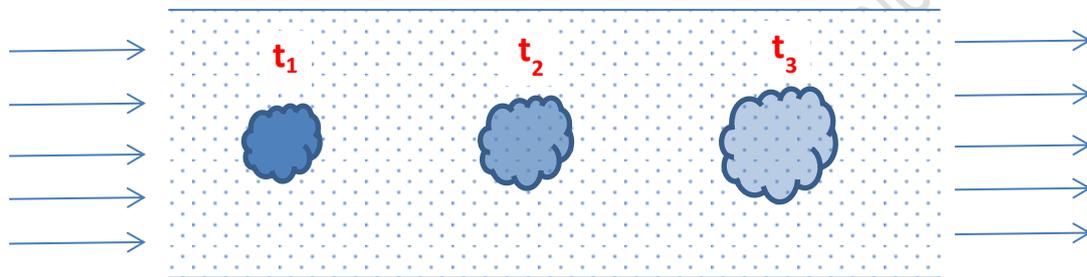


3 - Princípios Fundamentais

Como pode uma propriedade física se transferir de um ponto a outro no espaço?

No estudo dos fenômenos de transporte são considerados dois tipos diferentes de transferência, o transporte advectivo (ou convectivo) e o transporte difusivo.

Vamos imaginar uma mancha (massa) de corante descendo um rio. A movimentação da mancha, em três instantes consecutivos: t_1 , t_2 e t_3 , pode ser vista na figura.



Neste caso, além do transporte convectivo causado pelo movimento do rio, caracterizado pelo deslocamento do centro de massa da mancha, da posição 1 para a posição 3, notamos um espalhamento progressivo do corante em relação ao centro de massa da mancha. Este espalhamento exemplifica o transporte de massa difusivo, que ocorreria mesmo sem a movimentação da água do rio.

O transporte difusivo não depende da movimentação global do meio material no qual o fenômeno está ocorrendo.

3.1 - Mecanismos de Transferência

Difusão: a propriedade em estudo é transferida em razão de movimentos aleatórios de partículas do meio no sentido decrescente da "concentração" da propriedade transferida.

Difusão Molecular: as partículas são moléculas e a propriedade se transfere em decorrência da agitação molecular.

Difusão Turbulenta: as partículas são volumes macroscópicos de fluido que percorrem aleatoriamente grandes distâncias.

Convecção (ou Advecção): a propriedade em estudo é transferida em razão de um movimento preferencial (bem definido) do meio fluido.

Irradiação: a propriedade em estudo é transferida sem necessidade de um meio material, por meio de ondas eletromagnéticas.

Cada tipo de transporte está vinculado a uma causa distinta, mas todos os tipos de mecanismos podem participar de uma mesma situação observada.

Em nossa disciplina vamos estudar os princípios ou leis fundamentais do transporte de massa, energia térmica e quantidade de movimento. As leis básicas são decorrentes da observação da natureza e serão aceitos sem demonstração.

Uma lei básica é um modelo matemático que relaciona as grandezas consideradas relevantes em uma abstração da realidade física, permitindo entender o comportamento principal dos processos naturais.

3.2 - Volume de Controle e Sistema

Um volume de controle é uma região do espaço delimitada por um invólucro (superfície de controle) no interior do qual ocorrem fatos físicos de interesse. A superfície de controle

permite o intercâmbio de massa e/ou energia entre o interior do volume de controle e o exterior.

Um sistema (ou sistema fechado) é uma quantidade específica e bem definida de matéria, com fronteira impermeável à troca de massa com o meio externo, possibilitando apenas a troca de energia. Um sistema isolado não permite troca de matéria ou de energia.

3.3 - Tipos de Escoamentos

Para descrevermos o movimento de um fluido temos a necessidade de quantificar velocidades e suas variações no espaço e no tempo. A evolução espacial da velocidade é denominada de "perfil de velocidades" (linha de uma seção transversal do escoamento). A descrição das velocidades em toda uma superfície (área) denomina-se "campo de velocidades".

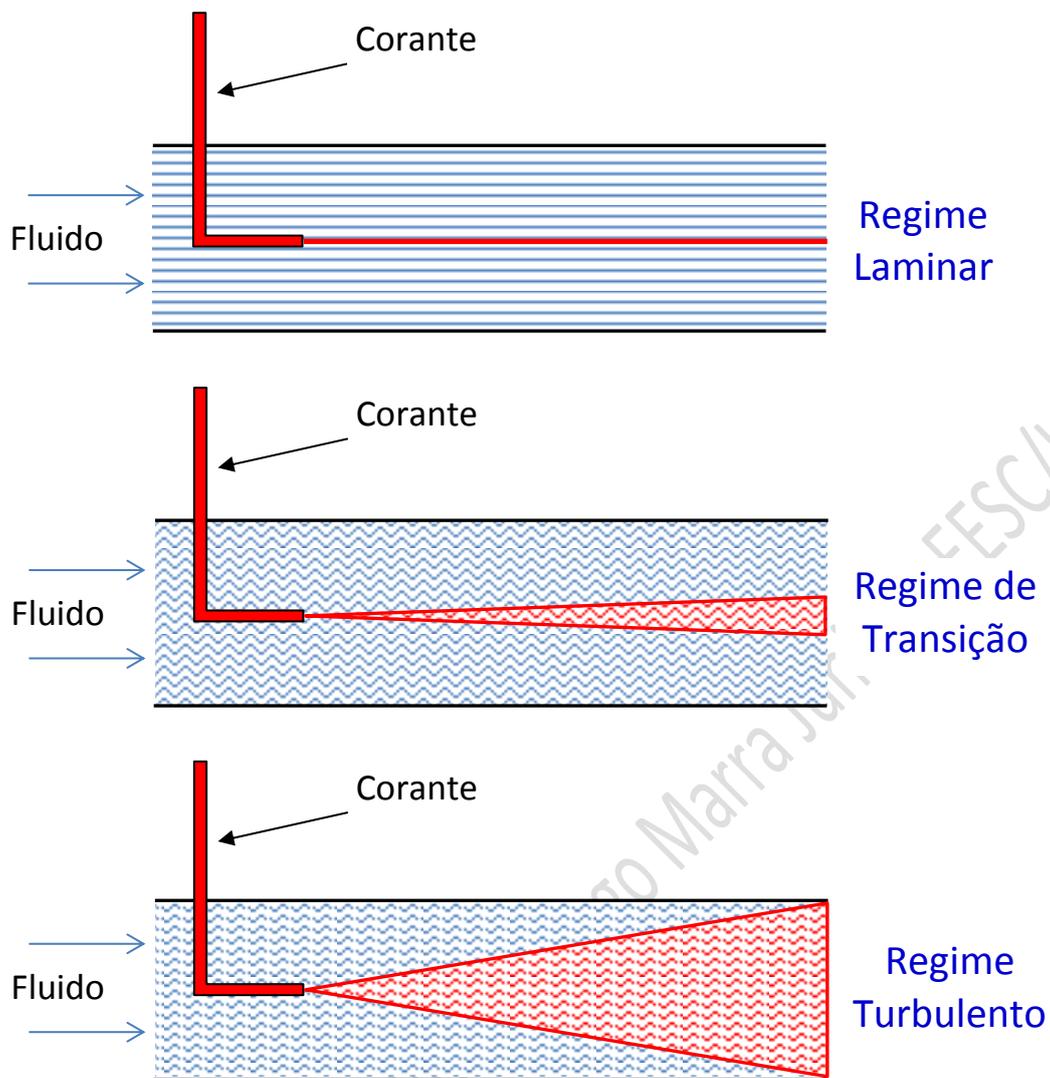
Na tentativa de descrever o comportamento dos fluidos em escoamento, Osborne Reynolds (1883) idealizou um experimento e identificou três comportamentos distintos:

Regime Laminar: não há processo de mistura macroscópico. O escoamento ocorre como se lâminas de fluido escoassem paralelamente uma às outras. Difusão molecular.

Regime Turbulento: intensa mistura no fluido. Movimentos aleatórios em todas as direções com transferência de volumes macroscópicos de fluido entre diferentes regiões do escoamento.

Regime de Transição: comportamento intermediário entre os regimes laminar e turbulento.

Observe a figura a seguir e veja também na internet:
http://www.youtube.com/watch?v=U2IWE_jzwZo.



A estrutura laminar ou turbulenta de um escoamento depende da geometria e propriedades dos fluidos. As grandezas relevantes no fenômeno estão relacionadas no grupo adimensional chamado de número de Reynolds (Re):

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

ρ = densidade do fluido;

V = velocidade média do escoamento;

D = dimensão característica do conduto que confina o fluido;

μ = viscosidade do fluido.

Para fins práticos:

Regime Laminar:	$Re \leq 2.000$
Regime de Transição:	$2.000 < Re < 4.000$
Regime Turbulento:	$Re \geq 4.000$

Quando um fluido se desloca, ele transporta sua massa e quantidade de movimento ($m.V$). A viscosidade se opõe ao transporte de quantidade de movimento propiciado pela velocidade. A viscosidade atua no sentido de "frear" o movimento do fluido.

O número de Reynolds expressa a razão entre a velocidade e a viscosidade, ou seja, entre as "forças inerciais" e as "forças viscosas". Quando o efeito das forças viscosas é preponderante, as diferenças de velocidades entre pontos vizinhos em um fluido são minimizadas, isto é, as perturbações são suprimidas e o escoamento se tem características do regime laminar.

Podemos também classificar os escoamentos de acordo com o seu comportamento temporal:

Escoamento Permanente ou Regime Permanente: escoamento no qual nenhuma variável (velocidade, temperatura, viscosidade, etc.) se altera ao longo do tempo e em nenhum ponto no interior do fluido.

Escoamento Não-Permanente ou Regime Não-Permanente: escoamento no qual pelo menos uma variável em pelo menos um ponto no interior do fluido se altera ao longo do tempo.

Escoamento Transiente: escoamento que tende ao regime permanente.

Escoamentos turbulentos são intrinsicamente não-permanentes. Neste caso, representa-se a velocidade como tendo um valor médio em torno do qual a componente da velocidade varia. Se a velocidade média se mantém constante ao longo do tempo, assume-se escoamento permanente e, caso contrário, escoamento não-permanente.

Adicionalmente, podemos classificar os escoamentos:

Escoamento Unidimensional, Bidimensional ou Tridimensional: os parâmetros que os descrevem são expressos em função de uma, duas ou três coordenadas espaciais, respectivamente.

Escoamentos Uniformes e Não-Uniformes: uniforme é aquele no qual a velocidade é constante em qualquer seção normal ao escoamento, não se impõe constância de velocidade em seções diferentes. Em caso contrário, não-uniforme.

Escoamento Estabelecido: o perfil de velocidades se mantém inalterado entre as diferentes seções ao longo do escoamento.

Escoamento Incompressível: a densidade do fluido se mantém inalterado ao longo do escoamento.

Trajectoria: lugar geométrico ocupado por uma partícula (porção de fluido) ao longo do tempo.

Linha de Corrente: lugar geométrico dos pontos cujo vetor velocidade é tangente a essa linha. No regime permanente, a linha de corrente e a trajetória são coincidentes.

As propriedades físicas de interesse que são transportadas pelos fluidos estão sujeitas às condições do escoamento. Assim, se o escoamento é laminar ou turbulento, ou se está em fase

transiente, isto afeta fortemente o fenômeno de transporte que eventualmente se está estudando, sendo necessário considerar as características do escoamento na avaliação do processo em estudo.

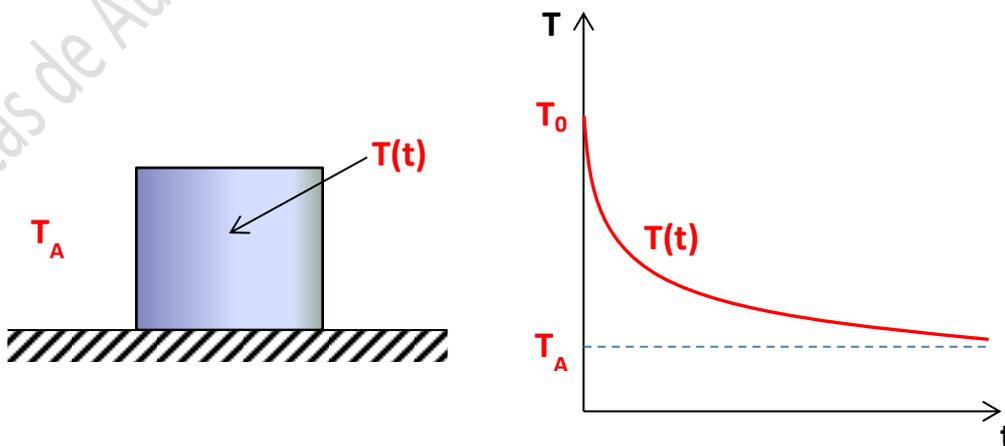
3.4 - Formulação de Problemas

Formulação ou modelagem matemática de um problema indica a técnica de reduzir ou transformar um problema em uma equação matemática ou a um sistema de equações.

Nos problemas típicos de fenômenos de transporte, a análise matemática para a construção dos modelos se baseia no conceito dos "balanços" ou contabilidade, e podemos encontrar:

- 1 - Equações algébricas → análise ou balanço global.
- 2 - Equações diferenciais → análise ou balanço diferencial (ou pontual).

Para ilustrar os dois tipos de abordagem acima, vamos imaginar um bloco metálico com temperatura uniforme T_0 . Em um determinado instante, o bloco é colocado em contato com um ambiente com temperatura T_A . Considerando $T_0 > T_A$, a temperatura do sólido deve diminuir até se igualar à temperatura do ambiente.



Se uma única temperatura $T(t)$ for usada para descrever a temperatura do sólido em todos os pontos, desde a sua superfície até seu interior → análise global.

Mas e se o sólido for muito grande, ou for feito de um material mal condutor de calor, ou se o resfriamento fosse muito rápido, uma única temperatura em função do tempo não seria suficiente para descrever adequadamente o fenômeno observado.

Neste caso, a abordagem do problema exige uma solução que expresse a diferença de temperatura em cada ponto no interior do sólido (sistema) → análise diferencial.

Notas de Aula - Prof. Wiclef Dymurgo Marra Junior - EESC/USP