



INTRODUÇÃO À MECÂNICA DOS FLUIDOS

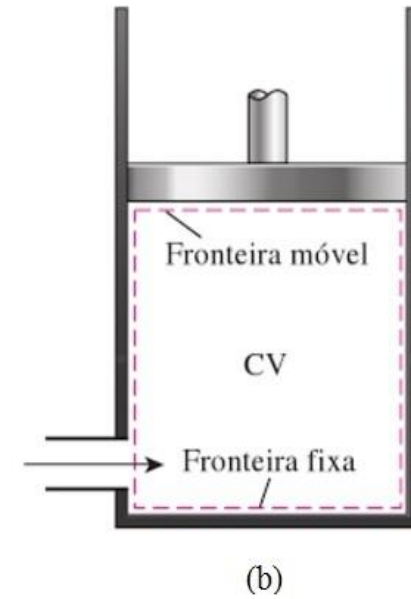
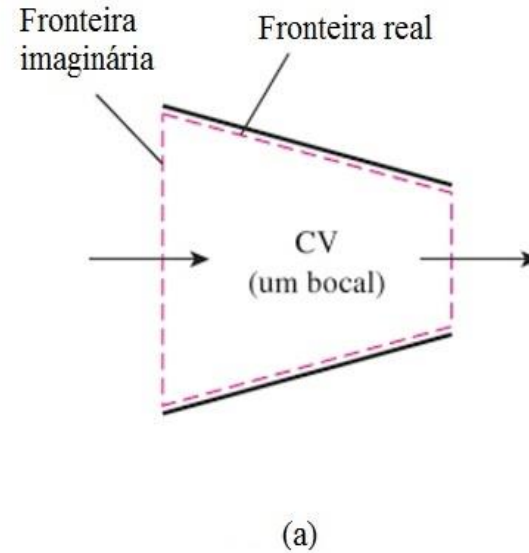
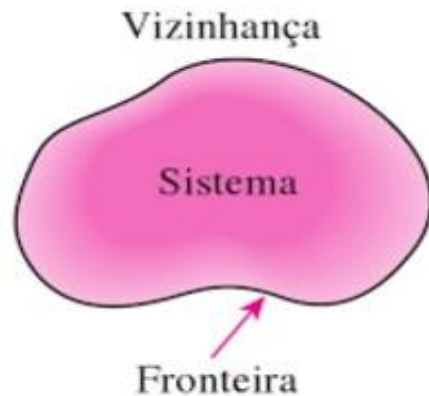
UNIDADE IV

Leis físicas de conservação

Equações de conservação na forma integral para um volume de controle

DELIMITAÇÃO DE REGIÃO DE ESTUDO

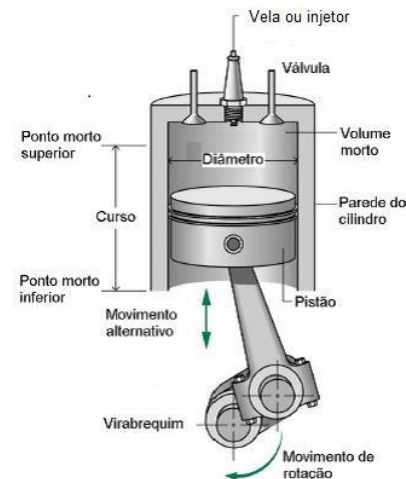
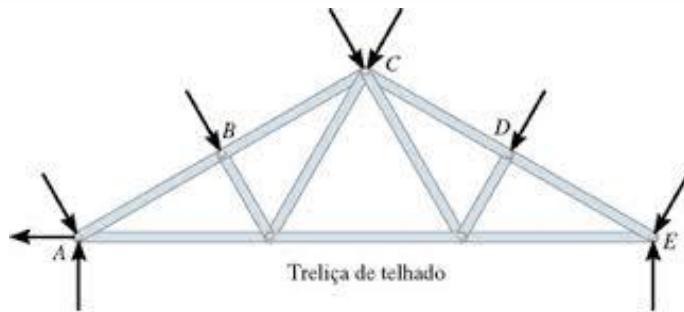
- Sistema vs. Volume de Controle



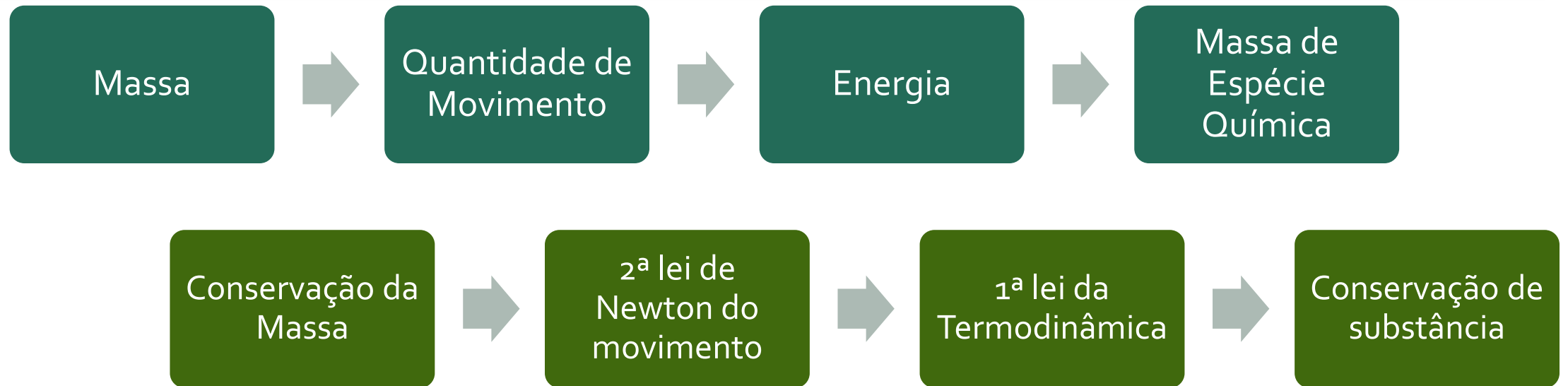
✓ *Características de cada abordagem?*

✓ *Pergunta: qual a melhor forma de estudar os casos a seguir...*

DELIMITAÇÃO DE REGIÃO DE ESTUDO



LEIS FÍSICAS DE CONSERVAÇÃO



✓ *Como as leis físicas são equacionadas para sistemas fechados nos estudos da mecânica clássica?*

✓ *Expressões da taxa de variação das propriedades extensivas em um sistema fechado!!*

EQUAÇÕES BÁSICAS DE CONSERVAÇÃO

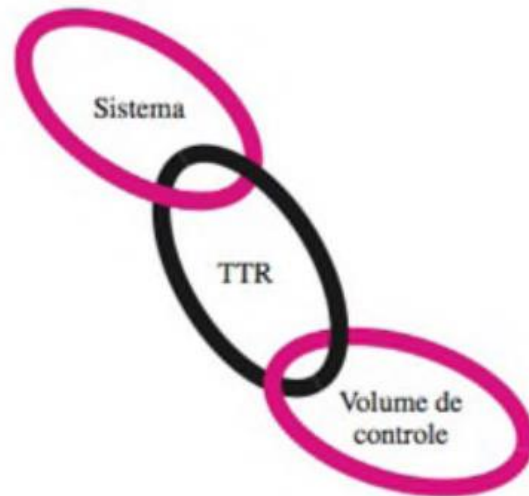
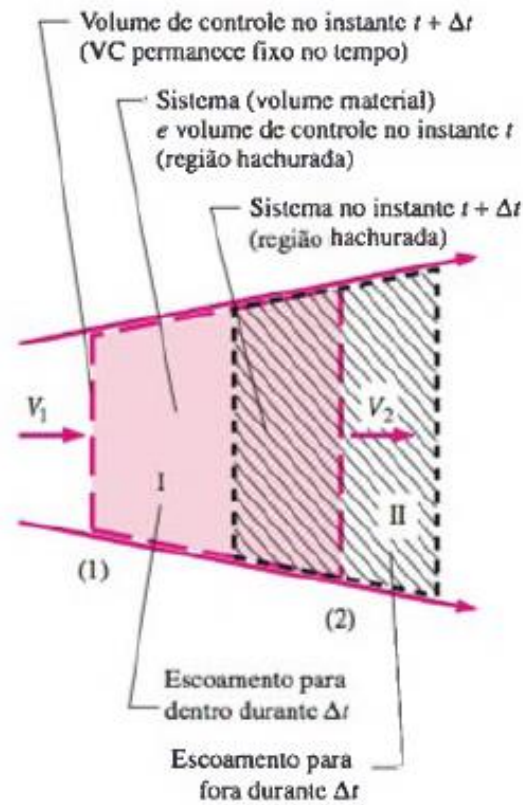


FIGURA 4-53

O teorema de transporte de Reynolds (TTR) oferece uma ligação entre a abordagem de sistema e a abordagem de volume de controle.

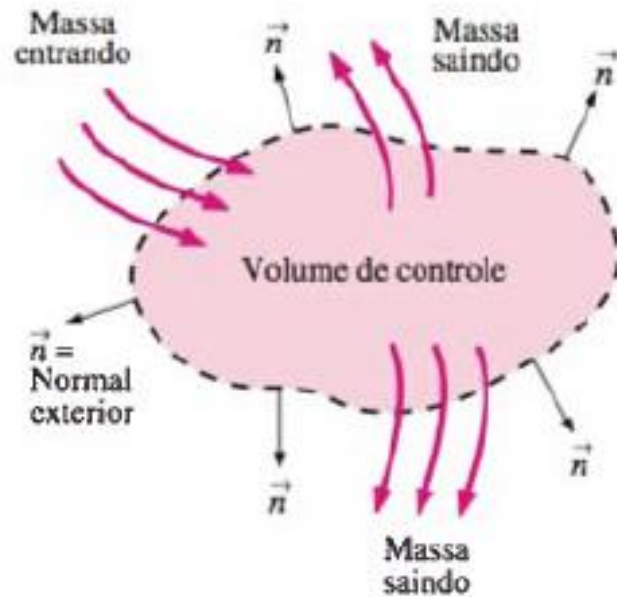


No instante t : $Sis = VC$
 No instante $t + \Delta t$: $Sis = VC - I + II$

✓ *Dedução do Teorema do Transporte de Reynolds?*

$$\frac{dN_{sist}}{dt} = \frac{\partial}{\partial t} \int_{VC} \rho n dV + \int_{SC} \rho n \vec{v} \cdot d\vec{A}$$

EQUAÇÕES BÁSICAS DE CONSERVAÇÃO



$$\frac{dN_{sist}}{dt} = \frac{\partial}{\partial t} \int_{VC} \rho n dV + \int_{SC} \rho n \vec{v} \cdot d\vec{A}$$

Equação	N_{sist}	n
Massa	M	1
Momentum	\vec{P}	\vec{v}
Energia	E	e

EQUAÇÕES BÁSICAS NA FORMA INTEGRAL PARA VOLUME DE CONTROLE

As principais equações na forma integral para volume de controle são:

- ✓ *Equação da conservação da massa*
- ✓ *Equação da conservação da quantidade de movimento*
- ✓ *Equação da conservação da energia*

Para as equações básicas são utilizados os seguintes termos, com as respectivas unidades no Sistema Internacional:

ρ : massa específica = [kg/m³]

V : volume = [m³]

\vec{v} : velocidade = [m/s]

\vec{A} : área = [m²]

\vec{F} : força = [N]

\dot{Q} : fluxo de calor = [J/h]

\dot{W} : fluxo de trabalho = [J/h]

e : energia específica = [J]

u : energia interna = [J]

g : aceleração da gravidade = [m/s²]

z : altura = [m]

EQUAÇÕES BÁSICAS NA FORMA INTEGRAL

EQUAÇÃO DA CONSERVAÇÃO DA MASSA

A equação indica que a soma da taxa de variação da massa dentro do volume de controle com a taxa líquida de fluxo de massa através da superfície de controle é zero. Em casos especiais, é possível simplificar a equação (próximos slides)

(FOX et al.,2011)

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_{vc} \rho dV + \int_{sc} \rho \vec{v} \cdot d\vec{A} = 0$$

*Taxa de variação da
massa dentro do volume
de controle*

*Taxa líquida de fluxo de massa
para dentro/fora através da
superfície de controle*

EQUAÇÕES BÁSICAS NA FORMA INTEGRAL

EQUAÇÃO DA CONSERVAÇÃO DA MASSA

Fluido Incompressível

A massa específica (ρ) permanece constante. Quando ρ é constante, ele não é função do tempo e nem do espaço, portanto, a equação é simplificada:

(FOX et al.,2011)

$$\rho \frac{\partial}{\partial t} \int_{VC} dV + \rho \int_{SC} \vec{v} \cdot d\vec{A} = 0$$

dividindo por ρ

$$\frac{\partial V}{\partial t} + \int_{SC} \vec{v} \cdot d\vec{A} = 0$$

EQUAÇÕES BÁSICAS NA FORMA INTEGRAL

EQUAÇÃO DA CONSERVAÇÃO DA MASSA

Escoamento Permanente e Uniforme

(FOX et al., 2011)

Nenhuma propriedade do fluido varia com o tempo, conseqüentemente, o primeiro termo da equação deve ser zero. Com isso, a equação é simplificada:

*Quando pode-se aproximar uma
velocidade uniforme nas
entradas e saídas*

$$\int_{SC} \rho \vec{v} \cdot d\vec{A} = 0$$

$\vec{v} \cdot d\vec{A}$ = vazão mássica ou fluxo de massa
(unidade no SI: kg/s)

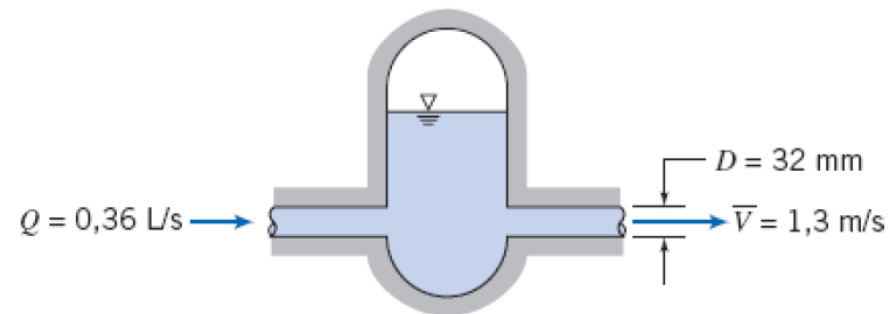
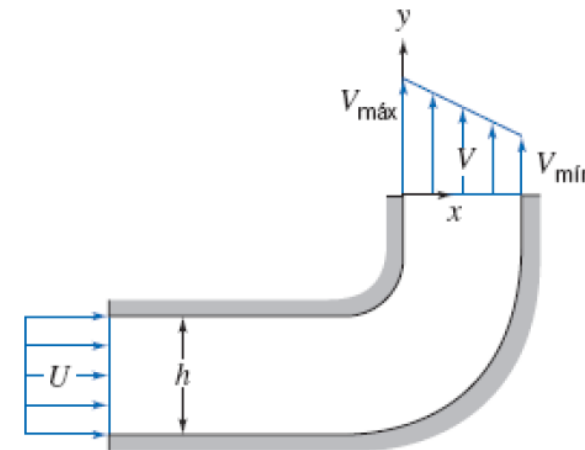
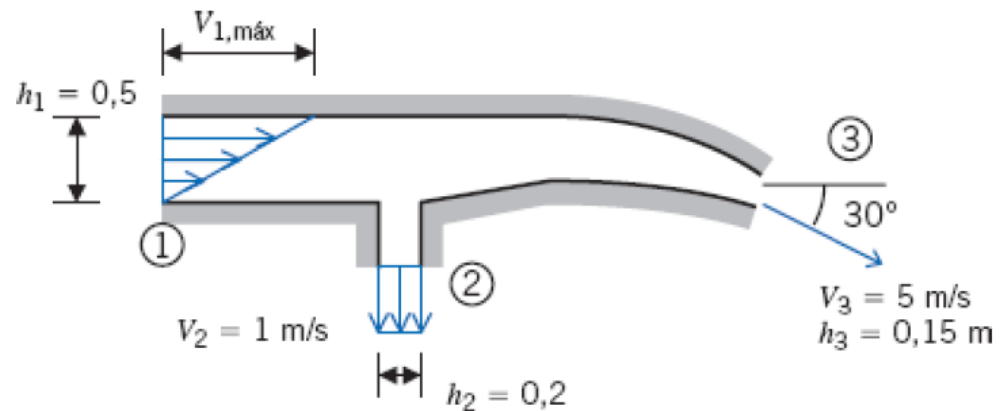
$$\sum_{SC} \rho \vec{v} \cdot \vec{A} = 0$$



EQUAÇÕES BÁSICAS NA FORMA INTEGRAL

EQUAÇÃO DA CONSERVAÇÃO DA MASSA

Aplicações



EQUAÇÕES BÁSICAS NA FORMA INTEGRAL

EQUAÇÃO DA CONSERVAÇÃO DA QUANTIDADE DE MOVIMENTO

A equação da quantidade de movimento estabelece que a força total (devido às forças de superfície e de campo), atuando sobre o volume de controle, leva à taxa de variação da quantidade de movimento dentro do volume de controle (a integral de volume) e/ou à taxa líquida na qual a quantidade de movimento está saindo do volume de controle através da superfície de controle

$$\vec{F} = \vec{F}_S + \vec{F}_B = \frac{\partial}{\partial t} \int_{VC} \vec{v} \rho dV + \int_{SC} \vec{v} \rho \vec{v} \cdot d\vec{A}$$

(FOX et al., 2011)

EQUAÇÕES BÁSICAS NA FORMA INTEGRAL

EQUAÇÃO DA CONSERVAÇÃO DA QUANTIDADE DE MOVIMENTO

forças que atuam sobre um volume de controle:

**Forças de campo
&
Forças de superfície**

Forças que agem em toda a parte do volume de controle (como as forças de gravidade, elétrica e magnética)

Forças que agem sobre as superfícies de controle (como as forças de pressão e viscosas e as forças de reação normal nos pontos de contato)

(ÇENGEL E CIMBALA, 2015)

EQUAÇÕES BÁSICAS NA FORMA INTEGRAL

EQUAÇÃO DA CONSERVAÇÃO DA QUANTIDADE DE MOVIMENTO

A equação da quantidade de movimento é uma equação vetorial. Geralmente escreve-se as três componentes escalares, como medidas nas coordenadas xyz

$$F_x = F_{S_x} + F_{B_x} = \frac{\partial}{\partial t} \int_{VC} u \rho dV + \int_{SC} u \rho \vec{v} \cdot d\vec{A}$$

$$F_y = F_{S_y} + F_{B_y} = \frac{\partial}{\partial t} \int_{VC} v \rho dV + \int_{SC} v \rho \vec{v} \cdot d\vec{A}$$

$$F_z = F_{S_z} + F_{B_z} = \frac{\partial}{\partial t} \int_{VC} w \rho dV + \int_{SC} w \rho \vec{v} \cdot d\vec{A}$$

(FOX et al., 2011)

EQUAÇÕES BÁSICAS NA FORMA INTEGRAL

EQUAÇÃO DA CONSERVAÇÃO DA QUANTIDADE DE MOVIMENTO

Escoamento Permanente

Assim como a equação da conservação da massa, para escoamento em regime permanente não há variação de nenhuma propriedade do fluido com o tempo, logo o primeiro termo do lado direito da equação é zero.

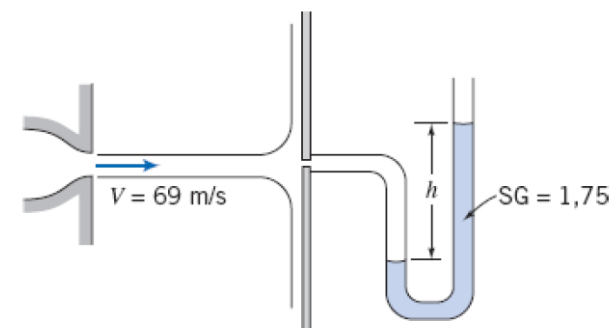
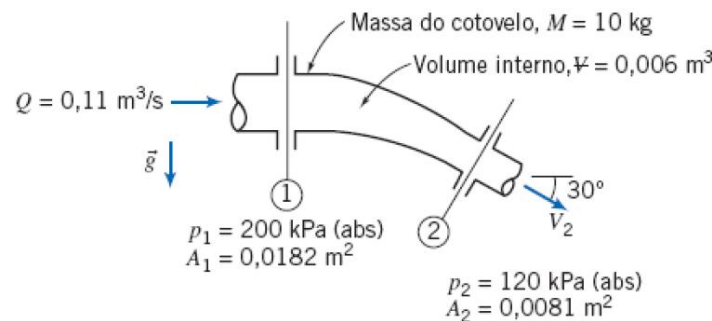
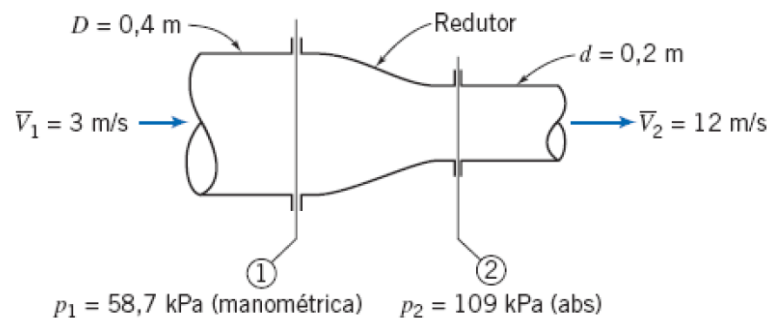
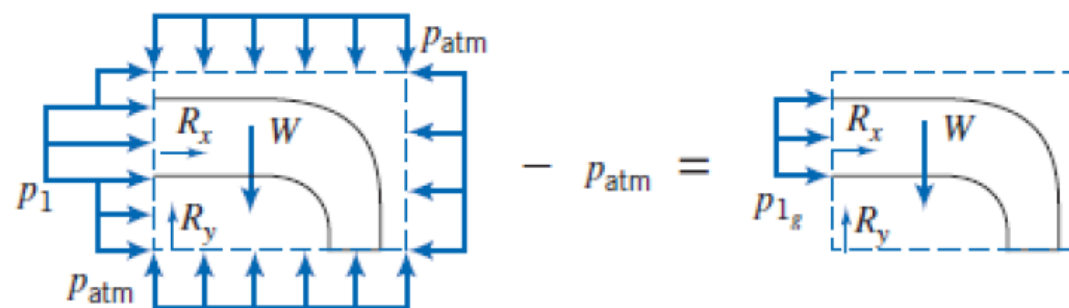
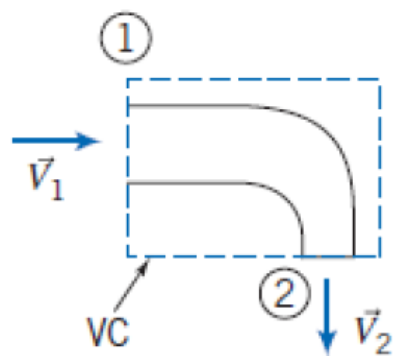
Dessa forma, a equação é simplificada:

$$\vec{F} = \vec{F}_S + \vec{F}_B = \int_{SC} \vec{v} \rho \vec{v} \cdot d\vec{A}$$

EQUAÇÕES BÁSICAS NA FORMA INTEGRAL

EQUAÇÃO DA CONSERVAÇÃO DA QUANTIDADE DE MOVIMENTO

Aplicações



EQUAÇÕES BÁSICAS NA FORMA INTEGRAL

EQUAÇÃO DA CONSERVAÇÃO DA ENERGIA

A Primeira Lei da Termodinâmica é um enunciado da conservação da energia para um sistema:

$$\dot{Q} - \dot{W}_S - \dot{W}_{\text{cisalhamento}} - \dot{W}_{\text{outros}} = \frac{\partial}{\partial t} \int_{VC} e \rho dV + \int_{SC} \left(u + \rho v + \frac{v^2}{2} + gz \right) \rho \vec{v} \cdot d\vec{A}$$

Cada termo de trabalho (representados pela letra W) na equação acima representa a taxa de trabalho realizado pelo volume de controle sobre o meio, onde a energia do sistema é representada pelo termo $\left(u + \rho v + \frac{v^2}{2} + gz \right)$ sendo u a energia interna; ρv a energia do escoamento; $\frac{v^2}{2}$ a energia cinética e gz a energia potencial

(FOX et al.,2011)

REFERÊNCIAS

- ÇENGEL, Y. E BOLES, M.A. *Termodinâmica*. 7 ed. São Paulo: AMGH, 2013.
- ÇENGEL, Y. E CIMBALA, J. *Mecânica dos Fluidos – fundamentos e aplicações*. 3 ed. São Paulo: AMGH, 2015.
- ÇENGEL, Y. E GHAJAR, A.J. *Transferência de Calor e Massa – Uma abordagem Prática*. 4ed. São Paulo: AMGH, 2012.
- FEGHALI, J.P. *Mecânica dos Fluidos: para estudantes de engenharia*. Rio de Janeiro: Livros técnicos e científicos editora, 1974.
- FOX, R.W. et al. *Introduction to Fluid Mechanics*. 8 ed. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc., 2011.
- MUNSOM, B.R. *Fundamentos da Mecânica dos Fluidos*. São Paulo: Edgard Blucher, 2004.
- PEREIRA, R.G. et al. *Aproveitamento Energético e Caracterização de Óleo de Casca de Coco Obtido por Processo de Conversão a Baixa Temperatura*. Encontro de Energia no Meio Rural. Campinas, 2002.
- SISSOM, L.E. E PITTS, D.R. *Fenômenos de Transporte*. Rio de Janeiro: LTC, 2001.
- TENEMBAUM, R.A. *Dinâmica Aplicada*. 3 ed. São Paulo: Manole, 2006.
- WHITE, F.M. *Mecânica dos Fluidos*. 6 ed. São Paulo: AMGH, 2011.