

PRODUTO EDUCACIONAL

ATIVIDADE EXPERIMENTAL PARA O ENSINO DE HIDRODINÂMICA: TUBO DE VENTURI

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

CÂMPUS MEDIANEIRA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO MESTRADO NACIONAL

PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

Tatiane de Oliveira

Orientador: Prof. Dr. Leandro Herculano da Silva

Medianeira - Paraná

2019

Lista de Figuras

1	Imagem dos componentes do tubo de Venturi (e): cano de PVC medindo 50 mm de diâmetro e 30 cm de comprimento, (b) cano de PVC medindo 25 mm de diâmetro e 30 cm de comprimento, (c) luva de PVC para cano de 50 mm e (d) bucha de redução de PVC medindo (50 × 25) mm. Fonte: autoria própria. . . .	4
2	Imagem das conexões do tubo de Venturi com o tubo em U, utilizando a ponteira das seringas de 5 ml.	5
3	(a) Representação esquemática dos cortes e (b) furações da partes que compõe a estrutura para fixação.	6
4	Vista lateral e frontal da estrutura para fixação, confeccionada em MDF. Detalhe para sistema de fixação e regulagem do TV, confeccionado com parafusos chipboard (4×35) mm, nas laterais superior e inferior da peças de MDF medindo (10× 10) cm e apresentado furação de 65 mm.	6
5	Sugestões de equipamentos que podem ser utilizado como sistema gerador de fluxo de ar. (a) Secador de cabelo (disponível em https://goo.gl/NCYZMD e acessado em 27/03/2019), (b) soprador de folhas (disponível em https://goo.gl/qdK2iC e acessado em 27/03/2019), (c) sistema caseiro (disponível em https://goo.gl/XGoLig e acessado em 27/03/2019) e (d) unidade geradora de fluxo de ar da marca Azeheb.	7
6	Imagem do anemômetro, utilizado neste trabalho. Este equipamento possibilitou a medida da velocidade o ar no intervalo de 0 a 32 <i>m/s</i>	8
7	Configuração experimental utilizada para as medidas da variação de pressão em função da velocidade do ar.	9

Sumário

1	Apresentação	1
2	Confecção do produto educacional	3
2.1	Materiais	3
2.2	Montagem	4
2.2.1	Tubo de Venturi	4
2.2.2	Tubo manométrico em U	5
2.2.3	Estrutura de fixação	5
2.2.4	Sistema gerador de fluxo de ar	7
2.2.5	Anemômetro	7
2.3	Funcionamento	8
3	Sugestão de aplicação: sequência didática	10
3.1	Apresentação	11
3.2	Execução do experimento	11
3.3	Análise dos resultados	12
3.4	Abordagem teórica	13
3.5	Avaliação	14
A	Densidades do ar e da água	16
8	Referências Bibliográficas	17

Capítulo 1

Apresentação

A proposta deste trabalho é construir algo relevante, que auxilie e complete o trabalho do professor, onde o aluno deverá relacionar o conhecimento prévio para que possa compreender o novo conceito. Como estratégia didática será desenvolvido um produto educacional que visa melhoria de ensino propondo aplicação prática do conteúdo de hidrodinâmica para o ensino médio. A hidrodinâmica é o estudo do comportamento dos fluidos, um tópico da mecânica rica em aplicações cotidianas e pouco investigada em sala de aula. A temática foi escolhida para fortalecer o ensino do conteúdo, já que o mesmo não é abordado nas bibliografias disponibilizadas para o ensino médio. O estudo da hidrodinâmica nos permite realizar experimentos simples que comprovam os conceitos teóricos e aproxima o aluno da sua realidade.

Para fomentar esta proposta desenvolvemos um produto educacional com materiais acessíveis e de custo moderado o que torna viável a sua utilização. Pois em uma rápida pesquisa de valores, em sites de venda de equipamentos para laboratório, é possível identificar o alto custo dos materiais destinado ao estudo da hidrodinâmica, dificultando sua aplicação do conteúdo de forma prática.

O instrumento desenvolvido é o tubo de Venturi e à partir dele vamos investigar o comportamento do fluido e associar aos conceitos da hidrodinâmica. O tubo de Venturi é um dispositivo que possibilita a medição de vazão e variação de pressão de um fluido em escoamento onde as áreas transversais do equipamento diferem. Por meio da investigação deste fenômeno será possível compreender os conceitos físicos de hidrodinâmica, através da relação da equação de Bernoulli, que representa a conservação da energia mecânica dos fluidos ideais que relaciona as grandezas velocidade, pressão e energia potencial do fluido.

Diferente da grande parcela de trabalhos realizados que correspondem a experimentação do

tubo de Venturi de modo qualitativo, a atividade desenvolvida promove a coleta de dados e a validação das leis físicas através dos resultados relativamente precisos, através de uma linguagem matemática acessível aos alunos de ensino médio, com ênfase no resultado matemático a pesquisa é de cunho quantitativo.

Salientamos que a experimentação quantitativa, permite ao aluno a investigação científica, o manuseio correto dos equipamentos de medida, análise, tratamento estatístico de dados e atenção aos erros sistêmicos, além de estimular a criatividade do educando, auxilia na interação entre professores e alunos gerando grande interesse pelo estudo dos conteúdos da Física. [1]

O intuito desta atividade experimental é induzir o educando a compreender os conceitos físicos, consolidar o estudo da hidrodinâmica no ensino médio, reforçando o domínio deste conteúdo utilizando a experimentação como motivação de aprendizagem.

Capítulo 2

Confecção do produto educacional

Como parte do produto educacional deste trabalho, propomos a confecção de conjunto experimental, composto por um tubo de Venturi acoplado a um manômetro de tubo em U. Com esse conjunto experimental será possível que o alunos e professores analisem de forma qualitativa e quantitativa a relação entre a velocidade de um fluido e variação de pressão.

2.1 Materiais

Para confecção do conjunto experimental, foram utilizados os seguintes materiais:

- Uma pedaço de chapa em MDF, medindo $(60,0 \times 50,0 \times 1,5)$ cm.
- Cano de PVC, medindo 50 mm de diâmetro e 30 cm de comprimento.
- Cano de PVC, medindo 25 mm de diâmetro e 30 cm de comprimento.
- Uma luva de PVC para cano de 50 mm de diâmetro.
- Uma bucha de redução em PVC soldável de (50×25) mm.
- Duas seringas com volume total de 10 ml.
- Um anemômetro.
- Duas pipetas graduadas com volume total de 2 ml.
- Uma régua metálica de 50,0 cm.
- Corante alimentício.
- Mangueira de silicone com 4,0 mm de diâmetro e 50 cm de comprimento.
- Mangueira de silicone com 8,0 mm de diâmetro e 6 cm de comprimento.
- Equipamento para gerar um fluxo de ar.

- Parafusos *chipboard* (4× 35) mm.
- Cola para MDF/madeira.
- Cola epóxi.

Para a confecção do conjunto experimental foi necessário utilizar ferramentas manuais e elétricas: furadeira, serra circular, serra manual, chaves *philips*, serras-copo (65 e 25 mm), brocas de aço rápido (4 e 3 mm).

2.2 Montagem

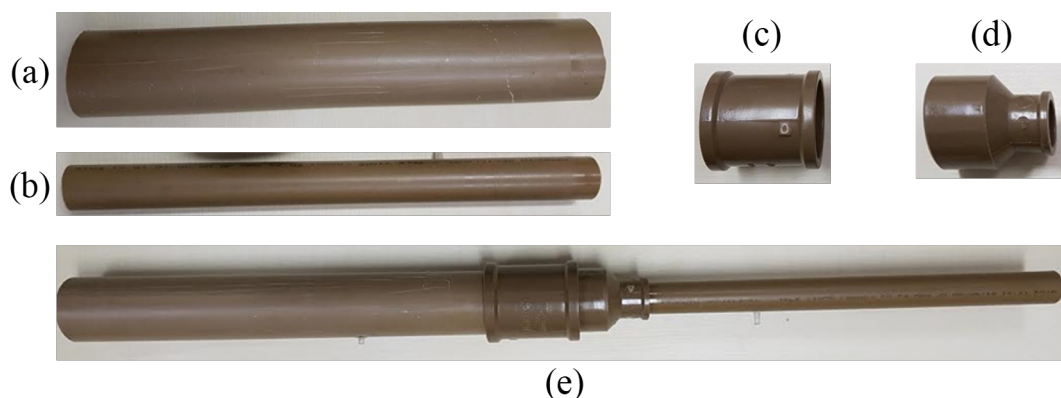
O conjunto experimental proposto, é composto das seguintes partes fundamentais:

- Tubo de Venturi.
- Manômetro de tubo em U.
- Estrutura para fixação.
- Sistema gerador de fluxo de ar.
- Anemômetro.

2.2.1 Tubo de Venturi

Para confeccionar o tubo de Venturi, utilizamos canos de PVC de diferentes diâmetros, conectados entre si por uma luva e uma bucha de redução. Conforme mostrado na figura (1).

Figura 1 – Imagem dos componentes do tubo de Venturi (e): cano de PVC medindo 50 mm de diâmetro e 30 cm de comprimento, (b) cano de PVC medindo 25 mm de diâmetro e 30 cm de comprimento, (c) luva de PVC para cano de 50 mm e (d) bucha de redução de PVC medindo (50 × 25) mm. Fonte: autoria própria.



Fonte: autoria própria.

Para acoplar o TV ao manômetro de tubo em U, foram utilizadas a pontas das seringas de 5 ml. Isso foi realizado, cortando-se as pontas da seringa e inserindo em dois pontos, ao longo dos dois pedaços de cano PVC. Após realizar os cortes e a inserção das ponteiros, obteve-se as conexões apresentadas na figura (2).

Figura 2 – Imagem das conexões do tubo de Venturi com o tubo em U, utilizando a ponteira das seringas de 5 ml.



Fonte: autoria própria.

2.2.2 Tubo manométrico em U

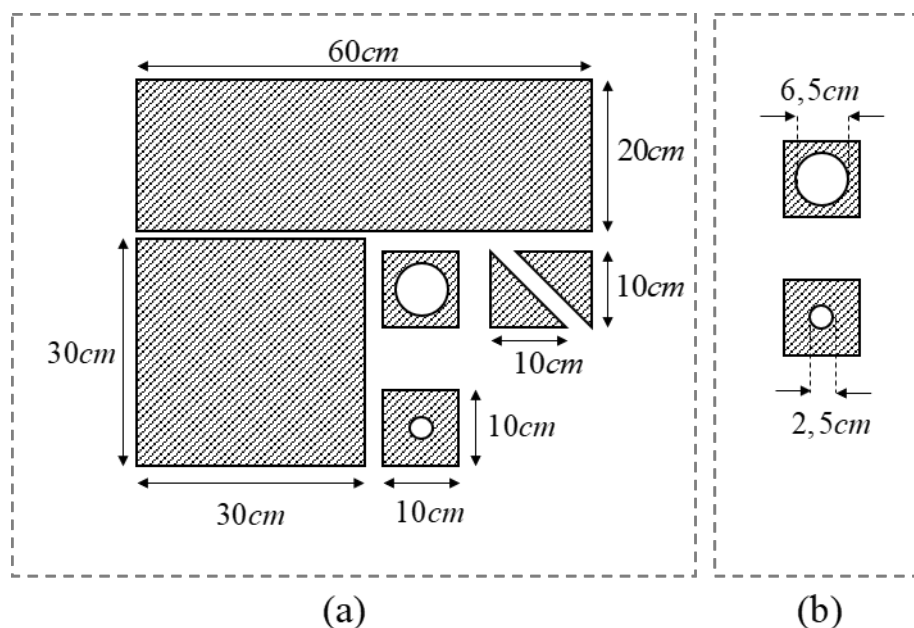
O tubo manométrico em U, é um dispositivo utilizado para medir pressão diferencial. Para confecção deste tubo, utilizamos duas pipetas graduadas, com volume total de 2 ml e conectadas entre si por meio de um pedaço de mangueira de silicone, com diâmetro de 8 mm e comprimento aproximado de 6 cm.

O tubo em U foi fixado com cola epóxi, na estrutura para fixação, de modo que as pipetas permaneçam paralelas entre si. Feito isto, foi adicionado uma certa quantidade de água com corante alimentício de cor azul, até completar metade do volume de cada pipeta. A figura (4.8) apresenta a imagem do tubo em U.

2.2.3 Estrutura de fixação

A estrutura para fixação do tubo de Venturi e do tubo em U foi confeccionada em MDF, com acabamento em cor branca, medindo 1,5 cm de espessura. Os cortes desse material estão descritos na figura (3).

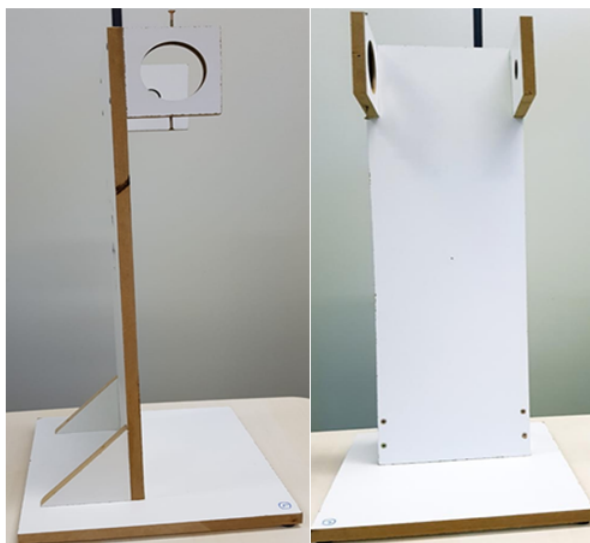
Figura 3 – (a) Representação esquemática dos cortes e (b) furações das partes que compõe a estrutura para fixação.



Fonte: autoria própria.

Para a furação das peças, mostradas na figura (3b) foram utilizadas as serras copo com diâmetro de 65 e 25 mm, respectivamente. Toda a estrutura foi montada utilizando parafusos chipboard, medindo (4×35) mm. em furações com broca de aço rápido de 3 mm de diâmetro e cola para MDF/madeira. Assim, ao final obtivemos a estrutura para fixação mostrada na figura (4).

Figura 4 – Vista lateral e frontal da estrutura para fixação, confeccionada em MDF. Detalhe para sistema de fixação e regulação do TV, confeccionado com parafusos chipboard (4×35) mm, nas laterais superior e inferior da peças de MDF medindo (10×10) cm e apresentado furação de 65 mm.



Fonte: autoria própria.

2.2.4 Sistema gerador de fluxo de ar

Na atividade experimental, proposta neste trabalho, utilizamos o ar como fluido que se desloca no interior do TV. Logo, foi necessário o emprego de equipamento específico para esta finalidade. Dentre as possíveis alternativas, destacamos a utilização de secadores de cabelo, sopradores de folha, sistemas que podem ser construídos pelos próprios alunos ou pelo professor

Figura 5 – Sugestões de equipamentos que podem ser utilizado como sistema gerador de fluxo de ar. (a) Secador de cabelo (disponível em <https://goo.gl/NCYZMD> e acessado em 27/03/2019), (b) soprador de folhas (disponível em <https://goo.gl/qdK2iC> e acessado em 27/03/2019), (c) sistema caseiro (disponível em <https://goo.gl/XGoLig> e acessado em 27/03/2019) e (d) unidade geradora de fluxo de ar da marca Azeheb.



(a)



(b)



(c)



(d)

Fonte: autoria própria.

Devido a disponibilidade, optamos por utilizar a unidade geradora de fluxo de ar da marca Azeheb. Para a utilização de secadores de cabelos ou sopradores de ar, recomendamos que estes sejam conectados a *dimmers*, que permitem variar a intensidade de corrente elétrica, possibilitando o controle da velocidade do fluxo de ar.

2.2.5 Anemômetro

O anemômetro é um instrumento utilizado para medida da velocidade do ar, que se apresentam em diversos formatos e princípios de funcionamento. Dada a geometria da configuração experimental e o objetivo de reduzir os custos, optamos por utilizar o anemômetro de hélice. Este equipamento é composto por uma ventoinha, conectada a sistemas microprocessados. Na

medida que a ventoinha gira, os microprocessadores calculam a velocidade do ar baseando-se na medida da rotação da ventoinha. [2]

O princípio de funcionamento do anemômetro de hélice, baseia-se na lei de indução de Faraday. A rotação da ventoinha promove a variação do campo magnético, girando uma bobina ou um conjunto de ímãs. Um circuito elétrico, localizado nas proximidades deste campo, sofrerá uma força de natureza elétrica devido a variação do campo magnético, que por sua vez, induz uma corrente elétrica no circuito. Os microprocessadores, utilizando cálculos de calibração, convertem os valor de corrente elétrica em valores de velocidade. [2].

Neste trabalho, forma utilizados os anemômetros da marca Kkmonn, modelo GM8908. A figura (6) apresenta a imagem deste anemômetro.

Figura 6 – Imagem do anemômetro, utilizado neste trabalho. Este equipamento possibilitou a medida da velocidade o ar no intervalo de 0 a 32 m/s .

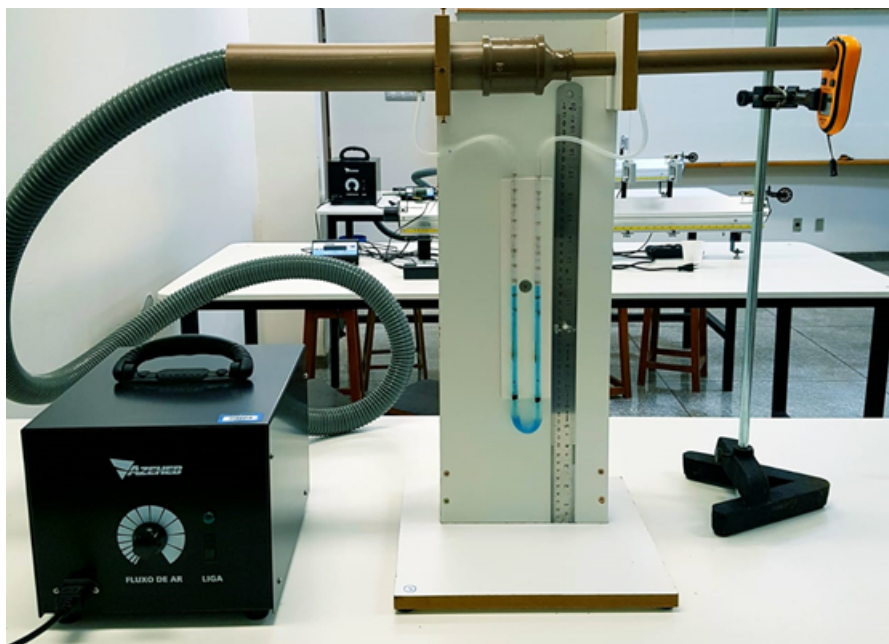


Fonte: autoria própria.

2.3 Funcionamento

Uma vez confeccionada todas as partes do conjunto experimental, elas forma utilizadas conforme a configuração apresentada na figura (7).

Figura 7 – Configuração experimental utilizada para as medidas da variação de pressão em função da velocidade do ar.



Fonte autoria própria.

Conforme observado na figura (7), o fluxo de ar entra pela extremidade esquerda do TV, que está conectada ao lado direito do tubo em U. O anemômetro foi posicionado de modo a medir a velocidade do ar que sai do tubo, ou seja, a velocidade do ar no trecho do tubo que possui raio menor e que está conectado ao lado direito do tubo em U. Dessa forma, ao ligarmos o sistema gerador de fluxo de ar, a geometria do TV ocasionará diferença de velocidade, que por sua vez induz uma diferença de pressão, observada pela diferença de altura nos ramos do tubo em U.

Este conjunto experimental, permite que alunos e professores observem e determinem quantitativamente a variação da altura dos ramos em função da velocidade do fluido, possibilitando uma análise gráfica deste fenômeno. Para isso, recomendamos que o professor oriente os alunos a escolherem diferentes valores de velocidade, por meio da regulagem do sistema de geração de fluxo de ar, anotando os valores apresentados no anemômetro e medindo a diferença de altura nos ramos do tubo em U com auxílio de uma régua.

Capítulo 3

Sugestão de aplicação: sequência didática

Como parte integrante do produto educacional, desenvolvido neste trabalho, sugerimos uma sequência didática para auxiliar os professores, em aulas sobre conceitos de hidrodinâmica, especificamente sobre equação de Bernoulli e sua aplicação na descrição do tubo de Venturi.

O conjunto experimental desenvolvido, para o estudo da relação entre velocidade e variação de pressão, com o tubo de Venturi, pode ser utilizado no ensino médio, na formação técnica (pós-médio) e em disciplinas iniciais de cursos universitários.

De maneira resumida, classificamos em duas as possibilidades de realização de uma atividade experimental:

- Realizar a apresentação/execução do experimento, a análise dos resultados e finalmente a descrição teórica.
- Fazer uma descrição teórica do fenômeno que será abordado e, após isso, realizar a atividade experimental juntamente com a descrição teórica.

As duas possibilidades relatadas acima, de forma reduzida, se subdividem em diversas ações que possuem vantagens e desvantagens, do ponto de vista do ensino-aprendizagem. No entanto, nosso objetivo não é direcionar o professor para uma única abordagem, mas sim, descrever as mais diversas maneiras para conduzir as etapas de: apresentação, análise dos resultados e abordagem teórica, sejam elas tradicionais compostas por roteiros pré-programados ou voltadas às atividades investigativas baseadas em metodologias ativas.

3.1 Apresentação

Com o intuito de apresentar do conjunto experimental, para os alunos, sugerimos as seguintes possibilidades:

- (a) Orientar os alunos na construção do experimento. Essa abordagem pode ser utilizada em cursos técnicos e superiores, baseando-os em uma metodologia multidisciplinar.
- (b) Apresentar para os alunos o conjunto experimental, parcialmente desmontado, solicitando e orientando os mesmos na montagem da configuração experimental.
- (c) Os alunos podem encontrar o conjunto experimental pronto para a atividade. Esta abordagem economiza o tempo em sala e facilita a organização das atividades.

Uma vez que os alunos tenham sido apresentados ao conjunto experimental, o professor deve decidir de qual maneira apresentará o fenômeno aos alunos. Dentre as opções sugerimos os seguintes modos:

- (a) O professor aumenta a velocidade do ar, mostrando para os alunos que este aumento de velocidade provoca uma variação nas alturas dos níveis dos ramos do tubo em U.
- (b) Os alunos, orientados pelo professor aumentam a velocidade do ar, observando que isso provoca uma variação nas alturas dos níveis e água nos dois ramos do tubo em U.
- (c) O professor, antes de realizar o experimento, pergunta para os alunos, qual a opinião deles sobre o que ocorrerá, com a diferença de altura nos níveis do tubo em U, caso seja aumentada a velocidade do ar.

3.2 Execução do experimento

Independentemente das abordagens, utilizadas na etapa de apresentação, o conjunto experimental permite medir a diferença de altura entre os níveis do tubo em U (Δh) em função da velocidade de saída de ar (v_2). O professor deve orientar os alunos na execução do experimento, solicitando que eles anotem os valores de Δh e v_2 e definir o intervalo de velocidades (observando a capacidade do anemômetro) e número de medidas (repetições). O apêndice A, apresenta uma sugestão de tabela que pode ser utilizada nesta etapa de coleta de dados.

A depender da “profundidade” que os alunos e professores farão na etapa de análise de resultados, é importante medir (ou definir) e anotar os diâmetros internos dos canos de PVC que compõe o tubo de Venturi, da aceleração gravitacional e das densidades do ar e da água¹. O professor poderá optar por fornecer aos alunos os valores das grandezas, ou que eles próprios façam as medidas desses parâmetros. Esta última opção pode ser oriunda de resultados, de atividades experimentais, previamente obtidos².

3.3 Análise dos resultados

Cabe ao professor decidir “o que fazer” com os resultados experimentais obtidos na etapa anterior. Essa análise deve considerar a disponibilidade de tempo, a participação dos alunos, a infraestrutura computacional disponível, seja ela composta por um laboratório de informática ou pelos aparelhos *smartphones* dos próprios alunos.

Nesta etapa, os alunos (ou o professor) devem ser capazes de analisar os resultados, obtidos na etapa anterior, de modo a observar a relação entre as grandezas sendo possível fazer a conexão com a física que interpreta o fenômeno. Em geral, esta análise é mais facilmente realizada por meio da análise gráfica dos dados experimentais. Para isso, o professor deve considerar alguns fatores, tais como: a disponibilidade de tempo, a participação dos alunos e a infraestrutura computacional disponível, seja ela composta por um laboratório de informática ou pelos aparelhos *smartphones* dos próprios alunos.

Como sugestão, apresentamos algumas maneiras de proceder a análise gráfica:

- (a) Os alunos são encaminhados para o laboratório de informática e sob a orientação do professor, fazem a confecção e análise dos gráficos.
- (b) Utilizando aplicativos, instalados em seus próprios *smartphones*, sob a orientação do professor, os alunos confeccionam e analisam os gráficos.
- (c) O professor, de posse do seu *smartphone* ou *notebook*, utiliza os dados coletados pelos alunos para confeccionar e fazer a análise dos gráficos.
- (d) Por meio de folhas de papel milimetrado e sob a orientação do professor, os alunos confeccionam e linearizam os gráficos para que seja feita a análise.

¹Note que, as densidades da água e do ar dependem da temperatura ambiente. Recomendamos consultar tabelas que relacionem estas grandezas a fim de obter valores exatos.

²Os diâmetros dos canos podem ser obtidos com um paquímetro [3], o densímetro pode ser utilizado para determinar a densidade da água e o pêndulo simples pode fornecer o valor da aceleração gravitacional [4].

- (e) Os alunos são orientados a confeccionar e fazer a análise dos gráficos em computadores disponíveis em suas casas ou locais de trabalho.

A confecção dos gráficos é voltada para que os alunos observem que a velocidade e a diferença de altura não se relacionam de forma linear. Ou seja.

$$v \propto \Delta h^\alpha. \quad (3.1)$$

A obtenção do parâmetro α , que descreve a relação funcional entre as grandezas v e Δh , pode ser obtido por meio de um ajuste teórico, com a equação (3.1) ou por meio de um processo de linearização que culminará na determinação do coeficiente angular da reta. Independentemente da abordagem, mostramos no capítulo 5 que o conjunto experimental permite obter o valor do parâmetro α muito próximo ao previsto pelo resultado teórico³.

3.4 Abordagem teórica

A etapa de análise de resultados pode ser complementada pela descrição teórica do fenômeno observado. Feito dessa forma (teoria depois do experimento) a atividade experimental motiva a curiosidade do aluno em compreender qual a relação física entre v e Δh . Como bônus à esta compreensão, o professor conseguirá demonstrar que a interpretação teórica pode levar a modelos que possuem utilidade prática, como por exemplo, na determinação da velocidade de fluidos (sem interrupção do fluxo).

Cabe ao professor, verificar qual será o nível matemático utilizado para a descrição teórica. Caso seja realizada no nível superior de ensino, sugerimos a abordagem descrita no capítulo 3. Para alunos de ensino médio, sugerimos a simplificação da linguagem matemática [5, 6].

Independentemente do nível matemático utilizado para a interpretação teórica, ao final, o professor ou os próprios alunos conseguiram demonstrar o teorema ou equação de Bernoulli, que descreve a relação entre a velocidade e a diferença de altura nos níveis dos ramos do tubo em U. Ou seja a equação (3.2).

$$v_2 = R_1^2 \sqrt{2g \frac{\rho_{H_2O}}{\rho_{ar}} \left(\frac{\Delta h}{R_1^4 - R_2^4} \right)}. \quad (3.2)$$

³Ou seja, $\alpha = 0,5$, considerando o intervalo de confiança da incerteza dos instrumentos utilizados.

O professor, pode instigar os alunos a verificarem se a velocidade descrita pela teoria é igual ao valor obtido experimentalmente. Como demonstrado no capítulo 5, isto é feito substituindo os valores de Δh , R_1 , R_2 , g , ρ_{H_2O} e ρ_{ar} na equação (3.2).

Conforme observado no capítulo 5, os alunos constarão que o desvio percentual entre os valores da velocidade teórica v_t e a velocidade medida experimentalmente v_e é, na média aproximadamente igual a 30%.

Utilizando esse valor de desvio percentual, o professor pode questionar os alunos do motivo pelo qual $v_t \neq v_e$. Após uma análise das respostas dos alunos, o professor pode evidenciar as condições sob as quais a equação de Bernoulli foi obtida e em quais aspectos o experimento as cumprem.

Embora, o fato de que $v_t \neq v_e$ possa parecer desestimulante, para os padrões clássicos da experimentação em sala de aula. O professor deve aproveitar essa oportunidade para auxiliar os alunos na observação de que a razão entre as velocidades são, na média, iguais. Além disso, notando que, $v_e < v_t$, para quaisquer valores de velocidades, podemos supor que esta diferença entre as velocidades deve-se a uma “perda” de energia cinética, em relação ao que deveria ocorrer teoricamente⁴. Em outras palavras, a diferença entre as velocidades deve depender apenas de fatores geométricos do tubo de Venturi. Logo, é possível inserir um fator de correção, dado por v_e/v_t , e calibrar o tubo de Venturi.

De posse do fator de calibração, os alunos podem realizar um novo conjunto de medidas de Δh e calcular a velocidade, corrigindo-a pelo fator de calibração e comparar com a velocidade experimental, medida com o anemômetro. Uma vez que, os alunos verificarem que a velocidade obtida é igual a velocidade teórica (corrigida) ele constatará que o tubo de Venturi pode ser usado como um “medidor de velocidade de fluidos” sem a necessidade de se interromper o fluxo, bastando para isso medir apenas o valor de Δh .

3.5 Avaliação

As maneiras de avaliarem o processo de ensino-aprendizagem, desenvolvido pela atividade proposta, são as mais diversas possíveis. Sugerimos que, estas avaliações não priorizem um padrão pré-estabelecido, mas sim a análise da evolução da compreensão do fenômeno antes e depois da atividade. Para isso, é necessário que, a cada intervenção, seja realizado uma verificação dos

⁴ $K_e = \rho_{ar}\Delta V v_e^2/2$ e $K_t = \rho_{ar}\Delta V v_t^2/2$, logo $K_e < K_t$.

conhecimentos prévios que o aluno possui, ou seja, como ele entende/explica os fenômenos e questionamentos que vão sendo apresentados.

Recomendamos que o professor verifique o nível de compreensão dos alunos questionando-os sobre sistemas ou situações do cotidiano onde os conceitos estabelecidos são aplicados.

Embora tradicional, dependendo do nível de ensino, o professor pode solicitar que os alunos confeccionem um relatório experimental. Esta tarefa pode ser executada de maneira multidisciplinar, entre as disciplinas de física e língua portuguesa (para alunos do ensino médio) ou entre as disciplinas de física e comunicação oral e escrita ou metodologia da pesquisa, quando aplicado no ensino superior.

Finalmente, o professor pode instigar os alunos, juntamente com a participação de familiares, a construir sistemas similares, com materiais de baixo custo e voltados a observação qualitativa do fenômeno de Venturi.

Apêndice A

Densidades do ar e da água

A tabela (1) apresenta as densidades do ar e da água, em função da temperatura.

Tabela 1 – Densidade da água e do ar em função da temperatura.

Temperatura C°	Densidade da água kg/m^3	Densidade do ar kg/m^3
5	1,268	999,90
10	1,246	999,70
15	1,225	999,10
20	1,204	998,21
25	1,184	997,05
30	1,164	995,65
35	1,150	994,03
40	1,127	992,22
45	1,110	990,21
50	1,093	988,04

Fonte: modificada das referencias [7, 8].

Os valores das densidades do ar e da água, em função da temperatura, podem ser calculadas por meio das equações (A.1) e (A.2), respectivamente.

$$\rho_{ar}(T) = 1,29 - 0,004 \cdot T \quad (A.1)$$

$$\rho_{H_2O}(T) = 1000,0 + 0,004 \cdot T - 0,005 \cdot T^2. \quad (A.2)$$

As equações (A.1) e (A.2) fornecem os valores aproximados das densidades para temperaturas entre 5 e 50 C° .

Referências Bibliográficas

- [1] ARAÚJO, M. S. T.; ABIB M. L. V. S.: *Atividades Experimentais no Ensino de Física: Diferentes Enfoques, Diferentes Finalidades*. Revista Brasileira de Ensino de Física, 25(2):176–194, 2003.
- [2] CARDOSO, C. O. et. al.: *Construção e calibração de anemômetros de baixo custo*. Revista de ciências agroveterinárias, 8(2):122–128, 2009.
- [3] MACHADO, V. O. O. et al: *Uma atividade experimental sobre medidas no laboratório didático de física em cursos de engenharia*. Revista brasileira de física tecnológica aplicada, 5(1):54–66, 2018.
- [4] LIMA, F. R.; PIACENTINI J. J.: *Pêndulo simples - um método simples e eficiente para determinar g: uma solução para o ensino médio*. Caderno catarinense de ensino de física, 1(1):26–29, 1984.
- [5] ROSA, J. E. P.: *Uma abordagem da hidrodinâmica para o ensino médio*. Trabalho de conclusão de curso, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.
- [6] BOAS, N. V. et. al.: *Tópicos de física - Vol 1 - Mecânica e Hidrodinâmica*, volume 1. São Paulo, 21ª edição, 2012.
- [7] *ENGINEERING TOOLBOX Water: Density, Specific Weight and Thermal Expansion Coefficient*. Disponível em <https://goo.gl/nZS8RE>. Acessado em: 01/04/2019.
- [8] *ENGINEERING TOOLBOX Air: Density, Specific Weight and Thermal Expansion Coefficient at Varying Temperature and Constant Pressures*. Disponível em <https://goo.gl/sCXXqj>. Acessado em: 01/04/2019.