

MEDICÃO DE VAZÃO

Seminário de Instrumentação Eletrônica

**Hígela Mylle Sales Thome
Thiago Ridogério Amaro Gomes**

Sumário

1	Introdução	1
2	Conceitos Básicos	2
2.1	Fluido	2
2.2	Pressão	2
2.3	Relutância Magnética	2
2.4	Equação da Continuidade	3
2.5	Equação de Bernoulli	3
3	Vazão	4
3.1	Vazão Volumétrica	4
3.2	Vazão Mássica	4
4	Medição de Vazão	5
4.1	Medição de Vazão por Diferença de Pressão	5
4.1.1	Casos Especiais	6
4.2	Medição Por área variável (Rotâmetro)	7
4.3	Medição de vazão de Turbina	8
4.4	Medidor Magnético	9
4.5	Medição em canais Aberto	9
4.5.1	Calha Parshall	11
4.5.2	Medidor Mássico Coriolis	12
	Conclusão	15
	Bibliografia	16

Resumo

Resumo

Este trabalho visa informar a toda comunidade sobre alguns métodos utilizado para medir a vazão de um fluido através da argumentação e também através de ilustração sobre cada tipo de medição discutida.

Capítulo 1**Introdução**

O ato de medir é umas das ações mais importantes dentro da engenharia. Somente com os parâmetros em mãos é possível identificar problemas, submeter-lós a análise crítica edesenvolver soluções práticas e seguras. Diante da argumentação anterior, este trabalho tem como objetivo expor métodos de medição direcionado para a grandeza de vazão que éum importante parâmetro a ser gerenciado em diversas situações, como por exemplo, no controle da água responsável por girar uma pá de um gerador em uma usina hidrelétrica.

Capítulo 2

Conceitos Básicos

Para melhor compreender os conceitos que serão discutidos mais adiante é importante que alguns conceitos estejam bem definidos.

2.1 Fluido

Fluido é toda substância que toma forma do recipiente em que está armazenado.

2.2 Pressão

De maneira formal, a pressão é definida como a razão entre a força aplicada de forma perpendicular (F_p) sobre uma área e o valor dessa área (A), em termos matemáticos:

$$P = \frac{F_p}{A} \quad (2.1)$$

2.3 Relutância Magnética

Medida de oposição a circulação de fluxo magnético de um circuito magnético. A relutância magnética pode ser estimada através das expressões:

$$R = \frac{l}{\mu_o \mu_r A} \quad (2.2)$$

2.4 Equação da Continuidade

A equação da continuidade prova que o aumento de uma área por onde um determinado fluido escoa prova uma queda na velocidade de escoamento deste fluido.

$$A_1V_1 = A_2V_2 \quad (2.3)$$

2.5 Equação de Bernoulli

Condições para aplicação:

- Escoamento sem viscosidade
- ρ constante, isto é, escoamento incompressível
- Regime permanente

$$\frac{\rho v^2}{2} + \rho gh + p = \text{const.} \quad (2.4)$$

v= Velocidade de escoamento do fluido

g= Aceleração da gravidade

h = altura

p = pressão no recipiente

ρ = Densidade do fluido

Capítulo 3

Vazão

A vazão podem ser definidas das seguintes formas:

3.1 Vazão Volumétrica

Volume de fluido que passa por uma determinada seção de uma tubulação (ou local), por unidade de tempo. Corresponde à taxa de escoamento de algum material transportado por unidade de tempo.

$$Q = \frac{V}{\Delta T} = A \times v \quad (3.1)$$

V = volume do fluido.

ΔT = tempo.

A = área seção reta do tubo.

v = velocidade do fluido.

3.2 Vazão Mássica

É definida como sendo a quantidade em massa de um fluido que atravessa a seção de uma tubulação por unidade de tempo.

$$Q_m = \frac{m}{\Delta T} = D \times v \times A \quad (3.2)$$

m = Massa do fluido.

D = Densidade da massa.

v = velocidade do fluido

Capítulo 4

Medição de Vazão

4.1 Medição de Vazão por Diferença de Pressão

A ideia deste método é inserir no interior do tubos por onde o fluido escoam dispositivos, chamados de elementos primários que alteram a velocidade de escoamento do fluido. Geralmente esses fluidos possuem área menor do que a tubo, e pela equação da continuidade 2.3, se a área 2, A_2 diminui, a velocidade v_2 deve aumentar. Essa alteração de área provoca uma alteração de pressão, logo, com dois medidores de pressão posicionados em um ponto antes do elemento primário e outro depois obteremos pressão em dois pontos distintos.

A velocidade de escoamento do fluido é dada por:

$$v = K \sqrt{\frac{\Delta P}{\rho}} \quad (4.1)$$

$$Q = v A \quad (4.2)$$

Substituindo 4.1 na equação 4.2 obtemos:

$$Q = K A \sqrt{\frac{\Delta P}{\rho}} \quad (4.3)$$

Na 4.3,

- Q: Vazão
- A: Área
- ΔP : diferença de pressão
- ρ :densidade do fluido

- K: Constante de correção (leva em conta quesitos diâmetros do elementos primário e tubulação, unidade de medida, fatores de correção)

A grande vantagem desse método de medição está associado a medição de uma gama de fluido que pode por ele ser mensurado, incluindo fluidos viscosos em um intervalo de temperatura e pressão bem amplos.

Todavia, a parte negativa deste método fica por conta da alto perda de carga, justificando assim a inclusão da constante K na equação 4.3.

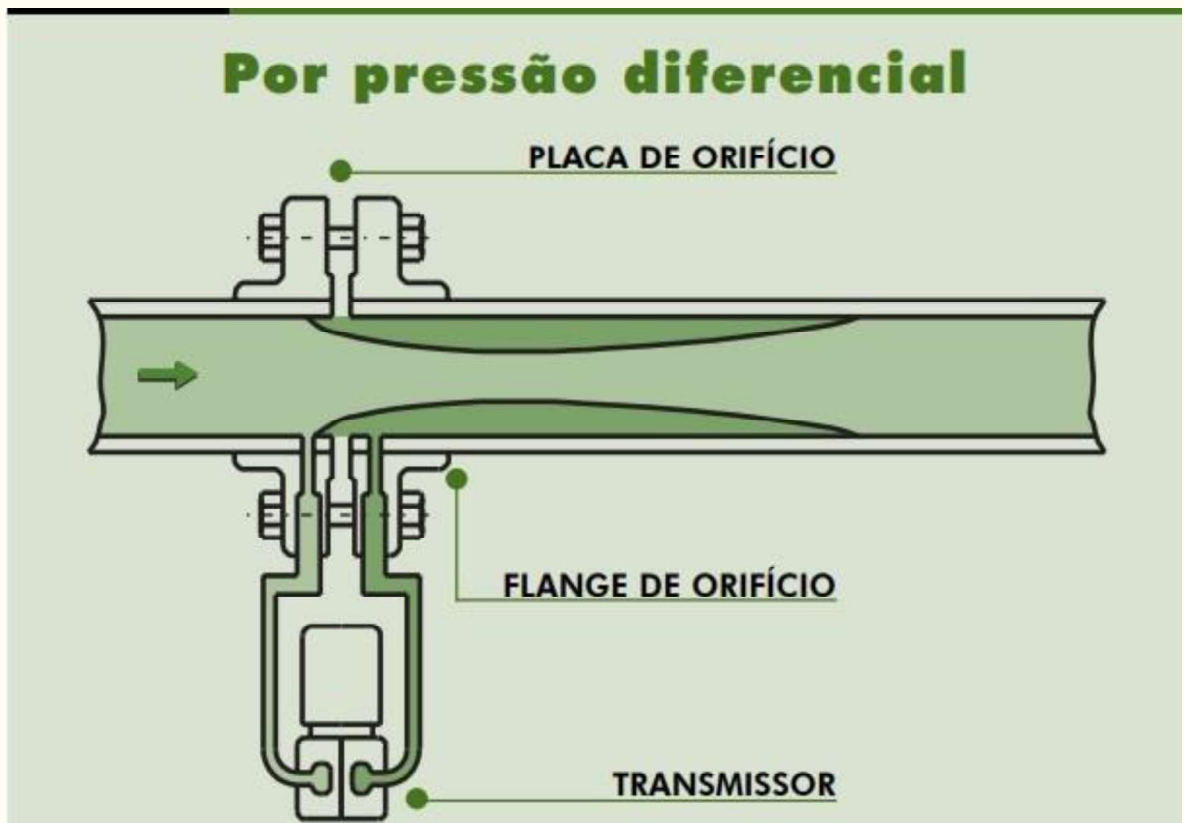


Figure 4.1: Medição do Diferencial de Pressão. Retirado de

4.1.1 Casos Especiais

Tubo de Venturi

O tubo de Venturi é um caso especial da medição de vazão por diferença de pressão. Ele é aplicado quando a variação de pressão for limitada e consiste em um enforcamento gradual na forma de um cone.



Figure 4.2: Tudo de venturi (imagem retirada da internet)

Placas de Orifício

São placas na forma de círculos com um orifício. Este orifício pode ser concêntrico (a), ex-cêntrico (b) ou segmental (c) da figura 4.3. É o elemento primário mais simples encontrado no mercado. É inserido paralelamente no interior do tudo por onde o fluido circula.

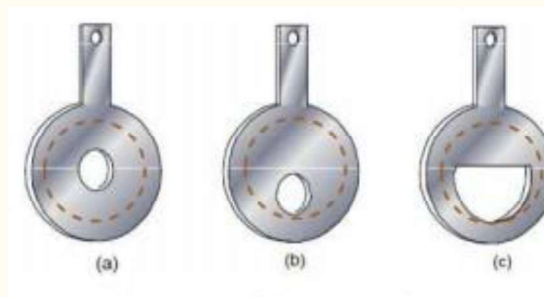


Figure 4.3: Tipos de orifícios. Retirado de ALMEIDA, C. F. M

Annubar

Mede a vazão total e abrange o diâmetro total do tubo. Indicado para medição de fluidos gasosos ou vapor.



Figure 4.4: Annubar. Retirado de ALMEIDA, C. F. M

4.2 Medição Por área variável (Rotâmetro)

É um dispositivo na forma de um cone, disposto na vertical e possui em seu interior um flutuador capaz de deslocar-se na vertical. Os lados superior e inferior do cone estão abertos. Na parte inferior, o fluido entra e empurra para cima o flutuador (também chamado de boia ou peão). Quando alcançada determinada altura o peso do peão se equilibra com a pressão exercida pelo fluido e se estabiliza em uma determinado ponto. Na parte exterior, há uma escala graduada que indica níveis de vazão.



Figure 4.5: Rotâmetro. Retirado de Ninoska Bojorge

4.3 Medição de vazão de Turbina

O princípio de funcionamento deste método de medição de vazão consiste no posicionamento paralelo de um rotor com aletas no interior de um tubo. O contato do fluido com as aletas provocará um movimento de rotação do rotor, cuja a velocidade angular estará em função da velocidade do fluido e dos ângulos das aletas. Do lado externo do sistema rotor e tubo há uma bobina captadora. No processo de rotação do rotor, cada aleta passa próximo ao ímã ocasionando variação no fluxo e na relutância magnética do circuito magnético. Este processo induz uma tensão alternada cuja a frequência dos sinais então em função da velocidade do fluido e é através destes sinais que a vazão é determinada pela relação:

$$Q = \frac{60f}{K} \quad (4.4)$$

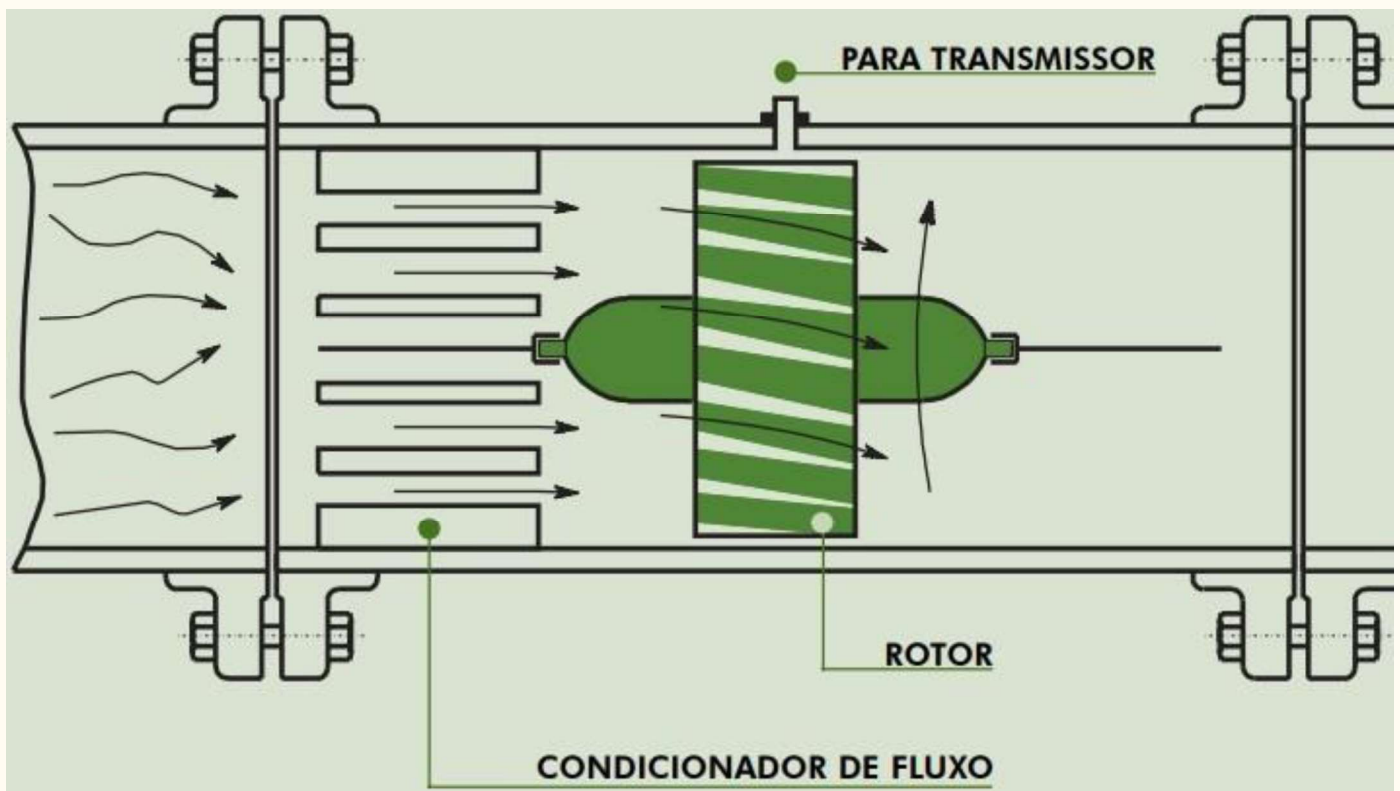


Figure 4.6: Turbina. Retirado de GONÇALVES, M. G

4.4 Medidor Magnético

Para entender o princípio de funcionamento deste tipo de medidor, é importante conhecer a lei de Faraday que diz:

“Quando um condutor se move dentro de um campo magnético, é produzida uma força eletromotriz, chamada de fem que é proporcional a sua velocidade.”

Suponha a seguinte situação:

Há a presença de um campo magnético, com densidade de fluxo magnético igual a β , aplicado a uma tubulação com diâmetro D . O fluido que passa por essa tubulação tem velocidade média igual a V . Se colocado um par de eletrodos em uma posição perpendicular ao fluxo magnético, teremos uma força eletromotriz $Fem(V)$ induzida nestes eletrodos, e a sua amplitude dada por:

$$Fem = \beta \times D \times V \quad (4.5)$$

Mas como é medida a vazão?

Sabe-se de 3.1 que a vazão é proporcional ao produto da área A e da Velocidade V , por tanto a vazão pode ser estimada através de:

$$Q = V \times A \quad (4.6)$$

A área do seção reta do tubo de escoamento pode ser obtido através da expressão:

$$A = \frac{\pi \times D^2}{4} \quad (4.7)$$

De 4.5

$$Q = \frac{fem}{\beta D} \quad (4.8)$$

Substituindo, temos 4.7 e 4.8 em que 3.1 tem-se que:

$$Q = \frac{\pi \times Fem \times D}{4\beta} \quad (4.9)$$

Analisando a equação () nota-se que a vazão volumétrica é diretamente proporcional a força eletromotriz gerada devido a passagem do fluido.

Abaixo pode-se ver o esquema de funcionamento de medidor eletromagnético:

4.5 Medição em canais Aberto

O que são canais abertos? Abre-se entalhes na parte superior de uma parede, através destes entalhes o líquido esco. Esses entalhes são chamados de vertedores, cada faixa de a ser

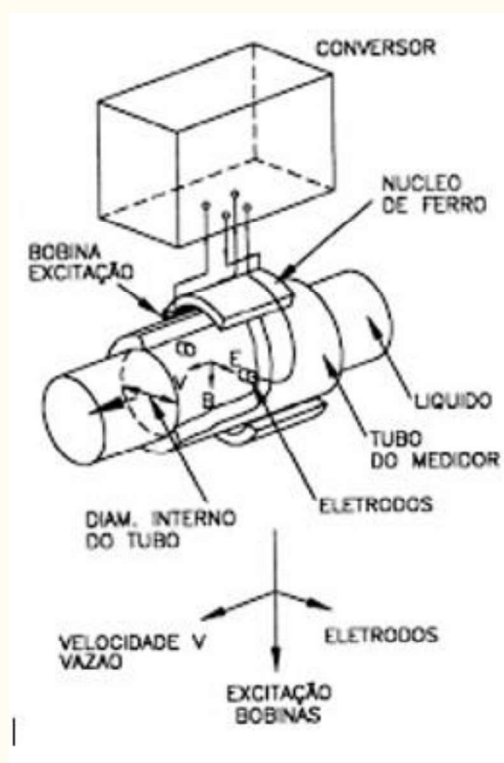


Figure 4.7: Esquema Físico do medidor Eletromagnético. Retirado da internet.

medida necessita-se use um tipo de vertedor diferente. A seguir, os mais utilizados: Constituição física de um vertedor:

- Soleira: parte superior da parede em que há contato com a lâmina vertente.
- Carga sobre a soleira: distância vertical entre o nível da soleira e o nível d'água.
- Altura do vertedor: diferença de nível entre a soleira e o fundo do canal.
- Largura da soleira: dimensão da soleira através da qual há o escoamento.

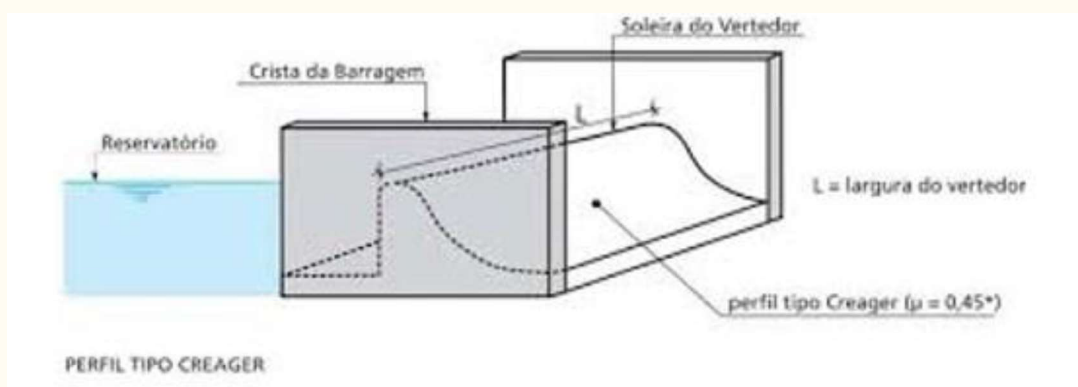


Figure 4.8: Vertedouro. Retirado da Internet

4.5.1 Calha Parshall

É usado para medir a vazão de entrada e saída em estações de tratamento de água, a medição acontece de modo onde o regime fluvial da vazão é submetido a um regime crítico, obtendo-se assim uma relação entre a altura do fluido na calha e a vazão, ou seja, para altura H haverá vazão Q , a altura da lâmina da água está diretamente ligada à vazão. Sua construção física consiste em uma seção convergente, numa seção estrangulada e uma seção divergente. O fundo da unidade é em nível na seção convergente (de 0 a 1), em declive na “garganta” (de 1 a 2) e em aclive na seção divergente (de 2 a 3).

O primeiro trecho convergente, produz um nível (H_1), no líquido medido, que está diretamente relacionado com a vazão. Com auxílio de um medidor de nível externo adequado, podemos obter leituras de vazão com uma boa precisão. Em cada trecho a calha tem uma largura L_n .

Atualmente o tipo de medidor mais utilizado na calha Paschall é do tipo ultrassônico. Os medidores de vazão por ultrassom usam o princípio de ondas sonoras se deslocando em um meio. A velocidade dessas ondas pode ser afetada pela velocidade do meio que estão

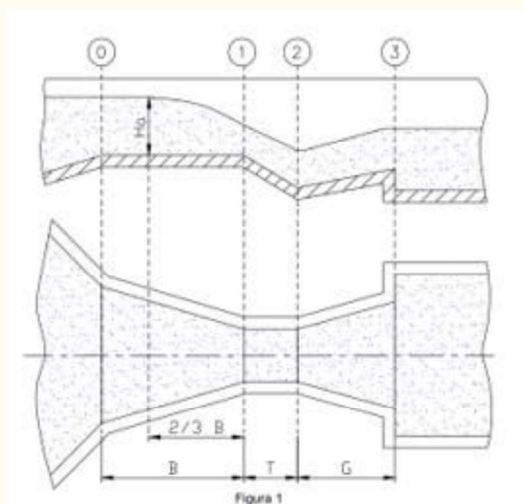


Figure 4.9: Calha Parshall. Retirado da Internet

inseridos e que deve ser medido.

Se a onda sonora tiver o mesmo fluxo de deslocamento que o meio, tem-se um acréscimo na velocidade da onda e se for no sentido contrário, tem-se um decréscimo. A diferença entre a velocidade de ida e a velocidade de volta da onda sonora nos dá a velocidade do fluxo. Sabendo essa velocidade e a área ($H_1 \times L$) da calha, substituindo na equação (1) é possível mensurar a Vazão.

4.5.2 Medidor Mássico Coriolis

Foi G. G. Coriolis notou que todos os corpos em movimento na superfície da Terra tendem a ser desviados para o lado devido à rotação do planeta para o leste. um corpo em movimento dentro de um sistema em rotação sofre um desvio lateral causado pelo movimento rotacional, a essa força deu-se o nome de “Força Coriolis”.

Quando um fluido passa por um tubo em rotação ele fica sujeito à aceleração de Coriolis pela introdução mecânica de uma movimentação que simula uma rotação no tubo, a intensidade da força de Coriolis medida no tubo, será função da vazão mássica do fluido.

Para entender como funciona esse medidor, suponha a seguinte situação: Um partícula de massa infinitesimal dm percorre a uma velocidade v dentro do tubo T . O tubo gira torno do ponto fixo P e a partícula está a uma distância de um raio r do ponto fixo. A partícula semove a uma velocidade angular ω como o movimento é circular, tem-se dois tipos de aceleração: a aceleração centrípeta a_r e aceleração de Coriolis a_t , em ter as duas acelerações há

um ângulo tal que:

$$a_r = \omega^2 \times r \quad (4.10)$$

$$a_t = 2\omega \times v \quad (4.11)$$

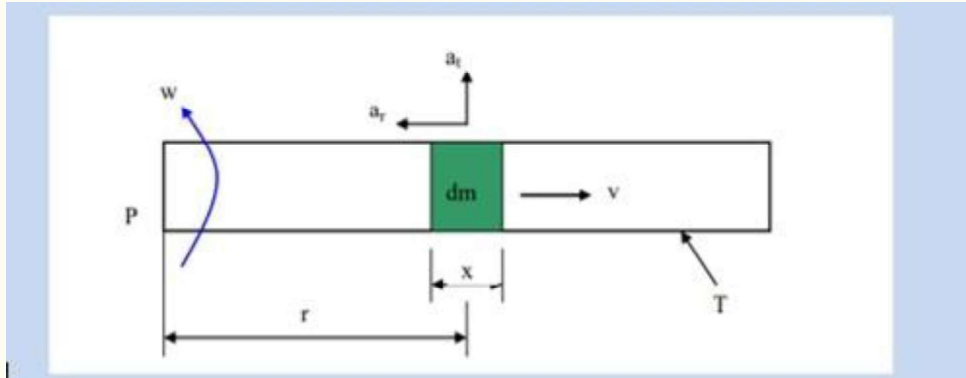


Figure 4.10: Esquema Físico do Medidor de vazão de Coriolis. Retirado da Internet.

- Cálculo para medição de vazão:
É gerada uma força de Coriolis no tubo dada por:

$$F_c = a_t \times dm \quad (4.12)$$

Aparecendo assim uma força de reação (F_{cr}) exercida pela partícula dm do fluido de tal forma que:

$$F_{cr} = a_t \times dm = 2\omega \times dm \quad (4.13)$$

O fluido tem densidade conhecida D e escoa a uma velocidade constante (v) dentro do tubo de área de seção reta A . Pegando um pedaço do tubo de tamanho x , tem-se que este seguimento está sujeito a uma força de Coriolis.

Da definição de densidade tem-se:

$$D = \frac{dm}{V} = \frac{dm}{A \times x} \Rightarrow dm = A \times x \times D \quad (4.14)$$

substituindo 4.14 em 4.13 tem-se:

$$F_{cr} = 2\omega \times v \times D \times x \times A \quad (4.15)$$

De 3.2 sabemos que a vazão mássica pode ser definida

$$Q_m = D \times v \times A \quad (4.16)$$

Então rearranjando a equação 4.15 notasse que:

$$F_{cr} = 2\omega \times x \times v \times D \times A \quad (4.17)$$

Substituindo em 3.2 tem-se, por fim:

$$Q_m = v \times D \times A = \frac{F_{cr}}{2\omega \times x} \quad (4.18)$$

Desta forma observa-se como a medida da força de Coriolis exercida pelo fluido fornece uma indicação de vazão mássica.

Resumo**Resumo**

Este trabalho visa informar a toda comunidade sobre alguns métodos utilizado para medir a vazão de um fluido através da argumentação e também através de ilustração sobre cada tipo de medição discutida.

Bibliografia

. *Medição de Vazão*. Acessado em Março 11, 2021. Url <https://aiecp.files.wordpress.com/2012/07/3-3-pc3b3s-pucpr-4-medic3a7c3a3o-de-vazc3a3o.pdf>.

ALMEIDA, C. F. M. *Medição de Vazão (slide)*. [S.l.: s.n.], 2017.

GONÇALVES, M. G. *Monitoramento e Controle de Processos*. [S.l.: s.n.], 2003.

Ninoska Bojorge. *Sistema de Medição de Vazão*. Acessado em Março 11, 2021. Url http://www.professores.uff.br/ninoska/wp-content/uploads/sites/57/2017/08/Aula05_instrumenta_vazao1sem2016.pdf.

Presys. *Vazão*. Acessado em Março 11, 2021. Url <http://www.presys.com.br/blog/vazao/>.

SANTANA, A. C. *Instrumentos de Vazão*. [S.l.: s.n.].

Ulisses Barcelos Viana. *Instrumentação Básica 2*. Acessado em Março 07, 2021. Url <http://www.dequi.eel.usp.br/felix/Instrumentacaobasica2.pdf>.