



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA FRONTEIRA SUL
CAMPUS DE REALEZA
CURSO DE LICENCIATURA EM FÍSICA**

VITÓRIA GABRIELA BORGES ARRUDA

**MEDIDORES DE VAZÃO
APLICAÇÕES PARA UM LABORATÓRIO DIDÁTICO DE FÍSICA**

REALEZA/PR

2023

VITÓRIA GABRIELA BORGES ARRUDA

MEDIDORES DE VAZÃO
APLICAÇÕES PARA UM LABORATÓRIO DIDÁTICO DE FÍSICA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Física - Licenciatura da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), como requisito para obtenção do título de Licenciatura em Física.

Orientadora: Prof^ª. Dra Viviane Scheibel de Almeida.

REALEZA/PR

2023

Bibliotecas da Universidade Federal da Fronteira Sul - UFFS

Arruda, Vitória Gabriela Borges

Medidores de vazão: Aplicações para um laboratório didático de física / Vitória Gabriela Borges Arruda. -- 2023.

76 f.:il.

Orientadora: Doutora Viviane Scheibel de Almeida

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal da Fronteira Sul, Curso de Licenciatura em Física, Realeza, PR, 2023.

1. Roteiros didáticos. Hidrodinâmica. Medidores de vazão. Física experimental. Fluidos. I. Almeida, Viviane Scheibel de, orient. II. Universidade Federal da Fronteira Sul. III. Título.

VITORIA GABRIELA BORGES ARRUDA

**MEDIDORES DE VAZÃO – APLICAÇÕES PARA UM LABORATÓRIO
DIDÁTICO DE FÍSICA**

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentado como requisito para obtenção de grau de
licenciada em Física da Universidade Federal da
Fronteira Sul.

Orientadora: Prof. Dra Viviane Scheibel de Almeida

Este trabalho foi defendido e aprovado pela banca em 16/03/2023.

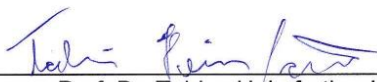
BANCA EXAMINADORA



Profa. Drª Viviane Scheibel de Almeida – UFFS



Prof. Dr. Clóvis Caetano - UFFS



Prof. Dr. Tobias Heimfarth – UFFS

Dedico este trabalho aos meus pais, que não pouparam esforços para que eu pudesse concluir meus estudos.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente eu agradeço a Deus por tudo o que Ele tem proporcionado na minha vida. Sem Ele, eu não teria condições de ter chegado até aqui, pois toda minha força e ânimo provém dEle. Agradeço aos meus pais, por todo o zelo e dedicação que sempre despenderam comigo. Em todos estes anos de curso, meus pais sempre me incentivaram a continuar e nunca duvidaram da minha capacidade em tornar todo esse sonho possível.

Agradeço aos meus amigos, principalmente ao Rodrigo W. F Suzuki, Eduardo F. Dias e Grazieli S. Siva por todo o apoio e incentivo durante toda essa jornada, que foi muito mais gratificante com a presença deles. Agradeço a todos os meus professores que acompanharam minha trajetória desde os anos iniciais do ensino fundamental até a conclusão do ensino médio, seus ensinamentos me impulsionaram a entrar neste curso.

Agradeço aos meus professores do curso de Física Licenciatura da Universidade Federal da Fronteira Sul, Campus – Realeza/PR, por todos os conhecimentos transmitidos e por todo o apoio perante estes anos, pois tornaram-se o grande alicerce para minha trajetória acadêmica e futuramente profissional. Jamais serão esquecidos por mim.

Agradeço especialmente a minha coordenadora Viviane Scheibel de Almeida que auxiliou na condução deste trabalho sempre com muita dedicação, colocando-se sempre disponível a compartilhar todo o seu vasto conhecimento. Obrigada pela confiança no meu trabalho, por me ensinar, por toda compreensão e pelos sábios conselhos sempre que a procurei para conversar, saiba que sempre terá minha admiração!

A todos, meus mais sinceros agradecimentos.

RESUMO

A junção entre o ensino teórico e a prática experimental combinam-se como método eficaz de ensino para as ciências exatas. O presente trabalho consiste na construção e aplicação de roteiros didáticos fechados como forma de ensino da hidrodinâmica, especificamente para fluidos não viscosos. Os roteiros são produto de estudos e análises da bancada de medidores de vazão, que contempla dois circuitos: ar e água. Nesta bancada, estão instalados diversos instrumentos de medição que serão abordados e utilizados pelos roteiros, de acordo com as características físicas pertinentes a cada um. A partir das análises realizadas pela aplicação dos roteiros, pretende-se efetivar as propostas de aplicação para melhorar o processo de ensino aprendizagem do aluno, bem como facilitar a abordagem de conceitos físicos por parte do professor, que em muitos casos, fica restringido somente ao uso de livros didáticos.

Palavras-chave: Roteiros didáticos. Hidrodinâmica. Medidores de vazão. Física experimental. Fluidos.

ABSTRACT

The junction between theoretical teaching and experimental practice is a combination as an effective teaching method for the exact sciences. The present work consists of the construction and application of closed didactic scripts as a way of teaching hydrodynamics, specifically for non-viscous fluids. The didactic scripts are the studies product and analyzes of the flowmeter bench, which includes two circuits: air and water. In this workbench, several measuring instruments are installed that will be approached and used by the didactic scripts, according to the physical characteristics relevant to each one. From the analyzes carried out by the application of the scripts, it is intended to implement the application proposals to improve the student's teaching-learning process, as well as to facilitate the approach of physical concepts by the teacher, which in many cases is restricted only to the use of textbooks.

Keywords: Didactic scripts. Hydrodynamics. Flow meters. Experimental physics. Fluids.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Filete de corrente.....	18
Figura 2 – Fluxo de massa.....	21
Figura 3 – Normal externa.....	22
Figura 4 – Massa que atravessa ΔS	22
Figura 5 – Placa de orifício.....	26
Figura 6 – Orifício concêntrico.....	26
Figura 7 - Orifício excêntrico.....	27
Figura 8 – Orifício segmental.....	27
Figura 9 – Representação de um medidor de tubo de Venturi.....	28
Figura 10 – Fenômeno de Venturi.....	29
Figura 11 – Bocal de vazão.....	30
Figura 12 – Tubo de Pitot.....	31
Figura 13 – Perturbação do escoamento.....	31
Figura 14 – Tubo de Pitot.....	32
Figura 15 - Hidrômetro em vista superior e em corte horizontal.....	33
Figura 16 - Hidrômetro em vista lateral e em corte vertical.....	34
Figura 17 – Rotâmetro.....	35
Figura 18 – Manômetro de tubo em U.....	36
Figura 19 – Bancada de medidores de vazão: circuito água.....	38
Figura 20 – Bancada de medidores de vazão: circuito ar.....	38
Figura 21 – Anemômetro digital com hélice remota.	40
Figura 22 – Manômetros 04 e 05.....	40
Figura 23 – a) Rotâmetro, b) VRV, c) Hidrômetro.....	41
Figura 24 – a) Manômetro 1, 2 e 3; b) Painel elétrico; c) Recipiente graduado para vazão real de calibração.....	41
Figura 25 – Manômetro com reservatório inclinado.	45
Figura 26 – Gráfico do perfil de velocidade.....	47
Figura 27 – Perfil de velocidade em regime laminar.....	48
Figura 28 - Gráfico da relação entre os Δh obtidos pelo manômetro 04 em função das velocidades obtidas via tubo de Pitot.....	52

Figura 29 – Gráfico de relação da pressão dada pelo manômetro 01 e a vazão de um fluido (água) registrada no hidrômetro.....	54
Figura 30 – Gráfico do comportamento da vazão para diferentes medidores de vazão.....	57
Figura 31 – Gráfico do comportamento dos medidores de vazão em relação à vazão real.....	58
Figura 32 – Gráfico dos dados da pressão (medidor Venturi) em função da vazão real de calibração.....	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Dados experimentais do roteiro A.....	44
Tabela 2 – Valores obtidos através do roteiro A.....	45
Tabela 3 – Dados experimentais do roteiro B.....	49
Tabela 4 – Valores obtidos através do roteiro B.....	49
Tabela 5 – Dados experimentais do roteiro C.....	51
Tabela 6 – Dados experimentais do roteiro D.....	54

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

UFFS	Universidade Federal da Fronteira Sul
GUM	Guia para a Expressão de Incerteza e Medição
AV	Anemômetro de Ventoinha
RA	Reservatório de Água
BC	Bomba Centrífuga
VRV	Válvula para Regulagem de Vazão
PO	Placa de Orifício
RG	Recipiente Graduado
VB	Válvula de Bloqueio
SC	Soprador Centrífugo
Rt	Medidor comercial de vazão tipo Rotâmetro
Hd	Medidor comercial de vazão tipo Hidrômetro
Vt	Medidor de vazão tipo Venturi
Pt	Medidor de velocidade tipo Pitot
MUPt	Manômetro de tubo em U do medidor de velocidade tipo Pitot
MUVt	Manômetro de tubo em U do medidor de vazão tipo Venturi
MUPO	Manômetro de tubo em U da Placa de Orifício
MI Pt	Manômetro de tubo Inclinado do medidor de velocidade tipo Pitot

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
2.1	A PRÁTICA EXPERIMENTAL NO ENSINO DE FÍSICA.....	14
2.2	PROPRIEDADES DE FLUIDOS.....	15
2.3	PRINCÍPIOS DA HIDRODINÂMICA.....	17
2.3.1	Equação de Bernoulli	17
2.3.2	Equação da continuidade	21
2.4	INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO.....	24
2.4.1	Medidores de vazão por diferencial de pressão	25
2.4.1.1	Placa de Orifício.....	25
2.4.1.2	Tubo Venturi.....	27
2.4.1.3	Bocal de Vazão.....	30
2.4.1.4	Tubo de Pitot.....	31
2.4.2	Hidrômetro	33
2.4.3	Rotâmetro	35
2.4.4	Manômetro	36
3	METODOLOGIA	37
3.1	APARATO EXPERIMENTAL.....	37
3.2	ATIVIDADES DE DEMONSTRAÇÃO/OBSERVAÇÃO.....	42
3.1	ATIVIDADES DE VERIFICAÇÃO.....	43
4	RESULTADOS	44
4.1	ANÁLISE DO ROTEIRO A.....	44
4.2	ANÁLISE DO ROTEIRO B.....	49
4.3	ANÁLISE DO ROTEIRO C.....	52
4.4	ANÁLISE DO ROTEIRO D.....	55
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	60
	REFERÊNCIAS	62
	ANEXO A – Roteiro: Medição da velocidade do ar utilizando o tubo de Pitot.....	66
	ANEXO B – Roteiro: Verificação da relação entre pressão e velocidade utilizando o tubo de Pitot e Placa de Orifício.....	69
	ANEXO C – Roteiro: Verificação da relação entre vazão e pressão de um fluido.....	72
	ANEXO D – Roteiro: Análise comparativa entre Manômetros de coluna em U.....	75

1 INTRODUÇÃO

Ao longo dos anos o relato de dificuldades apresentadas durante o processo de aprendizagem de Física nos cursos de graduação tornou-se uma constante. Como consequência destas dificuldades, elevam-se os índices de evasão, que já são significativos em cursos de baixa procura. Estes cursos envolvem particularmente a graduação em física e se espalham em toda a gama das ciências exatas. Segundo BIAZUS (2004) os cursos considerados de alta evasão são principalmente cursos de licenciatura, pelo qual sobressai a pouca seletividade e baixo prestígio social. Além de ser um curso de baixa procura, a licenciatura em física também exige características específicas do aluno previamente interessado, como dedicação e persistência (BARROSO e FALCÃO, 2004).

A busca por meios que tornem o processo de aprendizagem instigante, no qual exista interesse contínuo por parte dos estudantes, é incessante. Neste contexto, a prática de atividades experimentais entra com braços fortes. A experimentação, motivo de curiosidade e de entusiasmo entre os alunos, seja qual for a área do conhecimento, apresenta um carácter ainda mais motivador, lúdico e essencialmente associado aos sentidos, quando aplicado durante o ensino. Aristóteles, há mais de 2300 anos já defendia a importância da experiência, afirmando que “quem possuir a noção sem a experiência, e conhecer o universal ignorando o particular nele contido, enganar-se-á muitas vezes no tratamento” (ARISTÓTELES, 1979).

Promovendo a interação do aluno com o meio, as atividades experimentais vão muito além. Observação, análise, exploração, planejamento e levantamento de hipóteses são algumas das habilidades desenvolvidas durante a execução da experimentação, instigando ao aluno sempre o desejo em conhecer mais, em saber mais, em entender mais. Assim, o processo de aprendizagem por meios ativos torna-se ainda mais significativo e contextualizado, interligando fenômenos naturais e físicos de forma construtiva.

Deste modo, visando amenizar as dificuldades encontradas pelos estudantes do curso de licenciatura em física, principalmente, durante os estudos da hidrodinâmica, este trabalho desenvolveu quatro roteiros didáticos aplicáveis à bancada de medidores de vazão que está instalada no laboratório de fluidos e termodinâmica da Universidade Federal da Fronteira Sul, *campus* Realeza/PR. Entre os quatro roteiros didáticos, dois são destinados a aplicação no circuito de ar e os outros dois são destinados a aplicação no circuito de água.

Os roteiros didáticos propostos são fechados e variam entre si por atividades de

demonstração/observação e verificação, e princípios de funcionamento. Através dos roteiros didáticos, os objetivos aplicáveis à bancada são:

- Observar e entender, experimentalmente, as diferenças entre um medidor de vazão primário e os medidores secundários que necessitam ser calibrados ou aferidos, para líquido;
- Entender os princípios de funcionamento de medidores primário: tubo de Pitot e volumétrico, e de medidores secundários, tais como: hidrômetro, rotâmetro, venturi e placa de orifício;
- Através de metodologias específicas dos medidores primários de vazão, realizar aferições/calibrações de medidores secundários.

Este trabalho contempla as propostas de aplicação dos roteiros didáticos para a bancada de medidores de vazão, bem como as referidas análises que envolvem os conceitos físicos indicados ao estudo da hidrodinâmica para fluidos não viscosos.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 A PRÁTICA EXPERIMENTAL NO ENSINO DE FÍSICA

A Física, de modo geral, colabora com o desenvolvimento científico e tecnológico por intermédio das contribuições desenvolvidas ao longo da história, atingindo esferas econômicas, políticas e sociais. Podemos observar sua atuação entre os mais diversos setores da ciência, técnica e produção. É a partir dela, que podemos conhecer as leis gerais da Natureza, que estabelecem o desenvolvimento dos processos que regem o Universo.

Embora fundamental para o esclarecimento humano, no que tange a explicação de fenômenos vivenciais, a Física não é compreendida pela maioria da sociedade. Isso se evidencia desde a escola, onde é verificável altos índices de reprovação que denunciam o baixo aproveitamento da Física como disciplina escolar. Apesar de ser uma disciplina que comporta uma ciência experimental e cotidiana, o ensino da mesma vem sendo aplicada de maneira desarticulada, perante apresentação somente de conceitos, leis e fórmulas matemáticas, alguns exercícios repetitivos que acabam apenas por estimular a memorização e automatização, como uma forma mecânica (BRASIL, 2000).

No que tange ao ensino superior, os componentes curriculares que envolvem a Física tendem a necessitar de um conhecimento básico do acadêmico. Devido a deficiência de aprendizagem obtida no ensino médio, alguns destes acadêmicos tendem a apresentar dificuldades no decorrer do semestre, no qual as reprovações e evasões tornam-se presentes, mesmo em componentes que comportam o uso experimental. Este fato não é observável apenas no Brasil. De acordo com FERREIRA et. al. (2009), o insucesso nas disciplinas de Física obtido pelos acadêmicos ingressantes no ensino superior é universal.

Visando reparar as dificuldades encontradas durante o processo de ensino-aprendizagem da Física, a experimentação tem sido analisada e, apontada, nas últimas décadas, como um recurso em potencial no desenvolvimento de saberes conceituais (GALIAZZI et al., 2001). A partir de atividades experimentais os acadêmicos tendem a estimular seu instinto reflexivo, possibilitando a análise de fenômenos físicos presentes no seu dia a dia.

Conforme GASPAR (2005, p. 227) “é por meio dos experimentos que as ciências encantam e aguçam o interesse das pessoas”. Assim, o aluno torna-se mais ativo no seu processo de aprendizagem, aprender não se resume ao ato de memorização e, ensinar, não se prende somente à passagem de conteúdos já estabelecidos mecanicamente. O uso da experimentação,

na Física, tende a motivar os alunos a aplicação da investigação e senso crítico. Segundo LEITE; MENDES (2000), “aprende-se participando, vivenciando sentimentos, tomando atitudes diante dos fatos, escolhendo procedimentos para atingir determinados objetivos”. No entanto, é válido ressaltar que estes benefícios que envolvem o aproveitamento da aprendizagem, tendem a serem alcançados quando se é aplicado estratégias metodológicas adequadas.

A utilização adequada de diferentes metodologias experimentais tenha elas a natureza de demonstração, verificação ou investigação, pode possibilitar a formação de um ambiente propício ao aprendizado de diversos conceitos científicos sem que sejam desvalorizados ou desprezados os conceitos prévios dos estudantes. Assim, mesmo as atividades de caráter demonstrativo, (...) que visam principalmente a ilustração de diversos aspectos dos fenômenos estudados, podem contribuir para o aprendizado dos conceitos físicos abordados, na medida em que essa modalidade pode ser empregada através de procedimentos que vão desde uma mera observação de fenômenos até a criação de situações que permitam uma participação mais ativa dos estudantes, incluindo a exploração dos seus conceitos alternativos de modo a haver maiores possibilidades de que venham a refletir e reestruturar esses conceito (ARAÚJO e ABIB, 2003, p. 190).

Para uma aplicação metodológica ativa efetiva, a prática e uso do laboratório experimental de Física torna-se uma ferramenta fundamental no processo de ensino-aprendizagem. Além do conteúdo previsto poder ser aplicado de forma dinâmica, o aluno desenvolve-se como um indivíduo capaz de formar sua marca na sociedade, tornando-se ativo e participante, agente de transformação. A experimentação evita que as ciências sejam interpretadas como algo estático e inquestionável, sendo imprescindível para a aplicação das competências em física e promovendo ao aluno uma garantia de construção do conhecimento (BRASIL, 2000).

Visando alcançar estes domínios e, analisando os aparatos experimentais disponíveis no laboratório de fluidos e termodinâmica da Universidade Federal da Fronteira Sul, campus Realeza, se buscará propor uma solução aplicável para o estudo da mecânica dos fluidos a partir da análise de uma bancada de medidores de vazão.

2.2 PROPRIEDADES DE FLUIDOS

O fluido, segundo HALLIDAY (2012, p. 59), ao contrário do sólido, caracteriza-se como uma substância que pode escoar, e que por não resistir a forças paralelas à superfície, assume a

forma do recipiente em que é colocado. Para ÇENGEL e CIMBALA (2006), fluido é uma substância no estado líquido ou no estado gasoso, no qual a diferença entre eles é a resistência a uma tensão de cisalhamento aplicada. Algumas características e propriedades que envolvem os fluidos são pertinentes, como:

- Densidade (ou massa específica): diz respeito à quantidade de matéria contida em um certo volume do fluido analisado. Encontra-se através da razão entre a massa (m) do fluido e o volume (V) ocupado por ele. No Sistema Internacional de Unidades (SI), a unidade de medida é o kg/m^3 .

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1)$$

- Pressão: grandeza escalar definida como o módulo da força aplicada dividida por unidades de área. A unidade de pressão no SI é o Pascal (Pa), que equivale à aplicação de uma força de 1 N sobre uma área de 1 m^2 .

$$P = \frac{F}{A} \quad (2)$$

- Pressão hidrostática: em repouso, um fluido pode exercer pressão, conhecida como pressão hidrostática ou manométrica, que é proporcional a densidade e a altura em que o fluido se encontra. Essa pressão pode ser calculada pelo produto entre massa específica (ρ), aceleração da gravidade (g) e altura do fluido (h).

$$P = \rho \cdot g \cdot h \quad (3)$$

no SI, a unidade de medida é o Pascal (Pa). Através do teorema de Stevin, pode-se determinar a pressão em um ponto qualquer no interior de um fluido. Para isso, considera-se se o fluido encontra-se ou não sujeito a uma pressão externa, como a pressão atmosférica (P_0) e depende da profundidade (h).

$$P = P_0 + \rho \cdot g \cdot h \quad (4)$$

- Viscosidade: propriedade física que caracteriza a resistência de um fluido ao escoamento. A viscosidade corresponde ao atrito interno nos fluidos devido às interações intermoleculares, normalmente, em função da temperatura, evidenciando a capacidade da substância em fluir. Habitualmente sua percepção é relacionada à “grossura” do fluido, ou resistência ao despejamento.
- Vazão: a vazão (Q) corresponde a quantidade volumétrica (V) ou mássica de um fluido que escoar através de uma seção de uma tubulação ou canal por unidade de tempo (t).

$$Q = \frac{V}{t} \quad (5)$$

no SI, a unidade de medida é o m³/s.

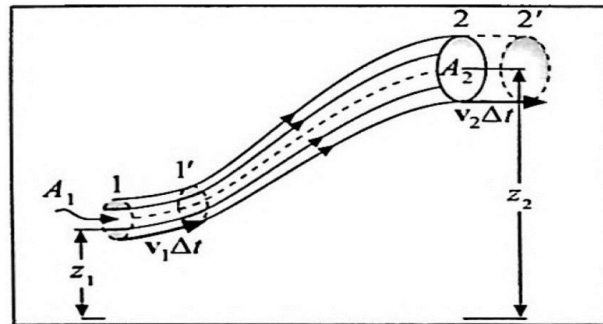
2.3 PRINCÍPIOS DA HIDRODINÂMICA

Conhecida também como dinâmica dos fluidos, a hidrodinâmica caracteriza-se como a área da física destinada ao estudo do movimento dos fluidos, que incluem líquidos e gases. Além de considerar as variáveis que atuam sob os fluidos em movimento, como a força, velocidade e aceleração, a hidrodinâmica também associa as propriedades destes fluidos, como a pressão, densidade e temperatura, investigadas no desenvolvimento dos roteiros produzidos neste trabalho. Para a verificação teórica dos conceitos físicos que abrangem a hidrodinâmica e, que são intrínsecos aos equipamentos que constituem a bancada, o livro Fluidos, Oscilações e Ondas de Calor de H. Moysés Nussenzeig (5ª edição, volume 02, ano 2014) foi utilizado e tornou-se a base deste estudo.

2.3.1 Equação de Bernoulli

Para iniciarmos as discussões acerca da hidrodinâmica, vejamos a figura 1.

Figura 1 – Filete de corrente.



Fonte: NUSSENZVEIG (2014).

A Figura 1 compreende o caso de um tubo de corrente restrito por duas seções transversais de áreas A_1 e A_2 , localizadas no entorno dos pontos 1 e 2 de um fluido, respectivamente. As pressões são p_1 e p_2 , as magnitudes das velocidades v_1 e v_2 e as alturas em relação a um plano horizontal de referência z_1 e z_2 . O tubo estreito representado, conhecido também como filete de corrente, deve estar consideravelmente delgado para que a variação de todas as grandezas sobre a sua seção transversal, seja desconsiderada.

Ao longo de um intervalo de tempo infinitesimal Δt , a porção considerada do filete, compreendida entre as seções 1 e 2, desloca-se para uma nova posição compreendida entre 1' e 2'. A porção do filete contida entre as seções 1' e 2' não necessita ser considerada no balanço de energia, pois devido o escoamento ser estacionário, as condições nessa porção não se alteram.

Para a realização do balanço de energia deste sistema onde ocorre escoamento estacionário, verifiquemos que tudo ocorre como se a porção entre 1 e 1' fosse transportada para a região compreendida entre 2 e 2'. Neste caso, a massa do fluido contida entre as seções A_1 e A_2 não varia com o decorrer do tempo, isto é, a massa Δm_1 que entra por A_1 num intervalo de tempo Δt tem de ser igual à massa Δm_2 que sai do tubo por A_2 nesse mesmo intervalo, assim

$$\Delta m_1 = \rho * A_1 * v_1 * \Delta t = \rho * A_2 * v_2 * \Delta t = \Delta m_2. \quad (6)$$

Neste transporte, a variação de energia cinética tem de ser

$$\Delta T = \frac{1}{2} \Delta m_2 v_2^2 - \frac{1}{2} \Delta m_1 v_1^2 \quad (7)$$

que é igual ao trabalho das forças de pressão e pela gravidade que atuam sobre o sistema. O

deslocamento $1 \rightarrow 1'$ ocorre no mesmo sentido das forças de pressão, já o deslocamento $2 \rightarrow 2'$ ocorre em sentido contrário, no qual o trabalho das forças de pressão é dado por,

$$W_p = (p_1 A_1)(v_1 \Delta t) - (p_2 A_2)(v_2 \Delta t) \quad (8)$$

Já o trabalho realizado pelas forças gravitacionais é contrário à variação da energia potencial gravitacional, assim

$$W_g = -g(\Delta m_2 z_2 - \Delta m_1 z_1) \quad (9)$$

Somando as expressões (8) e (9) e igualando o resultado à (7),

$$\frac{1}{2} \Delta m_2 v_2^2 - \frac{1}{2} \Delta m_1 v_1^2 = p_1(A_1 v_1 \Delta t) - p_2(A_2 v_2 \Delta t) - g(\Delta m_2 z_2 - \Delta m_1 z_1)$$

já que $\Delta m_1 = \Delta m_2$, obtemos

$$\frac{1}{2} v_2^2 + g z_2 + \frac{p_2}{\rho} = \frac{1}{2} v_1^2 + g z_1 + \frac{p_1}{\rho} \quad (10)$$

A expressão (10) evidencia a conservação de energia por unidade de massa ao longo do filete. Foi suposto que o fluido é incompressível porque, para um fluido compressível, existe a possibilidade adicional da variação da energia interna armazenada sob a forma de energia térmica. Para o caso considerado do fluido incompressível, essa possibilidade não existe, e a expressão (10) multiplicada por, resulta na equação de Bernoulli:

$$\frac{1}{2} \rho v^2 + p + \rho g z = C \quad (11)$$

no qual C é a constante ao longo de um filete.

Publicada por Daniel Bernoulli em seu tratado “Hidrodinâmica” (1738), a expressão (11), reformulada a partir da conhecida Lei de Stevin para fluidos em repouso, é utilizada para descrever o escoamento de fluidos no interior de um tubo ou duto. Nesta expressão, a pressão se comporta como uma densidade de energia potencial, energia esta associada às forças

superficiais internas, que podem realizar trabalho sobre a superfície de um elemento de volume quando essa superfície se move. A constante C pode, em geral, tomar valores diferentes sobre filetes de corrente diferentes, no qual em análise um valor de C deve ser associado a cada linha de corrente. Porém, é frequente aplicar a equação de Bernoulli ao escoamento estacionário de um líquido que se origina num grande reservatório, cuja superfície livre está em contato com a atmosfera.

As linhas de corrente originam-se na superfície do reservatório, que é horizontal e se mantém quase inalterada, apesar do escoamento, se o reservatório é suficientemente grande. Deste modo, na superfície do reservatório, $p = p_0$ (pressão atmosférica), $z = z_0 = \text{constante}$, e v^2 é desprezível, assim

$$C = p_0 + \rho g z_0 \quad (12)$$

que possui nesse caso o mesmo valor para todo o escoamento, ou seja, para todas as linhas de corrente originárias da superfície do reservatório.

A hidrostática é um caso limite, obtido quando $v \rightarrow 0$. Neste caso, C é constante em todo o fluido e a equação (12), torna-se

$$p(z_2) - p(z_1) = -\rho g(z_2 - z_1) \quad (13)$$

Ao dividirmos todos os termos da equação (12) por $\rho * g$, encontramos outra forma equivalente a equação de Bernoulli:

$$z + \frac{v^2}{2g} + \frac{p}{\rho g} = C' \quad (14)$$

onde $C' = C/(\rho * g)$ também é constante ao longo de um filete de corrente. Todos os termos da equação (14) possuem dimensões de comprimento e costumam ser interpretados em termos de alturas. O termo z é simplesmente a altura do filete em relação ao plano horizontal de referência no ponto considerado, ou altura geométrica. O termo $v^2/(2g)$, conhecido na “fórmula de Torricelli”, representa a altura da qual um corpo deve cair em queda livre a partir do repouso para adquirir a velocidade v , e chama-se altura cinética. Já o termo $h = p/(\rho * g)$ representa a altura da coluna do fluido considerado, correspondente à pressão p em um

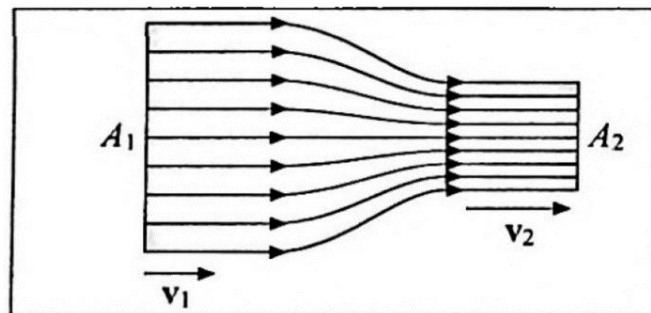
barômetro que emprega esse fluido; esse termo é chamado de altura piezométrica, ou seja, de medida da pressão.

A equação de Bernoulli expressa na equação (14) declara que a soma das alturas geométrica, cinética e piezométrica permanece constante ao longo de cada linha de corrente, no escoamento estacionário de um fluido incompressível no campo gravitacional.

2.3.2 Equação da continuidade

Consideremos o caso de um escoamento estacionário e uma porção de tubo de corrente situada entre duas seções transversais de áreas A_1 e A_2 , no qual as velocidades e densidades são, respectivamente, (v_1, ρ_1) e (v_2, ρ_2) .

Figura 2 – Fluxo de massa.



Fonte: NUSSENZVEIG (2014).

Como visto anteriormente, por se tratar de um escoamento estacionário, a massa do fluido contida entre as seções A_1 e A_2 não pode variar com o tempo, como mostra a expressão (6), o que resulta em

$$\rho_1 A_1 v_1 = \rho_2 A_2 v_2 \quad (15)$$

assim sendo, o produto ρAv permanece constante ao longo do tubo de corrente, representando o fluxo de massa por unidade de tempo através da seção transversal do tubo. Caso o fluido seja incompressível, temos $\rho_1 = \rho_2 = \rho = \text{constante}$ e a expressão (15), torna-se

$$A_1 v_1 = A_2 v_2 \quad (16)$$

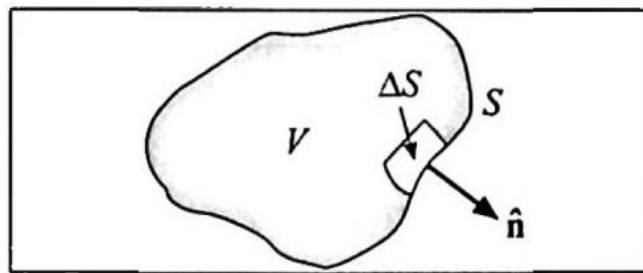
O produto $Av = \text{constante}$, neste caso, mede o volume de fluido que atravessa a seção transversal do tubo por unidade de tempo, e chama-se vazão do tubo. A vazão é medida em

m^3/s . A expressão (16) mostra que, para um fluido incompressível, a velocidade é inversamente proporcional à área da seção transversal do tubo de corrente considerado. Desse modo, nas regiões onde o tubo sofre um estrangulamento, o fluido tem de se escoar mais rapidamente, para que a vazão permaneça a mesma.

Por outro lado, para o caso de um fluido compressível, como um gás, a expressão (15) mostra que, se a área A do tubo de corrente permanece a mesma, a densidade varia na razão inversa da velocidade. Ao se formular o princípio de conservação da massa no caso geral do escoamento não estacionário de um fluido compressível, desconsidera-se tubos de corrente, pois as linhas de corrente mudam a cada instante.

Para isso, tomamos um volume V fixo do fluido, limitado por uma superfície fechada S , no qual \hat{n} é o vetor unitário da normal externa, dirigida para fora de V em cada ponto S .

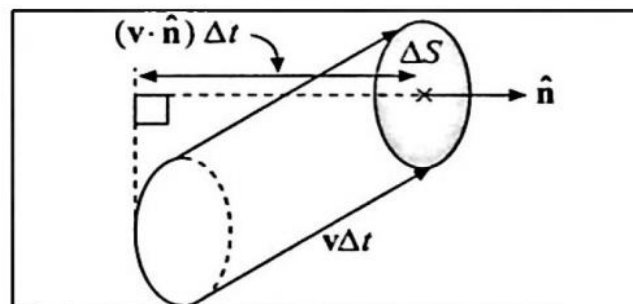
Figura 3 – Normal externa.



Fonte: NUSSENZVEIG (2014).

A massa Δm de um fluido que atravessa ΔS num intervalo de tempo infinitesimal Δt está contida em um cilindro de base ΔS e geratriz $\vec{v}\Delta t$, onde \vec{v} é a velocidade do fluido no entorno de ΔS no instante considerado, que em geral é oblíqua a ΔS .

Figura 4 – Massa que atravessa ΔS .



Fonte: NUSSENZVEIG (2014).

De acordo com a Figura 17, $\vec{v} \cdot \hat{n} > 0$, a altura do cilindro é $\vec{v} \cdot \hat{n} \Delta t$, de modo que

$$\Delta m = \rho \vec{v} \cdot \hat{n} \Delta t \Delta S \quad (17)$$

o termo $\vec{v} \cdot \hat{n} \cdot \Delta S$ descreve o fluxo de massa para fora do volume V , por unidade de tempo através de ΔS , no instante considerado. O caso continua válido se $\vec{v} \cdot \hat{n} < 0$, tal como se o sinal de \vec{v} fosse invertido na Figura 4. À vista disso, o sinal negativo estaria representando o fluxo movendo-se para o interior de V .

Através da expressão (17), temos que o fluxo resultante por unidade de tempo é dado por

$$\oint_S \rho \vec{v} \cdot \hat{n} dS = 0 \quad (18)$$

O termo dS representa o elemento de superfície e \oint_S significa a integral estendida à superfície fechada S . A expressão (18) representa o fluxo de decréscimo por unidade de tempo da massa de fluido contida em V , desse modo

$$\oint_S \rho \vec{v} \cdot \hat{n} dS = -\frac{dm}{dt} = -\frac{d}{dt} \int_V \rho dV \quad (19)$$

onde o sinal é negativo devido $dm/dt < 0$ quando o fluxo total para fora é positivo. A equação (19) é a expressão geral da lei de conservação da massa num fluido, denominada equação da continuidade.

Para o caso de um escoamento estacionário, a densidade ρ em cada ponto é independente do tempo e o 2º membro da expressão (19) se anula. Se considerarmos como volume V a porção de tubo de corrente ilustrada na Figura 15, o 1º membro torna-se

$$\rho_2 A_2 v_2 - \rho_1 A_1 v_1 = 0 \quad (20)$$

de modo que (19) se reduz à (15), neste caso. É válido ressaltar que o fluxo através da superfície lateral de um tubo de corrente é nulo, visto que $\vec{v} \cdot \hat{n} = 0$ nas paredes do tubo.

2.4 INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO

Visando abordar o desempenho do fluido, tanto de forma estática quanto de forma dinâmica, a mecânica dos fluidos como uma ciência, visa estabelecer o comportamento e as leis que regem essas substâncias. Para isso, conhecer a vazão torna-se importante para a análise do desempenho dos fluidos em geral.

Conforme SMARTINS & PIRES (2019), os primeiros relatos do cálculo de vazão foram realizados no Egito e na Roma pelo engenheiro militar Sexto Julius Frontinus (36 d.C. a 104 d.C.), no qual escreveu o primeiro livro sobre abastecimento de água, “Das águas da cidade de Roma”. Ao passar dos anos, o cálculo de vazão foi se desenvolvendo cada vez mais através do surgimento de novas teorias, como o Teorema Fundamental do Cálculo, o que oportunizou o uso de integrais diferenciais, como ferramenta para calcular a velocidade média de um fluido, dessa forma determinando a vazão com uma maior precisão e amenizando desperdícios, junto a distribuição do abastecimento de água.

De acordo com BRUNETTI (2008), a vazão é a terceira grandeza mais medida nos processos industriais, pois permite a medição e o controle da quantidade de fluxo de líquidos, gases e até sólidos granulados, não só para fins contábeis, como também para a verificação do rendimento do processo. Assim, estão disponíveis no mercado diversas tecnologias de medição de vazão, cada uma tendo sua aplicação mais adequada conforme as condições impostas pelo processo.

Existem duas classes de medidores de vazão, os medidores primários (considerados padrões) e os medidores secundários. Os medidores primários são aqueles em que a medição é realizada de forma direta, isto é, são aqueles cujas técnicas de medidas são feitas de maneira fundamental. Já os medidores secundários, são aqueles que necessitam ser calibrados e/ou aferidos em função de medidores primários. São eles: rotâmetros, anemômetros, hidrômetros, venturi, placa de orifício, bocais, vertedores, calhas Parshall, entre outros. Estes medidores secundários, utilizam algum outro parâmetro e os transformam para vazão através de relações. Por exemplo, a placa de orifício realiza a medição de diferença de pressão, e através dessa diferença, obtém-se a vazão.

Existe uma variedade de tipos de medidores e cada medidor utiliza, geralmente, um meio físico como metodologias para as medições: medidores de pressão diferencial, medidores por deslocamento positivo, medidores de área variável, medidores tipo turbina, medidores através de vórtices, medidores eletromagnéticos, medidores por efeito Coriolis, medidores ultrassônicos, medidores termais e outros. A seguir, verifiquemos com maiores detalhes tanto

os medidores de vazão por diferencial de pressão, como também os medidores de vazão de obstrução, rotâmetro, hidrômetro e demais instrumentos que envolvem a bancada aqui estudada.

2.4.1 Medidores de vazão por diferencial de pressão

Os medidores de vazão por diferencial de pressão, também conhecidos como deprimogênios ou como medidores de vazão DP, fazem uso de um corpo de vazão denominado elemento primário, que é instalado dentro de um tubo para causar uma constrição no trajeto do fluxo que, por sua vez, cria uma queda de pressão.

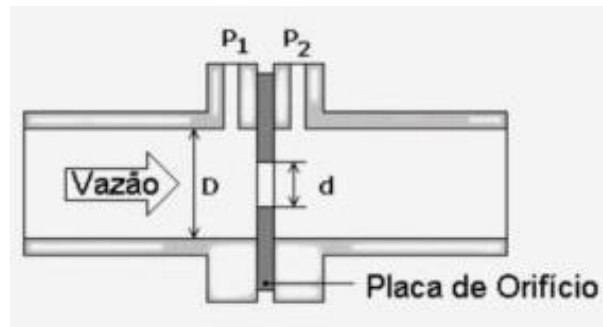
Quando o elemento primário é usado em conjunto com um transmissor de pressão diferencial, a taxa de fluxo volumétrica pode ser calculada como uma função da pressão diferencial através da obstrução; daí o termo “medidor de vazão de pressão diferencial”. Ou seja, esses elementos reduzem a área da seção em um pequeno comprimento, resultando em um aumento da velocidade do fluido, que é acompanhada pela queda de sua pressão. A correlação da diferença de pressão com a velocidade fornece um meio para medir a vazão volumétrica, esta, por sua vez, é associada com a velocidade do fluido, segundo a equação de Bernoulli.

A equação de Bernoulli foi formulada considerando velocidades médias nas seções transversais. Entretanto, cada seção distinta de uma tubulação pode apresentar variações em sua curva de velocidades. Por esta razão, em alguns casos, se deve aplicar coeficientes de correção à equação de Bernoulli quando se utilizam medidores deprimogênios.

2.4.1.1 Placa de Orifício

A placa de orifício funciona restringindo a tubulação onde a medição é realizada. Esta restrição é gerada pelo orifício que é feito em uma placa de espessura e inserida na tubulação. Pela restrição da placa, o fluxo é sujeito a mudar de velocidade, o que conseqüentemente, ocasiona diferencial de pressão. Considerado um instrumento simples, de baixo custo e eficaz, a placa de orifício como equipamento para controle de vazão, é aplicado para a medição de vazão em processos industriais. Estima-se que o mesmo é utilizado em 80% dos casos.

Figura 5 – Placa de orifício.



Fonte: RIBEIRO (1997).

O tipo mais comum de orifício é o concêntrico, porém dependendo da necessidade podem ser utilizadas placas com orifícios excêntricos ou segmentais, escolhidos em função dos tipos de impurezas encontradas no fluido. Vejamos:

- Orifício concêntrico: aplicado para líquidos, gases e vapor que não possuam sólidos em suspensão.

Figura 6 – Orifício concêntrico



Fonte: Elaborado pela autora.

- Orifício excêntrico: empregado no caso de fluidos que contenham sólidos em suspensão, os quais possam ser retidos e acumulados na base da placa, sendo o orifício posicionado na parte de baixo do tubo.

Figura 7 - Orifício excêntrico.



Fonte: Elaborado pela autora.

- Orifício segmental: possui abertura para passagem de fluido, disposta em forma de segmento de círculo. Aplicado em fluidos laminados e com alto percentual de sólidos em suspensão.

Figura 8 – Orifício segmental.



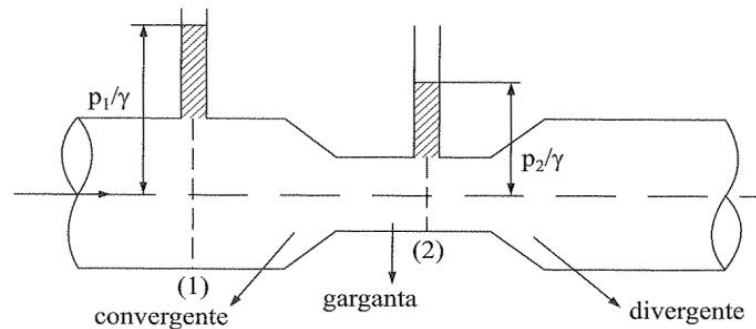
Fonte: Elaborado pela autora.

2.4.1.2 Tubo Venturi

Criado por Clemens Herschel em 1881, o Tubo Venturi se constitui como um dos métodos mais utilizados para a medição de vazão em tubos, podendo ser mais preciso em relação a orifícios e bocais, por apresentar menor perda de carga, devido à recuperação de pressão. Característico por ser autolimpante, o tubo impede a acumulação de partículas sólidas, oportunizando a medição de vazão de fluidos com grande quantidade de sedimentos (FOX; MCDONALD, 1995).

De acordo com CID e CORREA (2019) o tubo Venturi, inspirado na equação de Bernoulli, é um aparato utilizado para obter a velocidade do escoamento de um líquido incompressível. No tubo, um líquido atravessa uma região com maior seção transversal e em seguida outra região de menor seção transversal. A partir da diferença de pressão entre as duas regiões, aferida através do deslocamento de colunas do líquido, é possível obter as velocidades do líquido nas regiões.

Figura 9 – Representação de um medidor de tubo de Venturi.



Fonte: BRUNETTI (2008).

De forma geral, de acordo com a Figura 9 o Tubo Venturi consiste em três seções principais: uma peça convergente, outra divergente (difusor) e uma seção intermediária a qual é denominada de garganta e seu diâmetro está compreendido entre $\frac{1}{4}$ e $\frac{3}{4}$ do diâmetro da tubulação (NETTO, 1998).

Logo, suas extremidades possuem diâmetro maior que o seu centro. Conseqüentemente, o tubo de Venturi terá duas pressões diferentes, uma na extremidade e outra no centro. Assim, devido a menor área no centro do tubo, a velocidade tende a aumentar, causando uma menor pressão. A vazão teórica pode ser encontrada através:

$$Q = C_D \cdot A_1 \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho \left(\frac{A_1^2}{A_2^2} - 1 \right)}} \quad (21)$$

Q é a vazão volumétrica teórica (m^3/s);

C_D é o Coeficiente de descarga (-);

A_1 é a área de entrada do tubo de Venturi (m^2);

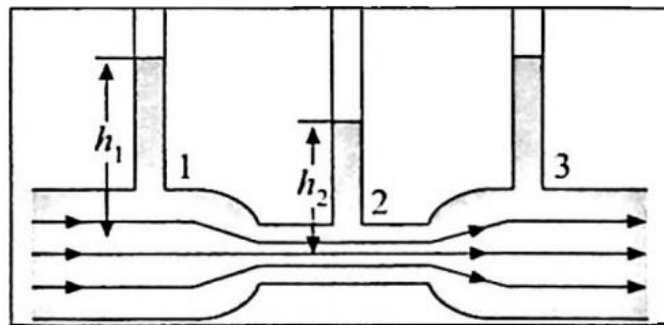
A_2 é a área de saída do tubo de Venturi (m^2);

ΔP é a diferença de pressão no tubo de Venturi (Pa);

ρ é a densidade do líquido (kg/m^3).

Podemos compreender ainda melhor o fenômeno Venturi. Analisemos o escoamento estacionário de um fluido incompressível, como a água, em uma canalização horizontal de seção transversal variável.

Figura 10 – Fenômeno de Venturi.



Fonte: NUSSENZVEIG (2014).

As áreas A_1 e A_2 correspondem às seções nos pontos 1 e 2 e (p_1, v_1) e (p_2, v_2) são as pressões e velocidades correspondentes. Tomemos as seções suficientemente pequenas para que essas grandezas possam ser tomadas como constantes sobre elas, e que as alturas geométricas z das seções possam ser consideradas idênticas. Assim, a equação de Bernoulli (11) faz-se,

$$p_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 = p_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 \quad (22)$$

e a equação de continuidade (16) resulta em

$$v_2 = \frac{A_1}{A_2} v_1 \quad (23)$$

de modo que $v_2 > v_1$ e, conseqüentemente, $p_2 < p_1$. Assim, nas regiões de estrangulamento, onde a velocidade de escoamento é maior, a pressão é menor.

Giovanni Battista Venturi, primeiro observador deste fenômeno, esperava obter o resultado contrário, crendo que a pressão teria de aumentar no estrangulamento, pelo espaço ser menor. Pela constância da vazão, é a própria velocidade que tem de aumentar, e essa aceleração tem de ser devida a uma força, conseqüência de uma queda de pressão.

Na Figura 10, verifiquemos que o líquido sobe até as alturas h_1 e h_2 em manômetros inseridos nos pontos 1 e 2, permitindo medir a diferença de pressão entre p_1 e p_2 ,

$$p_1 - p_2 = (p_0 + \rho g h_1) - (p_0 + \rho g h_2) = \rho g(h_1 - h_2) = \rho g h \quad (24)$$

sendo h a diferença entre as alturas.

O medidor de Venturi é uma das aplicações deste fenômeno, utilizado para medir a velocidade de escoamento ou a vazão em uma tubulação. Para essa função, um estrangulamento é realizado na tubulação por onde o fluido escoar e a diferença de pressão é medida, usando a expressão (24).

Resolvendo as equações (22), (23) e (24) em relação à velocidade desejada v_1 , obtemos

$$v_1 = A_2 \sqrt{\frac{2gh}{A_1^2 - A_2^2}} \quad (25)$$

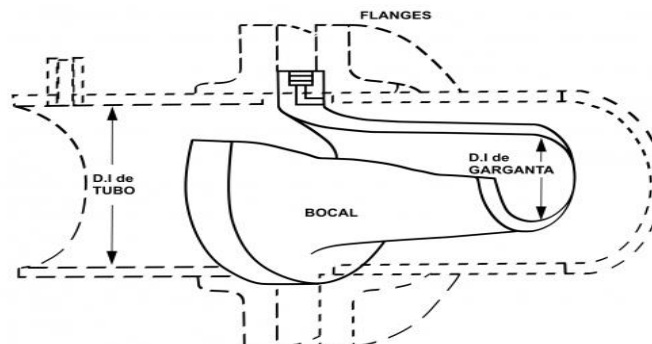
sendo $A_1 * v_1$ a vazão.

Torna-se válido destacar as aplicações do fenômeno de Venturi, que incluem a produção de vácuo e aspiração de fluidos, realizados por intermédio da queda de pressão em um estrangulamento. Este é o princípio das bombas aspirantes, como a trompa de água, que permite evacuar um recipiente até pressões da ordem de 20 mm Hg. Além disso, a aspiração de vapor de gasolina em um motor de explosão também se utiliza deste princípio.

2.4.1.3 Bocal de Vazão

Bocal de Vazão (Flow Nozzle), é utilizado em medições de vazão onde a velocidade do fluido medido é muito alta, e aplicado normalmente para medição de vapor superaquecido em altas pressões e elevadas temperaturas, em caldeiras e turbogeradores.

Figura 11 – Bocal de vazão.



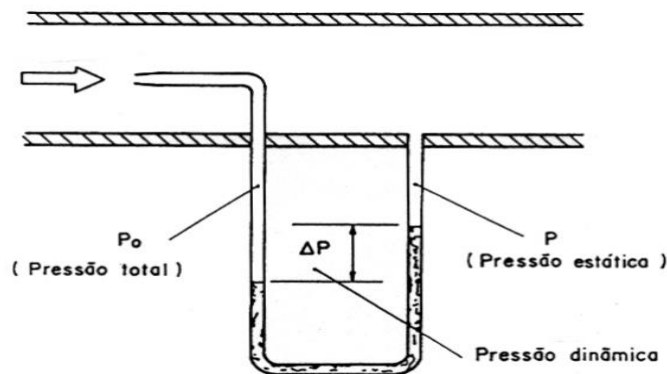
Fonte: PRESYS (2022).

2.4.1.4 Tubo de Pitot

O tubo de Pitot é um instrumento deprimogênio com a característica de medição de velocidades pontuais. Assim, as técnicas de pitometria envolvem várias ações, desde a determinação do diâmetro real da tubulação até o traçado da curva de velocidades.

O tubo possui uma abertura em sua extremidade, sendo esta colocada na direção do fluxo de um fluido em um duto, mas em sentido contrário, no qual a diferença entre a pressão total e a pressão estática da linha fornece a pressão dinâmica, a qual é proporcional ao quadrado da velocidade.

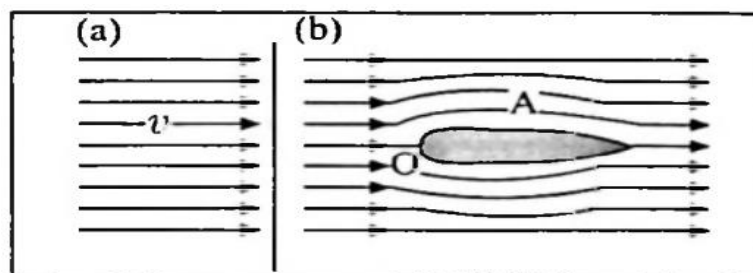
Figura 12 – Tubo de Pitot.



Fonte: SENAI (1999).

A fim de medir a pressão e/ou a velocidade em um fluido em movimento, aplica-se um instrumento de medida específico a este, que geralmente irá perturbar o escoamento e, para associar o resultado obtido com a grandeza a medir, necessita da compreensão da natureza da qual provém a perturbação.

Figura 13 – Perturbação do escoamento.



Fonte: NUSSENZVEIG (2014).

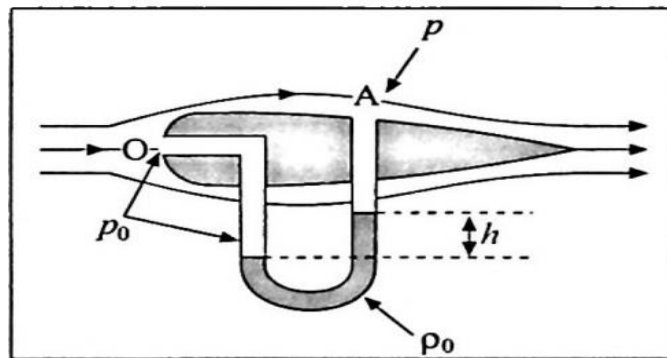
Se inserirmos num campo de escoamento inicialmente uniforme, de velocidade v (Figura 11 (a)) um corpo afilado, de modo “aerodinâmico” (Figura 11 (b)), ele irá perturbar as linhas de corrente da forma indicada. No ponto O (Figura 11 (b)), conhecido como ponto de estagnação, o fluido é freado, ou seja, a velocidade tende a zero. Em contrapartida, no ponto A (Figura 11 (b)), a velocidade de escoamento permanece igual a v , já que o escoamento tende a ter perturbação mínima.

Como p é a pressão em A e p_0 a pressão em O, e a diferença entre esses pontos é desprezível, a equação (11) torna-se, considerando-se $v_0 = 0$ em O.

$$p_0 = p + \frac{1}{2} \rho v^2 \quad (26)$$

No ponto de estagnação, a pressão se eleva para p_0 e torna-se conhecida como pressão dinâmica, devido ao freamento do fluido. Inserindo o corpo afilado em um manômetro diferencial para medir $p - p_0$, adquirimos um tubo de Pitot.

Figura 14 – Tubo de Pitot.



Fonte: NUSSENZVEIG (2014).

Se ρ_0 é a densidade do fluido no tubo em U e h a diferença de nível entre os dois ramos, através de (26) chegamos a

$$p_0 - p = \rho_0 g h = \frac{1}{2} \rho v^2 \quad (27)$$

no qual podemos calcular a velocidade v de escoamento do fluido:

$$v = \sqrt{2 \frac{\rho_0}{\rho} g h} \quad (28)$$

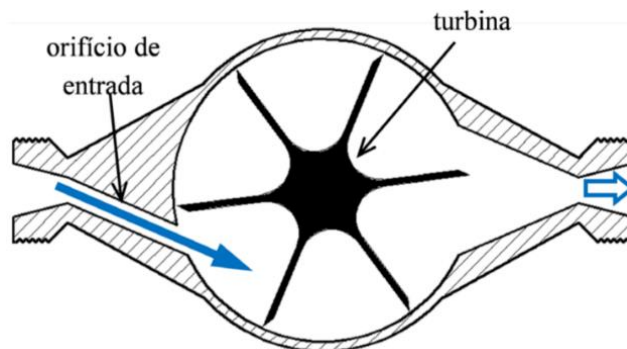
Os tubos de Pitot não são instrumentos recomendados para medição de velocidades variáveis em um dado ponto e, a medição integrada também não pode ser feita em situações onde a vazão muda com o tempo, pois o sistema de leitura de pressão diferencial responde de forma lenta, possuindo limitações para baixas velocidades/vazões e para fluidos que tenham partículas em suspensão. Aplicações bastante comuns do tubo de Pitot ocorrem na aviação, onde através dele determina-se a velocidade da aeronave.

2.4.2 Hidrômetro

O hidrômetro, conforme figuras 15 e 16, é um tipo de medidor de vazão por deslocamento positivo, que funciona como um motor movido pela passagem de fluido, no qual o número de rotações do motor é relacionado à vazão do fluido. De forma geral, possui boa exatidão, entretanto, é limitado a escoamentos permanentes onde se deseja conhecer o volume de fluido que passa pelo sistema, independentemente da perda de carga que o instrumento venha a impor ao mesmo.

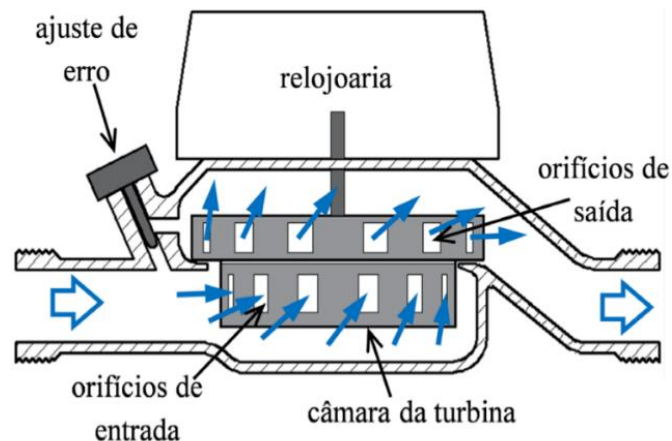
Devido às suas características, seu uso é recomendado para medidas de fluidos limpos, já que partículas suspensas podem acarretar desgastes e decorrentes imprecisões de medida. Nessa categoria, encontram-se os medidores do tipo deslizamento de aletas, trirotor, birotor, pistão, engrenagens, entre outros.

Figura 15 - Hidrômetro em vista superior e em corte horizontal.



Fonte: TAVARES (2021).

Figura 16 - Hidrômetro em vista lateral e em corte vertical.



Fonte: TAVARES (2021).

Apesar do Hidrômetro se destinar à medição do volume de água que o atravessa, o seu dimensionamento, que antecede a sua instalação, se dá através da escolha de sua vazão, que é obtida pelo quociente do volume de água que escoar pelo hidrômetro, pelo tempo de escoamento deste volume, sendo expresso em m^3/h . A escolha de um hidrômetro de vazão adequada ao tipo de consumo garante a perfeita medição do volume consumido, e as vazões admissíveis são divididas em:

- **Vazão Máxima ($Q_{\text{máx}}$):** maior vazão na qual o hidrômetro é exigido a funcionar num curto período de tempo, dentro dos seus erros máximos admissíveis, e devendo manter seu desempenho metrológico, quando, posteriormente, voltar a ser empregado dentro de suas condições normais de trabalho. É expressa em m^3/h .
- **Vazão Nominal (Q_n):** maior vazão nas condições normais de utilização, nas quais o hidrômetro é exigido para funcionar de maneira satisfatória dentro dos erros máximos admissíveis. É considerada como a vazão normal de trabalho de um hidrômetro, correspondendo a 50% da vazão máxima. É expressa em m^3/h .
- **Vazão de Transição (Q_t):** é a vazão que define o ponto a partir do qual o hidrômetro muda de faixa de erros admissíveis, é também chamada de vazão separadora. Corresponde a 5% da vazão máxima.

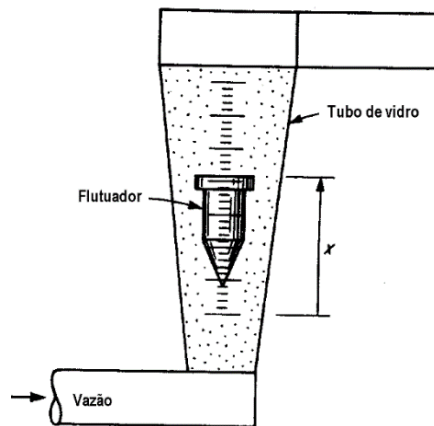
- Vazão Mínima (Q_{min}): menor vazão de trabalho do hidrômetro, com indicações que não possuam erros superiores aos erros máximos admissíveis. Por serem de pequena magnitude são usualmente expressas em l/h.

2.4.3 Rotâmetro

O rotâmetro é um medidor de vazão por área variável. Seu funcionamento baseia-se na força de arrasto exercida pelo fluido sobre um “flutuador” colocado dentro de um tubo cônico de material transparente. A posição de equilíbrio do “flutuador” pode ser relacionada com a vazão do fluido.

O flutuador será elevado pelo fluido e estabilizará numa dada posição, em consequência do equilíbrio de sua força peso com o empuxo do escoamento. A posição que o flutuador estabiliza ao longo desse tubo vertical é usada para a indicação da vazão de um determinado fluido.

Figura 17 – Rotâmetro.



Fonte: GOMES (2022).

O uso do Rotâmetro é limitado a montagens na posição vertical, podendo somente operar com fluidos transparentes. A relação da vazão volumétrica com a posição do flutuador se deve ao equilíbrio entre três forças: o peso que é vertical e para baixo e a força de empuxo juntamente com a força de arrasto que são verticais, para cima, sendo esta última variável em função da posição do flutuador no tubo cônico.

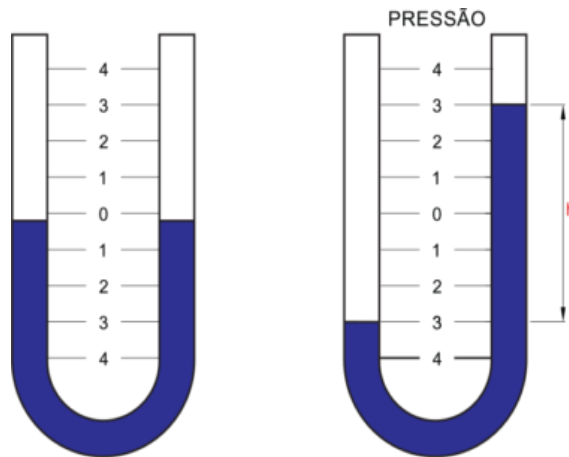
Para uma determinada vazão de um fluido, a posição do flutuador é única. Aumentando-se a vazão, aumenta-se a força de arrasto e o flutuador sobe. Ao subir, a área anular entre o tubo

e o flutuador aumenta, porém diminui a força de arrasto e um novo equilíbrio dinâmico é atingido por esta nova vazão. A vazão é lida numa escala geralmente marcada no próprio tubo cônico à altura do flutuador (FILHO, 2006).

2.4.4 Manômetro

Os manômetros são instrumentos de precisão utilizados para medir a pressão de fluidos, sejam eles líquidos ou gasosos. De modo geral, o princípio de funcionamento deste instrumento implica na aplicação de pressão em um de seus ramos, fazendo com que o líquido contido nele desça por este ramo e suba no outro. A pressão indicada é evidenciada pela diferença de altura em função do movimento do líquido nos dois ramos do manômetro, e lida pela escala graduada, no qual o valor numérico corresponde ao das leituras acima e abaixo do ponto médio, considerado como zero na escala.

Figura 18 – Manômetro de tubo em U.



Fonte: BECKINS (2022).

3 METODOLOGIA

Segundo FORÇA, LABURÚ e SILVA (2011), as atividades experimentais auxiliam os alunos a tornarem-se ativos no processo de aprendizagem, independentemente de serem atividades que possibilitam a manipulação dos materiais pelos alunos ou aquelas demonstradas pelo próprio professor, não necessitando, muitas vezes, de aparato sofisticado. Segundo ARAÚJO e ABIB (2003), o uso de atividades experimentais como estratégia de ensino de Física tem sido apontado por professores e alunos como uma das maneiras mais frutíferas de se minimizar as dificuldades de se aprender e de ensinar física.

Deste modo, os roteiros experimentais produzidos neste trabalho vêm ao encontro desses pressupostos e baseiam-se no módulo didático da ECO EDUCACIONAL (2021), projetado para estudos relativos aos medidores de vazão, primários e secundários, fluido gasoso (ar atmosférico) e líquido (água) disponível no laboratório didático de fluidos e termodinâmica da UFFS - *campus* Realeza-PR.

A abordagem utilizada para a realização dos roteiros experimentais baseia-se em aspectos quantitativos, no qual diversos objetivos podem ser alcançados, principalmente na comparação entre os resultados obtidos e os valores teóricos previstos pela literatura.

De acordo com ARAÚJO e ABIB (2003), a utilização da experimentação quantitativa possibilita, além da verificação de leis físicas e de seus limites de validade, a análise de conceitos relativos ao tratamento estatístico de dados, promovendo noções sobre procedimentos que devem ser adotados na etapa de medições, o uso apropriado de instrumentos de medida, bem como a presença de erros estatísticos e sistemáticos. Visando todos estes resultados, a experimentação quantitativa aplicada nos roteiros irá abranger atividades de demonstração/observação e atividades de verificação, que serão melhor apresentadas ao decorrer do trabalho.

3.1 APARATO EXPERIMENTAL

A bancada de medidores de vazão (circuito ar e circuito água), modelo MD006 da Eco Educacional, visualizada nas figuras 19 e 20, está localizada no Laboratório de Fluidos e Termodinâmica na Universidade Federal da Fronteira Sul - UFFS, *Campus* Realeza/PR.

Figura 19 - Bancada de medidores de vazão: circuito água.



Fonte: ECO EDUCACIONAL (2021).

Figura 20 – Bancada de medidores de vazão: circuito ar.



Fonte: ECO EDUCACIONAL (2021).

A bancada é dividida entre um circuito fechado para líquido e outro circuito aberto para gás, no qual estão distribuídos equipamentos relevantes para o estudo da Mecânica dos Fluidos, como bombas centrífugas, tubulações com diversas válvulas para controle da vazão, além de mangueiras com conectores e vertedouros. Vejamos a seguir de forma mais detalhada os componentes de cada circuito.

a) Circuito Fechado para Líquido:

- Reservatório de água (RA).
- Bomba centrífuga (BC).
- Tubulação de PVC (DN 32 mm e Di 27,5 mm).
- Válvula para Regulagem de Vazão (VRV).
- Medidor comercial de vazão tipo Rotâmetro (Rt).
- Medidor comercial de vazão tipo Hidrômetro (Hd).
- Medidor de vazão tipo Venturi (Vt) com $\beta = (D_i/d_i) = 0,46$, ligado ao seu respectivo Manômetro de Tubo em U (MUVt) que contém Mercúrio metálico como fluido manométrico.
- Medidor de vazão tipo Placa de Orifício (PO) com $\beta = (D_i/d_i) = 0,49$, ligado ao seu respectivo Manômetro de Tubo em U (MUPO) que contém Mercúrio metálico como fluido manométrico.
- Medidor de velocidade tipo Pitot padrão (Pt), com régua linimétrica, ligado ao seu respectivo Manômetro de Tubo em U (MUPt) que contém Clorofórmio colorido como fluido manométrico.
- Recipiente Graduado (RG) munido de uma Válvula de Bloqueio (VB) para medidas de vazão com auxílio de um cronômetro.

b) Circuito aberto para gás:

- Soprador centrífugo (SC), ligado a um inversor de frequência para variação da vazão.
- Tubo de aço (DN 100 mm).
- Medidor de vazão tipo Venturi (Vt) com $\beta = (D_i/d_i) = 0,50$ cambiável com um Medidor de vazão tipo Placa de Orifício (PO) com $\beta = (D_i/d_i) = 0,50$.
- Manômetro de Tubo em U (MU) que contém Água colorida como fluido manométrico, ligado ao medidor de vazão (Vt) ou ao (PO).
- Medidor de velocidade tipo Pitot padrão (Pt), ligado ao seu respectivo Manômetro de Tubo inclinado (MIPT) que contém Água colorida como fluido manométrico.
- Medidor comercial de velocidade tipo Anemômetro de Ventoinha (AV).

O modelo do anemômetro digital utilizado é semelhante ao da figura 21.

Figura 21 – Anemômetro digital com hélice remota.



Fonte: INSTRUTHERM [2021 ou 2022].

Já os manômetros utilizados no circuito de ar (manômetro de coluna em U e o manômetro de coluna inclinada) podem ser visualizados na figura 22.

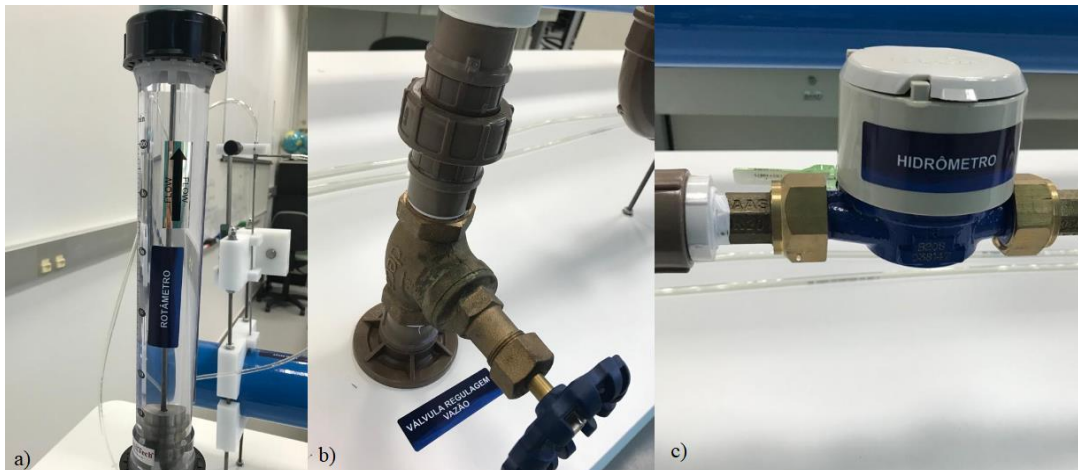
Figura 22 – Manômetros 04 e 05.



Fonte: Elaborado pela autora.

Através das figuras 23 e 24, podemos verificar os instrumentos utilizados no circuito de água.

Figura 23 - a) Rotâmetro, b) VRV, c) Hidrômetro.



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 24 – a) Manômetro 1, 2 e 3; b) Painel elétrico; c) Recipiente graduado para vazão real de calibração.



Fonte: Elaborado pela autora.

Por intermédio de uma postura flexível, ainda conforme ARAÚJO e ABIB (2003), a experimentação quantitativa viabiliza a introdução de discussões, que garantem reflexões críticas em torno dos fenômenos estudados e da estrutura de funcionamento dos equipamentos utilizados, que no caso deste trabalho, refere-se a bancada de medidores de vazão. Além disso, permite analisar elementos e fatores que influenciam o experimento e que podem acarretar em eventuais discrepâncias entre os resultados observados durante os experimentos e as previsões teóricas colocadas inicialmente. Estes aspectos estão incorporados nas atividades que veremos a seguir.

3.2 ATIVIDADES DE DEMONSTRAÇÃO/OBSERVAÇÃO

As atividades de demonstração/observação são aquelas realizadas pelo professor, no qual utilizando explicações adequadas ao conteúdo abordado, ele conduz a orientação das observações enquanto os alunos presenciam o fenômeno ocorrido. Esta categoria de atividade possui abertura e flexibilidade para discussões, possibilitando maior aprofundamento por parte dos alunos nos aspectos conceituais e práticos relacionados aos equipamentos, o que facilita a construção de hipóteses e o incentivo à reflexão crítica.

Segundo ARAÚJO e ABIB (2003), a compreensão de um fenômeno por intermédio da demonstração pode conceder compreensões acerca do funcionamento de outros equipamentos e generalizar o comportamento dos sistemas observados para outras situações. Outrossim, o uso de atividades de demonstração também é defendido no processo de formação docente, já que tende a desenvolver uma prática docente segura e eficiente, possibilitando ao professor distinguir a Física e a Matemática e enfatizar os aspectos conceituais envolvidos.

Dentre as contribuições de Vygotsky no que tange o uso de atividades de demonstração, pode-se ressaltar o desenvolvimento de conceitos espontâneos e científicos, visto que os estudantes são estimulados à exposição dessas ideias. Assim, de acordo com Vygotsky,

o desenvolvimento dos conceitos espontâneos e científicos – cabe pressupor – são processos intimamente interligados, que exercem influências um sobre o outro [...] independentemente de falarmos do desenvolvimento dos conceitos espontâneos ou científicos, trata-se do desenvolvimento de um processo único de formação de conceitos, que se realiza sob diferentes condições internas e externas, mas continua indiviso por sua natureza e não se constitui da luta, do conflito e do antagonismo de duas formas de pensamento que desde o início se excluem (VYGOTSKY, 2001, p. 261).

Nessa perspectiva, o uso das atividades experimentais de demonstração contribui para a aproximação de diferentes saberes em uma única atividade, dentre eles os conhecimentos afins na área de ciências naturais, permitindo uma formação científica sólida e, principalmente, uma aprendizagem significativa. Para isso, as atividades devem ser guiadas de modo a permitir o questionamento por parte dos alunos, incentivando-os a buscar explicações para os fenômenos estudados e possibilitando a elaboração de novas ideias.

Com o uso de metodologias que permitem explorar cada atividade de demonstração, torna-se possível fazer com que estas superem a simples ilustração de um fenômeno e, possam contribuir efetivamente para o aprendizado conceitual desejado. Além disso, o uso destas

atividades promove o desenvolvimento de novas habilidades por parte dos estudantes, formando a postura ativa necessária para a vida docente.

3.3 ATIVIDADES DE VERIFICAÇÃO

De acordo com FREIRE (1997), para compreender a teoria é preciso experienciá-la. Deste modo, aulas envolvendo a realização de práticas experimentais por parte dos alunos, no ensino de Física, permitem o estudo através de algo concreto, estabelecendo-se a relação entre a prática e a teoria.

As atividades de verificação, segundo ARAÚJO e ABIB (2003), são caracterizadas como uma forma de se conduzir a atividade experimental buscando a verificação de alguma lei física, ou mesmo de seus limites de validade. Dentre suas contribuições, pode-se destacar a capacidade de facilitar a interpretação dos parâmetros que determinam o comportamento dos sistemas físicos estudados. Ao mesmo tempo que serve para motivar os alunos, as atividades de verificação podem contribuir para tornar o ensino mais realista, no sentido de evitar erros conceituais observados em livros-texto ou mesmo do senso comum.

Conforme SANTOS, OLIVEIRA e SILVA (2018), essa categoria de experimento necessita do acompanhamento e fiscalização do professor, que será auxiliador no diagnóstico e correção de possíveis erros recorrentes durante a realização das atividades. A prática destas atividades ainda formam no aluno a capacidade de interpretar parâmetros que determinam o comportamento dos fenômenos observados, articulando os conceitos científicos que conhecem.

4 RESULTADOS

Baseando-se nas formas de realização de atividades experimentais que contribuam e facilitem o processo de aprendizagem do estudante do curso de Física, ou até mesmo de engenharias, este trabalho desenvolveu quatro roteiros didáticos que incluem atividades de demonstração/observação e verificação. Cada roteiro possui suas particularidades, estruturadas de acordo com as necessidades e limites dos instrumentos experimentais que constituem a bancada de medidores de vazão. Ao utilizá-los para aplicações de conteúdos que envolvam a hidrodinâmica, o professor terá autonomia para realizar ajustes nos roteiros de modo a adaptá-los conforme as necessidades e disposição de suas aulas, tendo os roteiros a seguir, como propostas de uso.

Todos os roteiros apresentam atividades experimentais quantitativas, no formato de roteiro fechado, onde nas análises buscou-se a verificação entre os resultados obtidos e as previsões teóricas esperadas. Para trazer dinamicidade e flexibilidade às análises, são propostas questões sobre aplicações dos conceitos físicos ao cotidiano, reflexões críticas sobre a estrutura de funcionamento dos equipamentos utilizados e possíveis propostas de solução e/ou melhoria, bem como dos elementos e fatores que influenciam o experimento, podendo acarretar em possíveis discrepâncias entre os resultados observados experimentalmente e as previsões teóricas esperadas.

A seguir, serão apresentadas as análises pertinentes para cada procedimento experimental realizado através das propostas dos roteiros fechados produzidos. Os roteiros encontram-se em anexo.

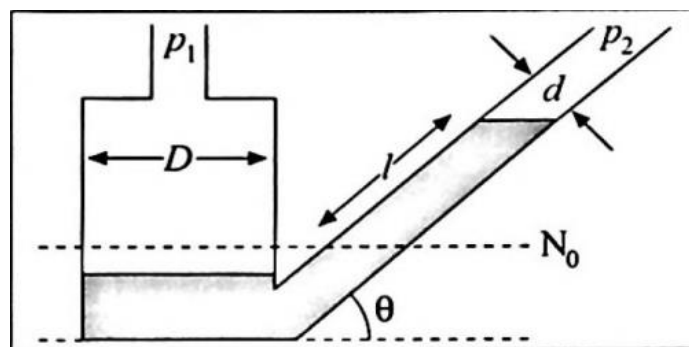
4.1 ANÁLISE DO ROTEIRO A

O roteiro A foi construído com atividades de verificação, objetivando utilizar o instrumento tubo de Pitot no circuito de ar. Através dele, pretendeu-se calcular o valor da velocidade do ar e analisar a interferência da posição do tubo de Pitot na obtenção deste valor. Para isso, diversos procedimentos foram delineados no decorrer do roteiro a fim de se evitar o uso incorreto dos instrumentos acoplados na bancada. Torna-se válido ressaltar que, para a execução deste roteiro, indica-se que seja realizada anteriormente uma análise teórica dos conceitos nele abordados, visto que se busca uma verificação prática destes.

Por intermédio dos dados coletados na execução do roteiro, diversas análises podem ser realizadas envolvendo tanto o uso dos instrumentos de medida, quanto os fenômenos físicos observados. Destacam-se no roteiro, além do tubo de Pitot, dois outros instrumentos importantes, o anemômetro digital de hélice remota (figura 21) e o manômetro com reservatório inclinado (figura 22).

Para medições de baixa pressão, ou de diferencial de pressão muito baixos, torna-se fundamental o uso do manômetro de tubo inclinado com reservatório, o mesmo utilizado neste experimento, que possui a água colorida como fluido manométrico. Neste modelo, o manômetro possui o tubo indicador arranjado na posição inclinada, que possibilita que o fluido possa percorrer uma distância maior comparado com o modelo do equipamento de tubo vertical, o que facilita a leitura e aumenta a legibilidade e a sensibilidade do aparelho, de acordo com a Figura 25.

Figura 25 – Manômetro com reservatório inclinado.



Fonte: MOYSÉS (2014).

No caso da bancada, existe a possibilidade do manômetro ser posicionado em três ângulos θ diferentes, sendo eles de 10° , 20° ou 30° . A variação deste ângulo pode interferir na tomada de dados, já que a sensibilidade do manômetro aumenta conforme o ângulo formado entre o tubo e o horizonte diminui. Para a realização dos testes, o ângulo θ escolhido foi de 10° . Os valores obtidos para os diâmetros “D” e “d” foram 40 mm e 7 mm, respectivamente. Já os valores utilizados para a densidade da água e a densidade do ar foram, respectivamente, 997 kg/m^3 e $1,2754 \text{ kg/m}^3$.

Diferentemente do manômetro, o anemômetro consiste em um aparelho de medição cuja principal função é medir a velocidade do vento ou de outros fluidos em movimento. Existem diversos modelos de anemômetros, mas o utilizado neste experimento é o modelo digital com hélice remota, indicado para aplicações em dutos ou locais onde a direção é conhecida. No

nosso caso, temos a tubulação em que o Pitot está inserido. Em suma, o princípio de funcionamento do anemômetro digital com hélice remota consiste no deslocamento das hélices promovido pelo fluido em movimento, este deslocamento é transmitido ao sistema de registro eletrônico que marca no painel digital a velocidade detectada, tanto em metros por segundo (m/s), quanto em quilômetros por hora (km/h).

Seguindo os procedimentos estabelecidos no roteiro A e utilizando os instrumentos citados anteriormente, foram realizadas algumas medições teste, cujos valores encontrados estão dispostos na Tabela 1.

Tabela 1 – Dados experimentais do roteiro A.

Posição	Posição na Tubulação (mm)	Δh (mm) - Manômetro 05
5	0,0	120,00
4	8,67	127,00
3	17,34	128,00
2	26,01	128,50
1	34,68	129,00
P ₀ 0	43,35	131,00
-1	52,02	130,00
-2	60,69	129,50
-3	69,36	129,00
-4	78,03	123,00
-5	86,70	120,00

Fonte: Elaborado pela autora.

O tubo de Pitot teve sua posição alterada dentro da tubulação, como podemos observar na Tabela 1, no qual foi colocado próximo às paredes da tubulação na parte superior e inferior, bem como também no centro da mesma. Para cada posição do tubo de Pitot, se calculou a variação de pressão e a velocidade do fluido em movimento através das relações obtidas pelas expressões (27) e (28). No nosso caso, o fluido é o ar originado pelo funcionamento do exaustor. Vejamos os valores obtidos na Tabela 2.

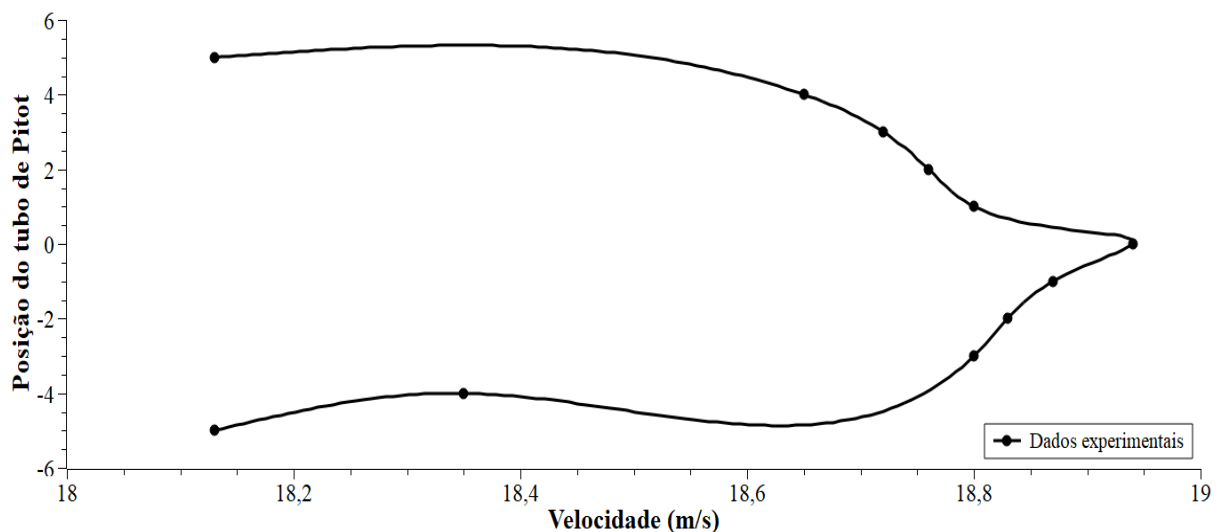
Tabela 2 – Valores obtidos através do roteiro A.

Posição	ΔP (N/m ²)	v (m/s)
5	209,83	18,13
4	221,93	18,65
3	223,68	18,72
2	224,55	18,76
1	225,43	18,80
P ₀ 0	228,92	18,94
-1	227,18	18,87
-2	226,30	18,83
-3	225,43	18,80
-4	214,94	18,35
-5	209,83	18,13

Fonte: Elaborado pela autora.

Utilizando as posições numeradas do tubo de Pitot e a velocidade registrada em cada uma delas, podemos obter o gráfico do perfil da velocidade do ar com auxílio do programa SciDAVis, considerando o centro da tubulação como a posição zero do eixo y. A interpolação utilizada foi obtida pela opção “spline”.

Figura 26 – Gráfico do perfil de velocidade.

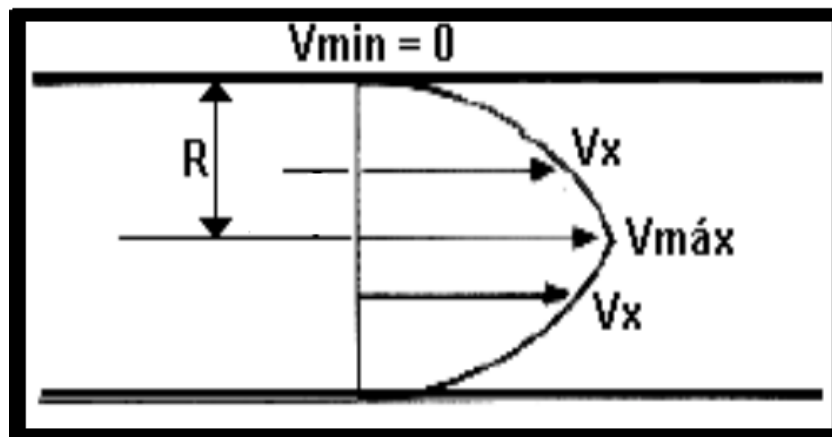


Fonte: Elaborado pela autora.

O perfil de velocidade caracteriza-se por ser um gráfico que mostra como a velocidade se comporta ao longo do diâmetro de um tubo. A partir dele, podemos verificar se o escoamento do fluido classifica-se como laminar ou turbulento. No caso estudado neste roteiro, temos um regime de escoamento no interior de uma tubulação, no qual a velocidade do fluido não é a mesma em todos os pontos.

De acordo com MOYSÉS (2014), o escoamento denomina-se laminar devido ao fluido deslocar-se em camadas planas paralelas ou lâminas, que deslizam umas sobre as outras. Diferente do escoamento turbulento, onde as diferenças de velocidades são menores, o escoamento laminar possui diferenças de velocidades maiores e um perfil de velocidade mais acentuado, como podemos observar na Figura 27.

Figura 27 – Perfil de velocidade em regime laminar.



Fonte: CASSIOLATO, [202?].

Segundo MOYSÉS (2014), para velocidades de escoamento não muito grandes, o escoamento é laminar, com velocidade máxima no centro do tubo e decrescente até zero nas paredes. Este fato pôde ser verificado em nosso experimento através da obtenção do gráfico exposto na figura 26, onde temos a velocidade máxima de 18,94 m/s registrada no centro da tubulação, e as velocidades mínimas registradas em posições próximas às paredes. Além disso, o gráfico da figura 26 apresenta comportamento semelhante ao verificado pela figura 27, do perfil de velocidade em regime laminar. Deste modo, podemos classificar o escoamento do ar do roteiro A como sendo laminar.

Os valores diferentes obtidos para as velocidades, de acordo com a posição do tubo de Pitot, pode ser explicada devido alguns fatores. Segundo BERTULANI (1999), o fluido em um tubo sofre forças de atrito. Há atrito com as paredes do tubo e com o próprio fluido, convertendo

parte da energia cinética em calor. Desse modo, o fluido muito próximo das paredes do tubo move-se mais lentamente do que no centro, comportamento este verificado durante a realização do experimento.

Outra situação a ser analisada referente às velocidades obtidas está na comparação entre o tubo de Pitot e o anemômetro. O valor encontrado para a velocidade obtida pelo tubo de Pitot no centro da tubulação foi de 18,94 m/s, menor do que a velocidade aferida pelo anemômetro, de 20 m/s. Esta diferença entre as velocidades deve-se ao fato de que o tubo de Pitot estava localizado no interior da tubulação, captando a velocidade do fluido em um ponto específico, o centro. Já o anemômetro, localizado a 20 cm de distância da saída da tubulação, acaba registrando a velocidade do ar na região externa ao tubo, no qual o ar não realiza mais escoamento direcionado e laminar e por se dissipar, perde velocidade.

Além disso, podemos considerar a precisão e calibração dos instrumentos utilizados como fatores que influenciam na coleta e comparação de dados. A precisão do anemômetro de hélice remota é de $\pm (5\% + 0,5 \text{ m/s})$, já a precisão do tubo de Pitot corresponde a $\pm 2\%$ do valor real. Sendo composto de um tubo de aço inoxidável com ponta esférica e, tendo a possibilidade de ser posicionado no centro da tubulação para a medição de velocidade, o tubo de Pitot tende a possuir uma maior sensibilidade na obtenção de dados quando se comparado ao anemômetro, que precisa ter suas hélices bem posicionadas e estar alinhado perante a tubulação.

4.2 ANÁLISE DO ROTEIRO B

Também desenvolvido com atividades de verificação, o roteiro B pretende encontrar a velocidade do ar utilizando o tubo de Pitot, relacionar a velocidade encontrada com a pressão verificada no manômetro ligado à placa de orifício e comparar o uso e eficiência dos instrumentos de medida utilizados. Os instrumentos de medida utilizados incluem manômetros, placa de orifício, anemômetro digital de hélice remota e tubo de Pitot.

Para o cálculo da velocidade através do tubo de Pitot, o mesmo foi posicionado no centro da tubulação que, com auxílio do medidor de profundidade digital (acoplado ao tubo de Pitot), registrou 43,35 mm. Através do painel elétrico do exaustor e do anemômetro digital de hélice remota, foram-se reguladas diferentes velocidades para o ar, no qual observou-se a diferença de altura do líquido manométrico presente nos manômetros 04 e 05 (identificados na Figura 22), ligados na placa de orifício e tubo de Pitot, respectivamente. Os valores coletados podem ser analisados na Tabela 3.

Tabela 3 – Dados experimentais do roteiro B.

Velocidade (m/s)	Medidas de Δh (mm)	
Anemômetro	Manômetro 04	Manômetro 05
5	10,00	8,00
7	24,00	15,00
9	48,00	26,00
11	74,00	38,00
13	106,00	70,00
15	150,00	119,00

Fonte: Elaborado pela autora.

Por intermédio da Tabela 3, podemos observar diferenças de valores entre o manômetro 04 e o manômetro 05. O manômetro 04 é o modelo mais usual, constituído de dois ramos distintos pelo qual percorrem o fluido manométrico. Já o manômetro 05 é o modelo mais sensível, composto de um reservatório e um tubo inclinado pelo qual percorre o líquido manométrico e pode ser posicionado, no caso da bancada usada neste trabalho, em três ângulos diferentes (10° , 20° ou 30°).

O fluido manométrico presente em ambos os manômetros é a água colorida e o ângulo escolhido para o manômetro inclinado nos testes foi de 10° , já que a sensibilidade deste modelo é maior para ângulos menores. Deste modo, recomendado para medições de baixa pressão e diferencial muito baixo, próprio para o tubo de Pitot, o manômetro inclinado tende a obter valores mais precisos para a diferença de pressão, principalmente pela sua melhor legibilidade de acordo com a mudança dos níveis do fluido manométrico.

Utilizando os valores obtidos para Δh no manômetro 05, foi possível calcular os valores das velocidades pelo tubo de Pitot, conforme relação entre as expressões (27) e (28), no qual os valores obtidos podem ser visualizados na Tabela 4. Ainda, através destes dados podemos verificar outra diferença em relação a valores, desta vez, entre as velocidades estabelecidas pelo anemômetro e as registradas pelo tubo de Pitot.

Tabela 4 – Valores obtidos através do roteiro B.

Velocidade (m/s)	
Anemômetro	Tubo de Pitot
5,00	4,68
7,00	6,41
9,00	8,44
11,00	10,20
13,00	13,85
15,00	18,05

Fonte: Elaborado pela autora.

Como visto anteriormente pelo roteiro A, esta diferença entre as velocidades originam-se pelo fato de que o tubo de Pitot estava localizado no interior da tubulação, captando a velocidade do fluido em um ponto específico, o centro. Já o anemômetro, acaba registrando a velocidade do ar na região externa ao tubo, no qual existe dissipação e perda de velocidade. Além disso, a sensibilidade e calibração dos instrumentos podem ser considerados fatores influentes.

De acordo com o GUM (2008), tanto o erro sistemático quanto o erro aleatório não devem ser eliminados, mas sim, amenizados. Se um erro sistemático inicia de um efeito reconhecido de uma grandeza de influência em um resultado de medição, o efeito pode ser quantificado e, se for significativo com relação à exatidão requerida da medição, um fator de correção pode ser aplicado para compensar o efeito. Desta forma, para amenizar a diferença entre os valores de velocidade registrados pelo anemômetro e o tubo de Pitot, um fator de correção pode ser calculado pela razão entre o valor de velocidade fornecido pelo Pitot e o valor marcado no anemômetro, conforme a expressão (29).

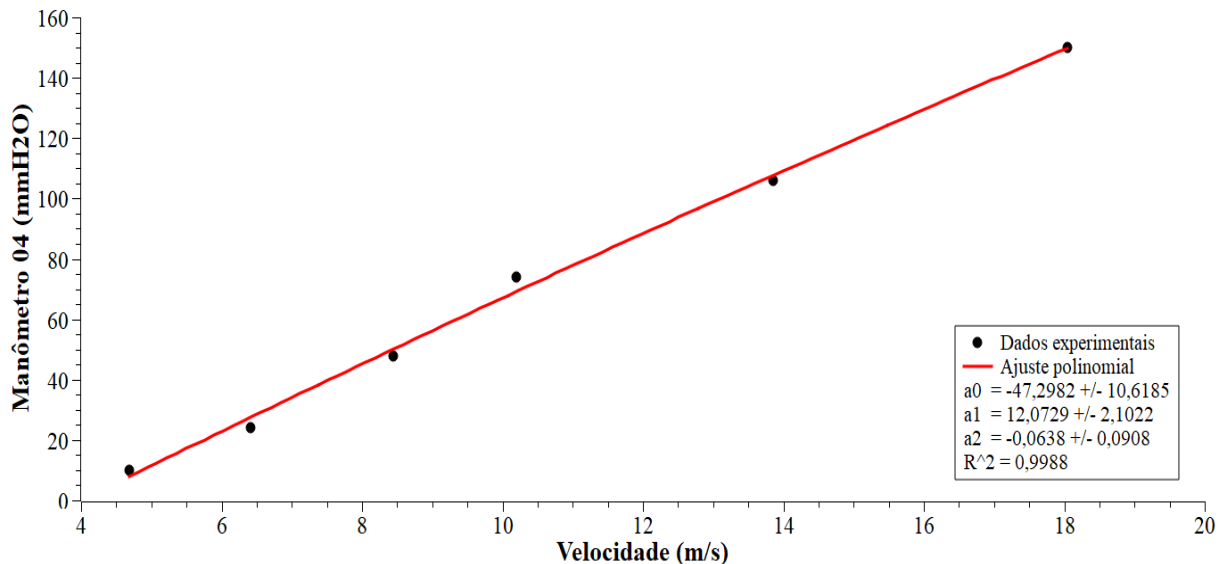
$$F_c = \frac{v_{Pitot}}{v_{anem}} \quad (29)$$

Através dos valores obtidos durante os testes e, seguindo a Tabela 4, encontramos um fator médio de correção de 0,99.

Ainda, utilizando os valores expostos na Tabela 4, podemos construir o gráfico das

variações de altura (Δh) obtidos pelo manômetro 04, ligado à placa de orifício, em função das velocidades obtidas no tubo de Pitot. Analisemos a Figura 28, a seguir.

Figura 28 - Gráfico da relação entre os Δh obtidos pelo manômetro 04 em função das velocidades obtidas via tubo de Pitot.



Fonte: Elaborado pela autora.

No gráfico da figura 28, os pontos são os dados experimentais obtidos e a linha vermelha indica o melhor ajuste para os pontos. O valor de R encontrado pelo ajuste polinomial corresponde à tendência da inclinação do ajuste. No caso de $R \rightarrow 1$ indica uma boa linearidade e $R \rightarrow 0$ caracteriza a não linearidade. Quanto mais próximo de 1 for o valor de R , maior é a correlação entre x e y descrita pela função ajustada.

Em relação ao comportamento do gráfico da figura 28, podemos verificar que os valores encontrados para Δh no manômetro 04 aumentam com o quadrado da velocidade, relação essa expressa na equação (27).

4.3 ANÁLISE DO ROTEIRO C

O roteiro C foi produzido interligando atividades de observação e verificação no circuito de água. Por intermédio deste roteiro, procura-se analisar a relação entre a vazão e a pressão da água, associando situações cotidianas pertencentes à hidrodinâmica. Para isso, instrumentos de medida como hidrômetro, rotâmetro e manômetro em U foram utilizados.

Conforme comentado anteriormente, os manômetros são instrumentos de precisão utilizados para medir a pressão de fluidos. Para este roteiro, utilizamos o manômetro de coluna com tubo em U que possui o mercúrio metálico como fluido manométrico. O princípio de funcionamento deste instrumento trata da aplicação de pressão em um de seus ramos, fazendo com que o líquido contido nele desça por este ramo e suba no outro. A pressão indicada é evidenciada pela diferença de altura (Δh) em função do movimento do líquido nos dois ramos do manômetro, e é indicada pela escala graduada, no qual o valor numérico corresponde ao das leituras acima e abaixo do ponto médio, considerado como zero na escala.

Para cada vazão aplicada no rotâmetro, foi-se registrada as variações de altura (Δh) marcados pelo manômetro em U, bem como os valores de vazão obtidos pela leitura no hidrômetro. O manômetro de coluna em U citado neste roteiro, é identificado como 01 na bancada (figura 22) e está acoplado ao medidor Venturi. Este processo foi repetido 05 vezes para cada vazão escolhida no rotâmetro, no qual os valores médios obtidos durante os testes estão dispostos na Tabela 5.

Tabela 5 – Dados experimentais do roteiro C.

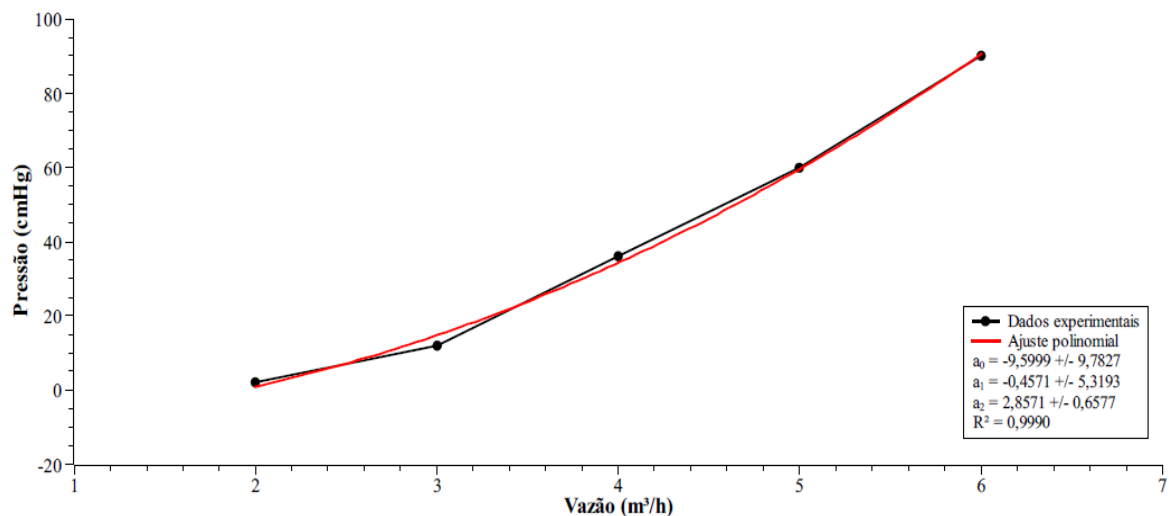
Vazão – rotâmetro (L/min)	Vazão – hidrômetro (m³/h)	Δh manômetro 01 (cmHg)
20,00	2,00	2,00
30,00	3,00	12,00
40,00	4,00	36,00
50,00	5,00	60,00
60,00	6,00	90,00

Fonte: Elaborado pela autora.

Através dos dados coletados, podemos verificar que a cada ajuste de vazão pelo rotâmetro, obtemos uma nova diferença de altura do líquido entre os ramos do manômetro em U (01). O aumento da diferença de altura do líquido nos dois ramos do manômetro (Δh) a cada acréscimo de vazão no rotâmetro, indica um aumento de pressão exercida pela água. Isto indica que a pressão e a vazão em uma tubulação, como no experimento, são grandezas diretamente proporcionais. Ou seja, quanto maior a pressão, maior a vazão. Este fato pode ser verificado através da análise gráfica da Figura 30, que demonstra a curva característica existente entre a relação de pressão e vazão do fluido água, registrado pelo hidrômetro.

Podemos comparar o resultado obtido pelo gráfico (Figura 29) com o previsto pela expressão (11), equação de Bernoulli, a qual implica que, se um fluido estiver escoando em um estado de fluxo contínuo, então a pressão depende da velocidade do fluido e, conseqüentemente, a vazão torna-se dependente. A linha vermelha no gráfico expressa o melhor ajuste para os dados experimentais.

Figura 29 – Gráfico de relação da pressão dada pelo manômetro 01 e a vazão de um fluido (água) registrada no hidrômetro.



Fonte: Elaborado pela autora.

A utilização do hidrômetro no desenvolvimento do roteiro C marcou-se como importante, já que entre os instrumentos medidores de vazão, este é o mais usualmente conhecido. Os hidrômetros são amplamente utilizados por empresas de saneamento básico para medir o consumo de água de seus clientes, sendo implantado em residências, sítios, prédios comerciais e afins. Além disso, permite que seus donos possam conhecer e regular seus padrões de consumo.

Com o intuito de associar vivências cotidianas com os fenômenos da hidrodinâmica, buscou-se argumentar sobre a diferença de consumo de água entre moradores de casas residenciais e apartamentos. De acordo com QUINTINO e OLEIRO (2019), normalmente o morador de apartamento consome, diariamente, 50 litros de água a mais em relação ao morador de casa residencial. Essa diferença média de consumo é explicada justamente devido à pressão da água que é maior em apartamentos, devido a altura em que está localizado o reservatório de água. Ou seja, quanto maior a altura em que for instalada a caixa d'água, maior será a pressão

exercida pela água e, se, o usuário se descuidar, maior será o consumo da mesma, causando consequentemente, gastos e desperdícios desnecessários.

Para mais, na realização do roteiro ainda se tem uma análise prática do consumo de água que o próprio aluno realizador do experimento possui. Nesta atividade, o aluno irá se deparar com o seu próprio consumo de água utilizada no banho diário e, também, por mês. Esse tipo de prática promove uma observação consciente por parte do realizador, que pode analisar seu ato de consumo e desenvolver novos e melhores hábitos.

4.4 ANÁLISE DO ROTEIRO D

O roteiro didático D, último desenvolvido neste trabalho, também foi construído com o intuito de promover atividades de análise e verificação no circuito de água, presente na bancada. Através deste roteiro, busca-se estudar o fenômeno de Venturi e analisar o funcionamento de três manômetros de coluna em U, ligados ao tubo de Venturi, placa de orifício e tubo de Pitot, individualmente. Os manômetros ligados ao tubo de Venturi e placa de orifício possuem o mercúrio metálico como líquido manométrico. Já o manômetro ligado ao tubo de Pitot contém como fluido manométrico, clorofórmio colorido.

Os medidores de vazão são instrumentos utilizados para medir a taxa de vazão de um fluido, seja ele líquido ou gás, durante determinado intervalo de tempo. Como visto inicialmente neste trabalho, existem diversos tipos de medidores de vazão que se diferenciam de acordo com a metodologia de medição empregada. No roteiro D, empregamos o uso de dois tipos de medidores de vazão distintos, o hidrômetro e o rotâmetro (figura 23).

O hidrômetro é classificado como um medidor de vazão por deslocamento positivo. Segundo RENOVA (2022), a medição de vazão pelo hidrômetro ocorre por intermédio de um medidor de velocímetro que é acionado pela velocidade da água que passa em seu interior. A passagem da água provoca rotações em uma hélice acoplada ao equipamento, e esse movimento é transmitido a uma relojoaria que computa o número de voltas e o transforma em unidades de volume.

Já o rotâmetro segue o princípio de medição por área variável. No rotâmetro, segundo OMEGA (2020), a vazão do fluido eleva o flutuador localizado dentro de um tubo cônico transparente, aumentando a área de passagem do fluido. Quanto maior for a vazão do fluido, maior será a elevação do flutuador. Assim, a altura do flutuador é diretamente proporcional à taxa de vazão, medida através da escala graduada no tubo cônico.

O medidor Venturi, peça fundamental deste roteiro, é um instrumento utilizado para a medição da velocidade de escoamento e vazão de um líquido incompressível. Essa aferição de vazão e velocidade é obtida por intermédio da variação de pressão, que ocorre durante a passagem do líquido por um tubo de seção mais larga e depois por outro de seção mais estreita (MONTEIRO, 2015). Quando o fluido passa pela região mais estreita do tubo, seu escoamento tende a aumentar de velocidade, efeito este nomeado como fenômeno de Venturi.

Realizando-se aplicações de vazão com o auxílio do rotâmetro, pôde-se observar o funcionamento do hidrômetro e o método de medição de pressão, pelo tubo de Venturi, além dos medidores placa de orifício e tubo de Pitot. Os valores obtidos durante a realização dos testes do roteiro D estão na Tabela 6.

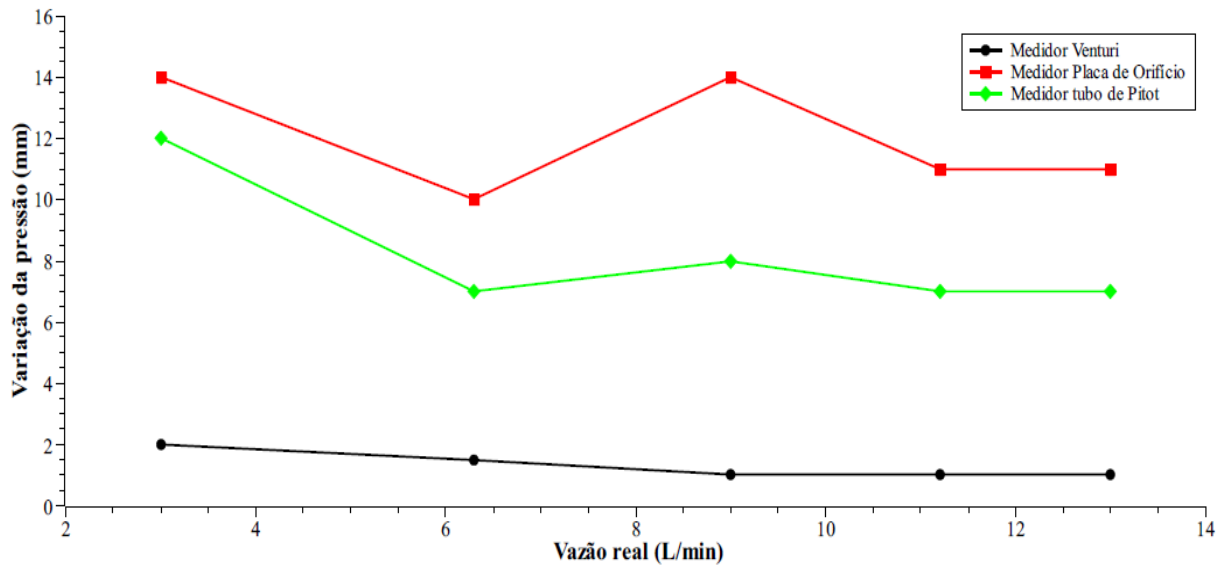
Tabela 6 – Dados experimentais do roteiro D.

Rotâmetro	Vazão (L/min)		Δh (cm)		
	Hidrômetro	Real	Manômetro 1 (Venturi)	Manômetro 2 (Placa de Orifício)	Manômetro 3 (Tubo de Pitot)
10	33,34	3,00	2,00	14,00	12,00
14	8,34	6,30	1,50	10,00	7,00
18	16,67	9,00	1,00	14,00	8,00
22	16,67	11,20	1,00	11,00	7,00
26	16,67	13,00	1,00	11,00	7,00

Fonte: Elaborado pela autora.

Podemos observar os resultados registrados para a variação de pressão nos medidores utilizados, em função da vazão real de calibração, através da construção do gráfico exposto na Figura 30.

Figura 30 – Gráfico do comportamento da vazão para diferentes medidores de vazão.



Fonte: Elaborado pela autora.

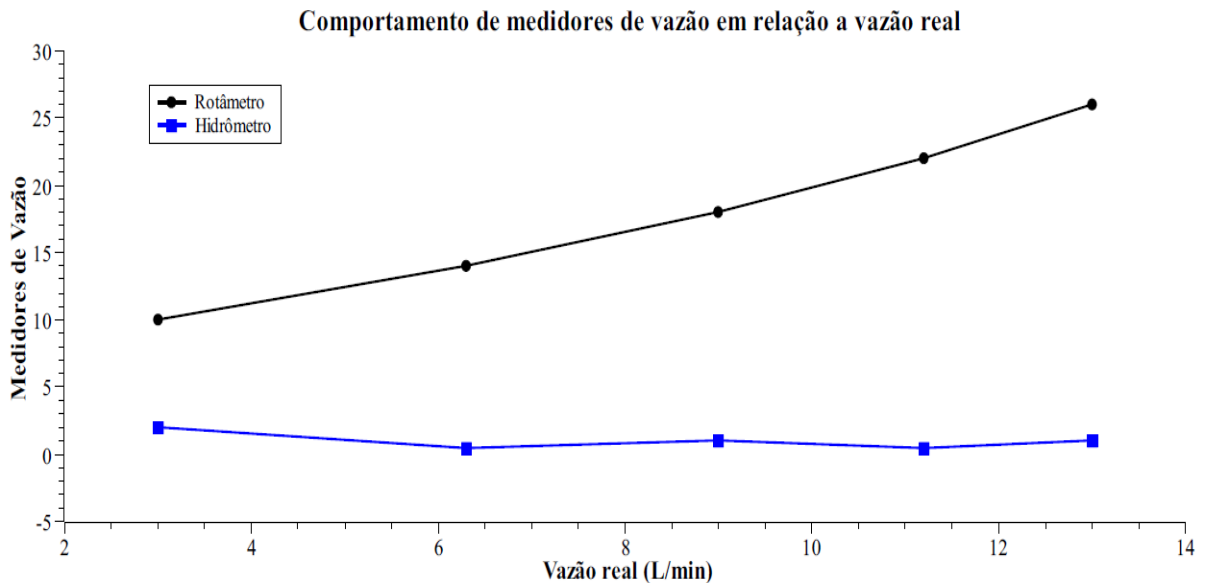
O gráfico da figura 30 pode ser utilizado para a realização das análises 1, 2 e 3 do roteiro didático D. Através da Figura 30 podemos observar que os três manômetros de coluna em U, cada um ligado ao seu respectivo medidor de pressão, apresentam comportamentos semelhantes quanto à variação de altura e conseqüentemente, nas pressões aferidas, que alteram os valores de acordo com a precisão de cada instrumento. Por esse motivo, os manômetros que utilizam como medidores a placa de orifício (linha vermelha) e o medidor Pitot (linha verde) apresentaram valores maiores comparados ao medidor Venturi.

Outros fatores relevantes para a diferença nos valores registrados pelos medidores podem estar relacionados devido os líquidos manométricos que compõem os manômetros serem de densidades diferentes, no qual cada manômetro registrou a variação de pressão em um ponto específico diferente do outro. Além disso, podemos destacar a presença de bolhas nos tubos e desnível entre os ramos dos manômetros, que estavam diferentes perante ao sugerido pelo fabricante (± 5 mm). O desnível dos manômetros durante os testes era de ± 3 mm, 11 mm e 1 mm para os medidores tubo de Venturi, Placa de Orifício e tubo de Pitot, respectivamente. Tais diferenças podem acarretar em possíveis erros devido à má calibração dos instrumentos.

Na figura 31 temos o gráfico que mostra o comportamento da vazão real, medida a partir de um recipiente graduado acoplado ao circuito água, o qual é calibrado para o fluido escoar por gravidade (L/min), em função de outros dois medidores de vazão, o rotâmetro e o hidrômetro. Torna-se válido destacar o uso de um cronômetro como medidor de tempo durante as medições. Os rotâmetros são medidores de vazão por área variável e fornecem uma relação

linear com a vazão. Já os hidrômetros são medidores de vazão por deslocamento positivo, limitados a escoamentos permanentes onde se deseja conhecer o volume de fluido que passa pelo sistema, independentemente da perda de carga que o instrumento venha a impor ao mesmo.

Figura 31 – Gráfico do comportamento dos medidores de vazão em relação à vazão real.



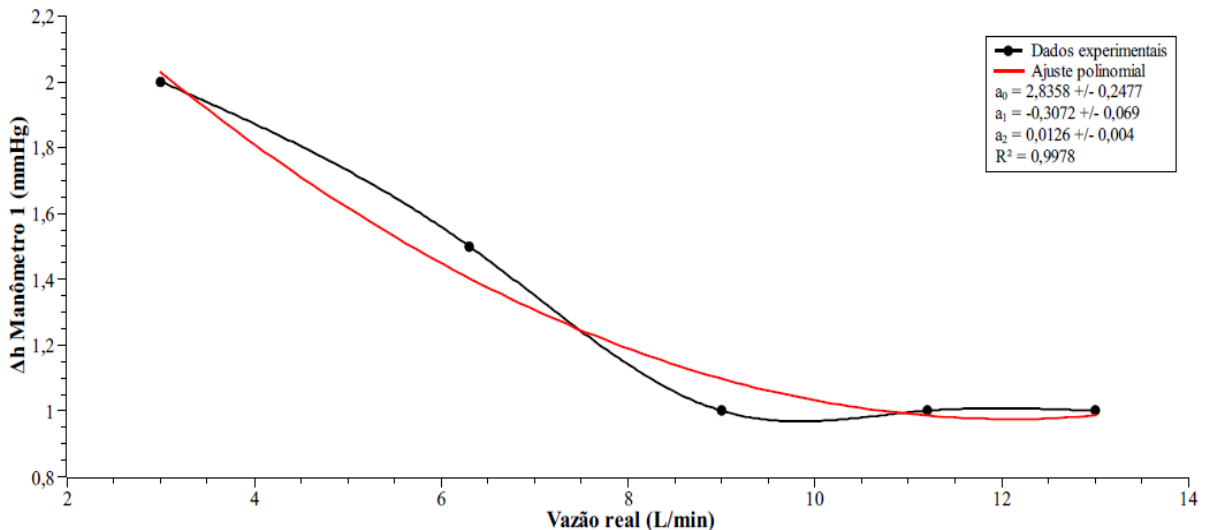
Fonte: Elaborado pela autora.

O comportamento contínuo do hidrômetro observado no gráfico da figura 31, após atingir a vazão de aproximadamente 1,0 m³/h, pode estar relacionada a sua vazão máxima (Q_{máx}) determinada pelo fabricante. A Q_{máx} é a maior vazão admissível no hidrômetro, no qual o ele pode trabalhar por curto espaço de tempo sem se danificar e sem apresentar perda de carga superior a 10 metros de coluna de água (0,10 MPa). Além disso, outro fator pode ter contribuído para a diferença das medições. Em alguns casos, pode haver presença de ar em conjunto com a água dentro das tubulações. Se chegar aos hidrômetros, esse ar será contabilizado e a leitura, em função da alteração da densidade do fluido, não será condizente ao consumo real de água.

Este roteiro, além de possibilitar uma ampla comparação entre manômetros e medidores de vazão, possibilita estimar o efeito Venturi. A partir da figura 32, que mostra o gráfico das variações de altura obtidas com o medidor Venturi em função da vazão real, pode-se verificar que quanto maior a vazão, menor é o deslocamento em altura medido no manômetro. Tal fato vem ao encontro do esperado, pois a equação da continuidade, evidenciada na expressão (16),

afirma que a velocidade do fluido medido deve ser inversamente proporcional às áreas dos estrangulamentos intrínsecos do medidor Venturi.

Figura 32 – Gráfico dos dados da pressão (medidor Venturi) em função da vazão real de calibração.



Fonte: Elaborado pela autora.

A expressão (25) possibilita calcular a velocidade do fluido (água), que deve ser inversamente proporcional à pressão medida; tal cálculo não foi realizado pois a bancada de vazão utilizada não permite a medição dos diâmetros dos estrangulamentos de tal medidor e também não disponibiliza tais dados no manual do fabricante (ECO EDUCACIONAL, 2021). Como forma de análise, realizou-se o ajuste dos dados experimentais para o gráfico da figura 32, possibilitando a obtenção da curva de calibração do medidor Venturi e sua respectiva equação de calibração, obtida na expressão (30).

$$\Delta h = 2,8358 - 0,3072Q + 0,0123Q^2 \quad (30)$$

onde o Δh representa a variação de altura do líquido manométrico (mercúrio) no manômetro 1 e Q representa a vazão volumétrica. A vazão volumétrica é a quantidade de volume de um fluido que escoar por um tubo em unidade de tempo. A equação de calibração do Venturi, expressão (30), realiza a avaliação dos erros e eventuais correções dos dados coletados pelo aparelho, garantindo que este esteja dentro das normas do fabricante e condizente com os valores reais.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A produção dos roteiros didáticos possibilitou conhecer de modo prático o funcionamento da bancada de medidores de vazão, que por sinal, ainda não tinha sido utilizada nas aulas experimentais. Através dela, foi possível observar e verificar o comportamento de fenômenos físicos que envolvem a hidrodinâmica, como relações entre pressão, vazão e velocidade, para ambos os circuitos de fluidos.

Trabalhando com o circuito de ar, desenvolveu-se dois roteiros didáticos (A e B). Com o roteiro didático A, verificou-se a interferência da posição do tubo de Pitot para a obtenção das velocidades laminares, uma vez que próximo às paredes da tubulação, o ar apresentava certa turbulência, desprezada em situações ideais, mas que justificam distorções nos resultados medidos pontualmente. Isso ocorreu ao movermos o instrumento tubo de Pitot em posições diferentes dentro da tubulação.

Já com o roteiro didático B, pudemos utilizar e comparar de forma simultânea os registros de pressão em dois manômetros distintos, manômetro de coluna em U e manômetro com reservatório inclinado, ligados a placa de orifício e tubo de Pitot, respectivamente. Através dos registros do Pitot, determinamos a velocidade no centro da tubulação, para cada vazão controlada no painel elétrico, e pudemos verificar de forma prática a relação existente entre a velocidade calculada e a pressão evidenciada por um dos manômetros.

Utilizando o circuito de água, também foi possível elaborar dois roteiros didáticos (C e D). O roteiro didático C possibilitou a verificação da relação existente entre pressão e vazão da água, cujas análises puderam ser relacionadas a situações de aplicações no cotidiano. É o caso em que o próprio realizador do procedimento experimental depara-se com seu consumo e eventual desperdício de água, fonte essa de tamanha importância para a sobrevivência humana. Com o roteiro D, além da verificação do fenômeno Venturi e estabelecimento da equação de calibração do instrumento, também foi-se possível realizar comparações entre os três medidores de pressão (Venturi, placa de orifício e tubo de Pitot), como também entre os medidores de vazão (rotâmetro e hidrômetro). Todos os instrumentos medidores de vazão foram comparados com os valores do reservatório que fornecia a vazão real de calibração.

Durante a realização dos procedimentos, encontrou-se dificuldades na utilização de alguns aparatos experimentais acoplados à bancada. Em alguns tubos haviam bolhas de ar e desníveis significativos em relação às alturas dos líquidos manométricos, presentes no interior dos manômetros. Isso pode ter provocado registros equivocados de diferença de pressão nos

testes realizados, e conseqüentemente, as velocidades calculadas não foram tão precisas como poderiam ter sido. O recipiente graduado pelo qual os registros da vazão real de calibração eram realizados, possui uma válvula de abertura e fechamento de sistema muito rígida, dificultando a execução dos procedimentos de forma simultânea como exige o roteiro D.

Ainda, houveram impasses ao mover o tubo de Pitot, pois estava acoplado ao aparato de forma instável. Apesar da instabilidade poder resultar em registros inexatos, não impossibilitou o desenvolvimento e execução das análises de forma satisfatória. Como trata-se de uma bancada produzida para um curso de engenharia, não existem informações específicas na apostila fornecida pelo fabricante, como as dimensões dos instrumentos, o que limitou somente a análises mais superficiais da teoria estudada e não permitiu, por exemplo, cálculos diretos de vazão.

De modo geral, o saber docente não é constituído somente do que se aprende na formação inicial, na verdade, ele é plural, sendo formado pela fusão de vários saberes (TARDIF, 2014). Utilizar a bancada de medidores de vazão para construir roteiros didáticos, além de fornecer o aprimoramento dos conhecimentos já adquiridos durante todos estes anos de curso, possibilitou a construção de novos. Habilidades como assimilação, levantamento de hipóteses e julgamento de dados, puderam ser moldadas. Isso, conseqüentemente favoreceu minha formação profissional, já que pude vivenciar os dois lados do processo de ensino-aprendizagem: aluno e professor. Além disso, entender como as aplicações práticas podem facilitar o conhecimento teórico, possibilitou verificar a importância da aplicação de metodologias ativas, como o caso da prática experimental, durante o ensino. Desse modo, verifico que a aplicação de atividades práticas impulsiona o saber para além das quatro paredes da sala de aula, e contribui para a construção do senso crítico e experimental do futuro docente.

A utilização de diversos instrumentos como tubo de Pitot, placa de Orifício, tubo de Venturi, Hidrômetro e Rotâmetro, vistos somente no estudo teórico em livros didáticos, corroborou para análises ainda mais profundas dos fenômenos que envolvem fluidos e termodinâmica. Compreender o princípio de funcionamento de um manômetro e verificar as diferenças entre um modelo e o outro, foi-se e é somente possível durante atividades práticas. Todo o aparato experimental presente na bancada é bastante comum em laboratórios didáticos de fenômenos de transportes. Neste trabalho, adaptamos os objetivos para um laboratório didático de fluidos voltado ao curso de licenciatura em física. Por esse motivo, tópicos como escoamento viscoso, perdas de carga e coeficientes de escoamento não foram abordados; tal assunto pode ser utilizado como sugestão para futuros trabalhos.

REFERÊNCIAS

- ARISTÓTELES. **Metafísica**. São Paulo: Editora Abril, Livro I, cap I, Col. Os Pensadores, p. 43, 1979. p.43.
- ARAUJO, Mauro Sérgio Teixeira; ABIB, Maria Lúcia Vital dos Santos. **Atividades experimentais no Ensino de Física**: diferentes enfoques, diferentes finalidades. São Paulo, SP: Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 25, n. 2, 2003. p. 176-194.
- ANTONOWISKI, M. V. ALENCAR; L. C. T. Rocha. **Dificuldades encontradas para aprender e ensinar física moderna**. Sinop, MT: Scientific Eletronic Archives, 2017.
- ASSIS, Denise Antonieta Bispo. **A importância da prática experimental no ensino de física utilizando experimentos**. 2021. 50 f. Trabalho de conclusão de curso, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás. Jataí, GO.
- BLAZUS, Cleber Augusto. **Sistema de fatores que influenciam o aluno a evadir se dos cursos de graduação na UFSM e na UFSC**: um estudo no curso de ciências contábeis. 2004. 203 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Florianópolis, 2004.
- BARROSO, Marta F.; FALCÃO, Eliane BM. **Evasão universitária**: o caso do Instituto de Física da UFRJ. In IX ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA, v. 9, p. 1-14, 2004.
- BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Básica. **Parâmetros Curriculares Nacionais (Ensino Médio)**: Parte I - Bases legais. Brasília, DF: Secretaria de Educação Básica/MEC, 2000.
- BRASIL. **Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio**. Parte III - Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias. Brasília, DF: Ministério da Educação e Cultura, 2000. Disponível em: <<http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/CienciasNatureza.pdf>> Acesso em: 28 de julho de 2022.
- BRUNETTI, Franco. **Mecânica dos fluidos**. 2. ed. São Paulo, SP: Pearson Prentice Hall, 2008.
- BERTULANI, Carlos. **Viscosidade, turbulência e tensão superficial**. 1999. Disponível em: <https://www.if.ufrj.br/~bertu/fis2/hidrodinamica/viscosidade.html>. Acesso em: 13 jan. 2023.
- CASSIOLATO, César. **A medição de vazão**. Disponível em: <https://www.vivaceinstruments.com.br/pt/artigo/a-medicao-de-vazao>. Acesso em: 13 jan. 2023.
- CID, Alberto; CORREA, Thiago. **Venturino**: análise da variação de pressão em um tubo de Venturi utilizando Arduino e sensor de pressão. Rio de Janeiro, RJ: Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 41, n. 3, 2019.
- ÇENGEL, Yunus A.; CIMBALA, John M. **Mecânica dos fluidos**: fundamentos e aplicações. São Paulo, SP: Editora AMGH, 2006.

ÇENGEL, Yunus A.; CIMBALA, John M. **Mecânica dos fluidos**. Rio de Janeiro, RJ: MCGRAW-HILL Brasil, v. 1, 2008.

ECO EDUCACIONAL. **Roteiro didático: MD06 – Bancada de Medidores de Vazão**. São José, SC: NCD Ind. e Comércio de Equipamentos Didáticos Ltda, 2021.

ECO EDUCACIONAL. **Apostila de Apoio Didático: MD06 – Medidores de Vazão (Ar e água)**. São José, SC: NCD Ind. e Comércio de Equipamentos Didáticos Ltda, 2021.

FEITOSA FILHO, José C. **Otimização hidráulica e manejo de injetores tipo Venturi duplo para fins de quimigação**. Piracicaba, 1998. 164p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

FORÇA, Ana Cláudia; LABURÚ, Carlos Eduardo; SILVA, Osmar Henrique Moura. **Atividades experimentais no ensino de física: Teorias e práticas**. In: Atas do VIII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências. Campinas/SP, 2011.

FERREIRA, Fernando Cesar et al. **Diagnóstico de dificuldades conceituais em Física apresentadas por acadêmicos ingressantes em cursos da Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD)**. In VII ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISAS EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS. Florianópolis, SC: EPEC, 2009.

FILHO, José Pedro Dias. **Metodologia para calibração de rotâmetro de água operando com o fluido R134a**. 2006, 113 f. Universidade Federal de Minas Gerais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Belo Horizonte, MG.

FOX, Robert W.; McDonald, Alan T. **Introdução à mecânica dos fluidos**. 4ª Ed, Rio de Janeiro, RJ: Guanabara Koogan, 1995. p. 662.

FREIRE, Paulo. **Pedagogia da Autonomia**. Rio de Janeiro, RJ: Paz e Terra, 1997.

GALIAZZI, Maria do Carmo et al. **Objetivos das atividades experimentais no ensino médio: a pesquisa coletiva como modo de formação de professores de ciências**. Bauru, SP: Ciência & Educação, v.7, n.2, 2001. p. 249-263.

GASPAR, Alberto; MONTEIRO, Isabel Cristina de Castro. **Atividades experimentais de demonstrações em sala de aula: uma análise segundo o referencial da teoria de Vygotsky**. SP: Investigações em Ensino de Ciências, v. 10, n. 2, 2005. p. 227-254.

GUM. **Avaliação de dados de medição - Guia para a expressão de incerteza de medição**. 2008. Disponível em: http://www.inmetro.gov.br/noticias/conteudo/iso_gum_versao_site.pdf. Acesso em: 10 jan. 2023.

GOMES, Sinésio. **Elementos de medida em instalações hidráulicas**. 2022. Disponível em: <http://eletropneumaticaeleetrohidraulica.blogspot.com/2017/01/aula-06-elementos-de-trabalho-em.html>. Acesso em: 20 out. 2022.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de física. Gravitação, onda e termodinâmica**. 9º ed., v. 2, Rio de Janeiro: LTC, 2012.

ISO 7278-1, Liquid hydrocarbons - Dynamic measurement - **Proving systems for volumetric meters - Part 1: General principles**. 1 ed. 1987.

INSTRUTHERM, **Termo - Anemômetro Mod TAD-500 Digital Portátil Escala de 0,3-45 m/s e 0 a 60°C**. [2021 ou 2022]. Disponível em: <https://www.instrutherm.com.br/termo-anemometro-mod-tad-500-digital-portatil-escala-de-0-3-45-m-s-e-0-a-60-c>. Acesso em: 10 jan. 2023.

LEITE, Lúcia Helena Alvarez; MENDEZ, Verônica. **Os Projetos de Trabalho: Um espaço para viver a diversidade e a democracia na escola**. Porto Alegre, RS: Revista de Educação, ano 3, n.4, jan/jun., 2000. p. 25-29.

MONTEIRO, Cíntha Pavan; NONATO, Danielle; POIT, Klaus. **Tubo de Venturi**. Sorocaba, SP: Projeto de física II – Unesp. 2015.

MARTINS, R C. **Projetos de ensino na prática pedagógica do professor da educação básica**. 2005. 145 f. Dissertação de Mestrado em Educação Tecnológica, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG.

NETTO, Azevedo et al. **Manual de hidráulica**. 8. ed. São Paulo, SP: Edgard Blücher, 1998. p. 669.

NUSSENZVEIG, H. Moysés, **Curso de Física Básica: fluidos, oscilações e ondas, calor**. 5. ed., v. 2, São Paulo, SP: Edgar Blucher Ltda, 2014.

OMEGA. **Introdução aos rotâmetros**. 2020. Disponível em: <https://br.omega.com/prodinfo/medidores-area-variavel.html#:~:text=Princ%C3%ADpio%20de%20opera%C3%A7%C3%A3o,proporcional%20%C3%A0%20taxa%20de%20vaz%C3%A3o>. Acesso em: 14 out. 2022.

PRESYS. **Vazão**. 2022. Disponível em: <http://www.presys.com.br/blog/vazao/>. Acesso em: 15 out. 2022.

PREUSSLER, Victória Vidal; COSTA, Cíntia Daniela Schmidt; MAHLMANN, Cláudia Mendes. **A importância de experimentação no ensino de Física**. In: VI SEMINÁRIO NACIONAL DA INFÂNCIA E EDUCAÇÃO. Espírito Santo, ES. 2017.

QUINTINO, João Victor; OLEIRO, Stéphanie. **Dicas de onde colocar a caixa d'água**. 2019. Disponível em: <https://blog.telhanorte.com.br/dicas-de-onde-colocar-a-caixa-dagua/#:~:text=Geralmente%2C%20quem%20mora%20em%20apartamento,que%20%C3%A9%20maior%20em%20apartamentos>. Acesso em: 15 nov. 2023.

RENOVA. **Princípio de funcionamento unijato e multijato**. 2022. Disponível em: <https://www.renovamedicao.com.br/principio-de-funcionamento-unijato-x-multijato>. Acesso em: 12 jan. 2023.

RIBEIRO, Marco Antônio. **Medição de Vazão – Fundamentos e Aplicações**. 5. ed. Salvador, BA: TEK Treinamento & Consultoria, 1997.

SANTOS, Reinan de Souza; OLIVEIRA, Riveira Damasceno; SILVA, Thiago Pereira. **Atividades experimentais investigativas: concepções e práticas assumidas por professores de química da cidade de São Raimundo Nonato – PI**. In: V CONGRESSO NACIONAL DA EDUCAÇÃO. Pernambuco, PE. 2018.

SMARTINS & PIRES. **História da Medição de Vazão**. Disponível em: <<http://www.smartinstec.com.br/historia-da-medicao-de-vazao>> . Acesso em 01 de agosto de 2022.

SENAI. **Instrumentação Básicas II – Vazão, Temperatura e Analítica**. Espírito Santo, ES: Programa de Certificação do Pessoal de Manutenção, 1999.

TARDIF, Maurice. **Saberes docentes e formação profissional**. 17.ed. Petrópolis, RJ: Vozes, 2014.

TAVARES, William Alves; NASCIMENTO, Elson Antônio; NASCIMENTO, Gabriel de Carvalho. **A influência da presença de ar na micromedição em redes de abastecimento**. Niterói, RJ: Eng Sanit Ambient, 2021.

VYGOTSKY, Lev Semenovich. **A construção do pensamento e da linguagem**. 1. ed. São Paulo, SP: Martins Fontes Editora Ltda, 2001. p. 261.

ANEXO A – Roteiro: Medição da velocidade do ar utilizando o tubo de Pitot.

Universidade Federal da Fronteira Sul
Laboratório de Fluidos e Termodinâmica

Roteiro A - Medição da velocidade do ar utilizando o Tubo de Pitot.

Objetivo: Calcular a velocidade de um fluido através do Tubo de Pitot e analisar a influência de sua posição em relação ao valor obtido para a velocidade.

Procedimentos

1. No aparato manômetro inclinado, defina o ângulo (θ) de inclinação do manômetro.
2. Meça o diâmetro do reservatório (D) e o diâmetro do tubo (d) pertencentes ao manômetro inclinado. Anote os valores.
3. Ajuste o líquido do manômetro para que o mesmo fique na posição inicial (0) da régua graduada. Obs: para isso, você também pode mover e posicionar a régua graduada no manômetro.
4. Com o auxílio do medidor de profundidade digital acoplado ao aparato, estabeleça a posição do tubo de Pitot no centro da tubulação. Anote a posição como ponto zero (P_0).
5. Posicione o anemômetro a 20 cm da saída da tubulação, de modo que o mesmo fique na posição vertical.
6. Acione o exaustor, apertando o botão verde.
7. Defina o fluxo de ar no botão “controle do fluxo gasoso” estabelecendo a velocidade de 20 m/s com o auxílio do anemômetro.
8. Anote na Tabela 1 a variação da posição do líquido evidenciada no manômetro.
9. Varie as posições do tubo de Pitot 05 medições acima e 05 medições abaixo do ponto zero (P_0), anotando os Δh obtidos no manômetro 05 para cada posição do Pitot na Tabela 1.
10. Fique atento para que a posição do tubo de Pitot não se altere devido ao fluxo de ar.
11. Aguarde sempre o líquido do manômetro estabilizar para realizar nova coleta de dados.
12. Após todos os dados coletados, encerre o fluxo de ar utilizando o botão “controle do fluxo gasoso”.
13. Desligue o exaustor.

Dados

Tabela 1 – Aquisição dos dados experimentais.

Posição	Posição na Tubulação (mm)	Δh (mm) - Manômetro
5		
4		
3		
2		
1		
P ₀ 0		
-1		
-2		
-3		
-4		
-5		

Fonte: Elaborado pela autora.

Análises

1. Qual o significado físico das medições do manômetro? E do anemômetro?
2. Para cada posição do tubo de Pitot, calcule a variação de pressão (ΔP) e a velocidade (v) do fluido, nesse caso, o ar. Anote os dados na Tabela 2.
3. Elabore o gráfico do perfil da velocidade “Posição x Velocidade (m/s)”, considerando o centro da tubulação como posição = 0. Discuta os resultados.
4. De acordo com o gráfico obtido para o perfil de velocidade, comente a respeito da velocidade próxima às paredes e no centro da tubulação.
5. Compare o valor obtido para a velocidade no ponto zero com a evidenciada pelo anemômetro. Comente sobre os valores encontrados.
6. A variação do ângulo de posição do manômetro pode interferir na tomada de dados? Comente.

Tabela 2 – Dados obtidos.

	Posição	ΔP (N/m ²)	v (m/s)
	5		
	4		
	3		
	2		
	1		
P ₀	0		
	-1		
	-2		
	-3		
	-4		
	-5		

Fonte: Elaborado pela autora.

Dado

Varição da pressão para manômetro inclinado:

$$\Delta P = h \cdot \text{sen}(\theta) \cdot \rho_{\text{água}} \cdot g \cdot \left(1 + \frac{d^2}{D^2}\right) \quad (\text{I})$$

Velocidade do fluido:

$$v = \sqrt{2 \frac{\Delta P}{\rho_{ar}}} \quad (\text{II})$$

ANEXO B – Roteiro: Verificação da relação entre pressão e velocidade utilizando o tubo de Pitot e placa de orifício.

Universidade Federal da Fronteira Sul
Laboratório de Fluidos e Termodinâmica

Roteiro B - Verificação da relação entre pressão e velocidade utilizando o tubo de Pitot e Placa de Orifício.

Objetivos: Encontrar a velocidade do ar utilizando o tubo de Pitot; Relacionar a velocidade com a pressão captada pelo manômetro ligado à placa de orifício; Comparar o uso e eficiência de instrumentos de medida.

Procedimentos

1. Verifique se o manômetro de coluna em U da Placa de Orifício (04) e o manômetro inclinado (05) do Pitot, estão com os fluidos manométricos equilibrados.
2. Meça o diâmetro do reservatório (D) e o diâmetro do tubo (d) pertencentes ao manômetro inclinado. Anote os valores.
3. Certifique que não existam bolhas de ar nas mangueiras que ligam os manômetros 04 e 05 à Placa de Orifício.
4. Com o auxílio do medidor de profundidade digital, estabeleça a posição do tubo de Pitot no centro da tubulação. Anote a posição.
5. Posicione o anemômetro de forma vertical na saída da tubulação.
6. Acione o exaustor.
7. Defina o fluxo de ar no botão “controle do fluxo gasoso” estabelecendo a velocidade de 5 m/s com o auxílio do anemômetro.
8. Registre os Δh obtidos nos manômetros 04 e 05.
9. Repita os itens 5, 6, 7 e 8 para velocidades nominais de 07; 09; 11; 13 e 15 m/s no anemômetro.
10. Baixe a vazão lentamente até zerar.
11. Desligue o exaustor.

Dados

Tabela 1 – Aquisição dos dados experimentais.

Velocidade (m/s)	Medidas de Δh (mm)	
Anemômetro	Manômetro 04	Manômetro 05
5		
7		
9		
11		
13		
15		

Fonte: Elaborado pela autora.

Análises

1. Analise os valores obtidos para Δh nos manômetros 04 e 05. Discuta possíveis diferenças.
2. Calcule a velocidade do fluido pelo tubo de Pitot através dos Δh evidenciados no manômetro 05.
3. Organize os valores obtidos em uma tabela.
4. Construa o gráfico dos Δh obtidos pelo manômetro 04 em função das velocidades obtidas via tubo de Pitot. Analise o comportamento do gráfico e discuta os resultados.
5. Compare os valores de velocidade obtidos pelo tubo de Pitot e pelo anemômetro. Justifique possíveis diferenças.
6. Estabeleça o fator de correção para os valores de velocidade obtidos pelo tubo de Pitot e pelo anemômetro.

Dado

Varição da pressão para manômetro em U:

$$\Delta P = \rho_{\text{água}} \cdot g \cdot h \quad (\text{I})$$

Varição da pressão para manômetro inclinado:

$$\Delta P = l \cdot \text{sen}(\theta) \rho_{\text{água}} \cdot g \cdot \left(1 + \frac{d^2}{D^2}\right)$$

(II)

Velocidade do fluido:

$$v = \sqrt{2 \frac{\Delta P}{\rho_{ar}}}$$

(III)

ANEXO C – Roteiro: Verificação da relação entre vazão e pressão de um fluido.

Universidade Federal da Fronteira Sul
Laboratório de Fluidos e Termodinâmica

Roteiro C - Verificação da relação entre vazão e pressão de um fluido.

Objetivo: Analisar a relação entre vazão e pressão da água, interligando a atividades cotidianas.

Importante: A pressão é a força exercida pelo fluido em uma área específica; vazão é o volume desse fluido que passa em um ponto específico do sistema de acordo com a unidade de tempo.

Procedimentos

1. Com a válvula VRV (Válvula Reguladora de Vazão) fechada, ligue a bomba centrífuga.
2. Abra lentamente a válvula VRV com o auxílio do rotâmetro.
3. Ajuste uma vazão qualquer no rotâmetro e aguarde aproximadamente 1 minuto para estabilizar o sistema.
4. Meça a vazão no hidrômetro e anote o valor de Δh obtido no manômetro 01.
5. Para medir a vazão no hidrômetro, utilize o cronômetro e verifique a diferença de vazão no decorrer de 1 minuto, através da mudança dos algarismos marcadores no painel do hidrômetro.
6. Anote os valores obtidos na Tabela 1.
7. Repita os itens 03, 04, 05 e 06 para outros 4 valores diferentes de vazão no rotâmetro.
Obs. Não ultrapasse o valor limite de 76 L/min no rotâmetro.
8. Repita os procedimentos anteriores 05 vezes para cada vazão escolhida.
9. Feche lentamente a válvula VRV.
10. Desligue a bomba centrífuga.

Dados

Tabela 1 – Aquisição dos dados experimentais.

Medições	Vazão – rotâmetro (L/min)	Vazão - hidrômetro (m³/h)	Δh manômetro 01 (cmHg)
1 ^a			
2 ^a			
3 ^a			
4 ^a			
5 ^a			

Análises

1. Como o manômetro realizou a medição da pressão? Qual o princípio físico envolvido?
2. Verifique o que acontece com a pressão medida pelo manômetro toda vez em que a vazão é alterada. Comente.
3. Construa o gráfico de pressão em função da vazão, obtenha o melhor ajuste para o gráfico e compare o resultado com o previsto na equação (1).
4. Geralmente, quem mora em apartamento mais próximo ao andar térreo consome, diariamente, 50 litros de água a mais em relação a quem mora em uma casa. Por que isso ocorre? Explique.
5. Com o tempo médio de uso durante o seu banho, responda: Para uma vazão de 60 litros/min, quantos litros de água são gastos por banho? Qual a média de consumo por mês?

Dado

$$p + \rho gh + \frac{1}{2} \rho v^2 = \text{constante} \quad (\text{I})$$

ANEXO D – Roteiro: Análise comparativa entre Manômetros de coluna em U.

Universidade Federal da Fronteira Sul
Laboratório de Fluidos e Termodinâmica

Roteiro D - Análise comparativa entre Manômetros de coluna em U.

Objetivo: Verificar experimentalmente o Fenômeno de Venturi.

Procedimentos

1. Com a válvula VRV (Válvula Reguladora de Vazão) fechada, ligue a bomba centrífuga através do painel elétrico.
Observação: verifique se todos os Manômetros estão com os fluidos manométricos equilibrados (máximo ± 5 mm de desnível) e que não tenha bolhas de ar nas mangueiras que ligam o mesmo aos seus respectivos medidores.
2. Abra lentamente a válvula VRV, com auxílio do Rotâmetro, para a vazão nominal de 10 L/min. De forma sincronizada, as leituras dos passos 3 e 4 devem ser feitas exatamente ao mesmo tempo.
3. Registre os Δh nos três Manômetros de tubo em U (do Venturi, da Placa de Orifício e do Pitot) na Tabela 01.
4. Meça as vazões registradas no Hidrômetro e da vazão real de calibração com o auxílio do recipiente graduado. Anote na Tabela 01.
5. Esvazie o recipiente graduado.
6. Repita os itens 2, 3 e 4 para vazões nominais no Rotâmetro de: 14, 18, 22 e 26 L/min.
7. Diminua a vazão lentamente até zerar e desligue a bomba centrífuga.

Dados

Tabela 1– Dados experimentais.

Vazão (L/min)			Δh (cm)		
Rotâmetro	Hidrômetro	Real	Manômetro 1 (Venturi)	Manômetro 2 (Placa de Orifício)	Manômetro 3 (Tubo de Pitot)
10					
14					
18					
22					
26					

Fonte: Elaborado pela autora.

Análises

1. Compare os dados obtidos para os três Manômetros. Justifique possíveis diferenças.
2. Construa o gráfico da vazão real de calibração em função dos três Δh obtidos para os manômetros utilizados.
3. Qual a relação entre vazão e pressão? A partir do gráfico elaborado na questão anterior, interprete e discuta os resultados.
4. A partir das vazões obtidas pelas medidas no Recipiente graduado (real de calibração), faça a aferição (curva de correção) para o Rotâmetro e para o Hidrômetro. Analise e comente os resultados.
5. Elabore o gráfico dos Δh obtidos no Manômetro 1 (Venturi) em função das vazões obtidas pelas medidas no Recipiente graduado (real de calibração).
6. Obtenha o melhor ajuste para o gráfico e a partir deste, forneça a respectiva equação de calibração do medidor Venturi. Analise e comente.