. Em $t = 4$ s (a) encontre a linha de corrente, passando por $(2, -1)$ e (b) o vetor unitário normal à linha de corrente em $(2, -1)$. Note que:

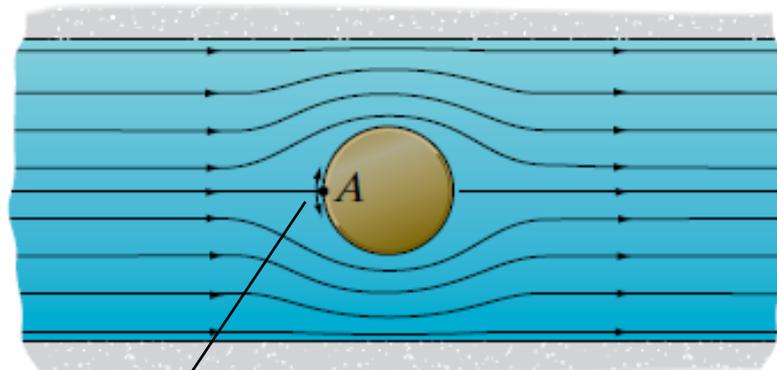


$$\frac{dy}{dx} = \frac{v}{u}$$

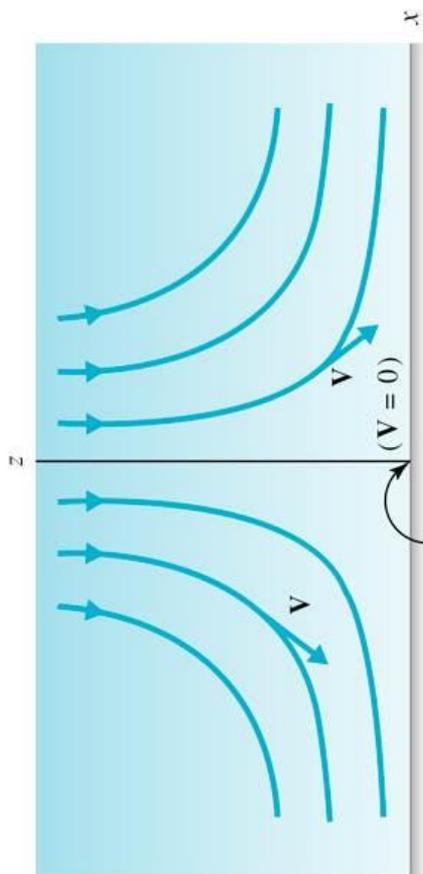
A velocidade é sempre tangente à linha de corrente



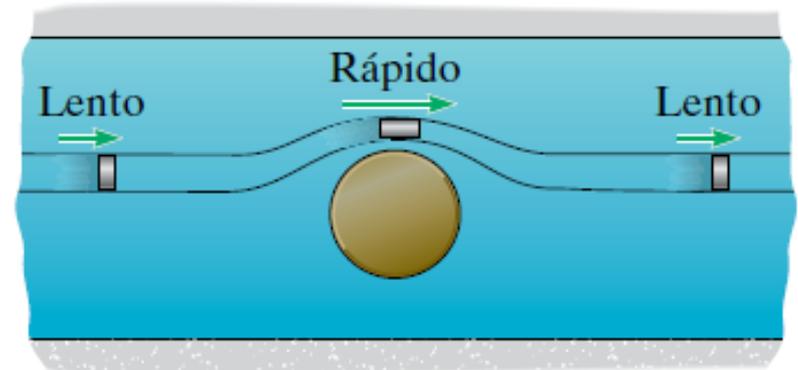
**Linha de corrente passando por $(2, -1)$
em $t = 4$ s e vetor unitário normal à
linha de corrente em $(2, -1)$ em $t = 4$ s.**



Linhas de corrente para o escoamento de um fluido ideal em torno de um cilindro



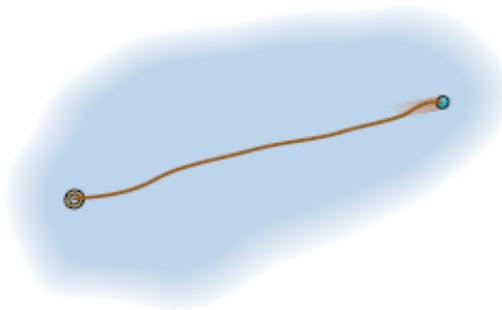
Ponto de estagnação



O fluido escoia mais rapidamente dentro de um tubo de corrente estreito

LINHA DE TRAJETÓRIA

- ✓ A **linha de trajetória** para uma partícula de fluido define o “caminho” pelo qual a partícula trafega por um *período de tempo*
- ✓ Para obter a trajetória experimentalmente, uma *única partícula* com flutuação neutra pode ser liberada dentro da corrente de escoamento e uma *fotografia de longa exposição* é tirada

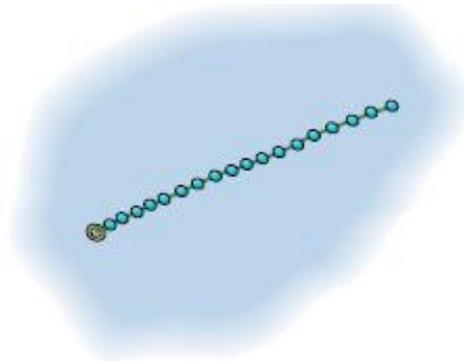


A linha de trajetória mostra o caminho de uma *única partícula* usando uma fotografia de longa exposição para $0 \leq t \leq t_1$



LINHA DE EMISSÃO

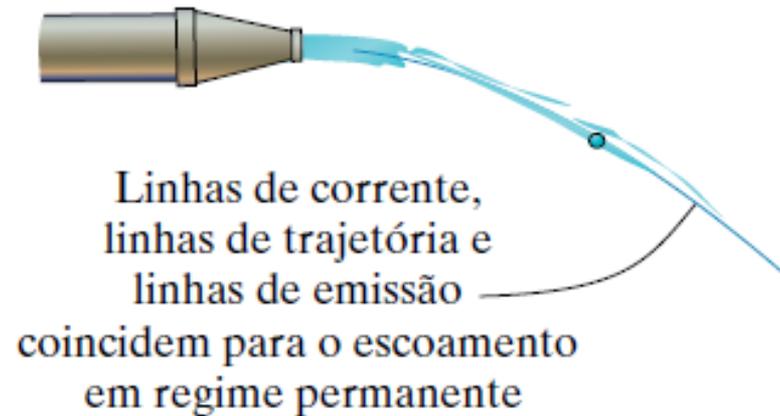
- ✓ Se fumaça for liberada continuamente em um gás, ou uma tinta colorida for liberada em um líquido, um “traçado” de *todas as partículas* será transportado ao longo do escoamento
- ✓ Essa sucessão resultante de partículas marcadas que vieram todas do mesmo ponto de origem é chamada de **linha de emissão**
- ✓ Ela pode ser identificada tomando-se uma *fotografia instantânea* do traçado, ou “rastro” de *todas as partículas*



A linha de emissão mostra o caminho de muitas partículas no instante $t = t_1$



Desde que o escoamento seja *em regime permanente*, as linhas de corrente, linhas de trajetória e linhas de emissão *coincidirão*



Em muitos casos, o escoamento pode passar do *regime transitório* para o *regime permanente* apenas pela mudança de referencial do observador.

$$V_{absoluta} = V_{corpo} + V_{relativa \text{ do fluido em relação ao corpo}}$$

ou

$$V_{rel.} = V_{abs.} - V_{corpo}$$