

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO MESTRADO NACIONAL**  
**PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA**  
**CÂMPUS MEDIANEIRA**

**Tatiane de Oliveira**

**ATIVIDADE EXPERIMENTAL PARA O ENSINO DE**  
**HIDRODINÂMICA: TUBO DE VENTURI**

Medianeira - Paraná

2019

# ATIVIDADE EXPERIMENTAL PARA O ENSINO DE HIDRODINÂMICA: TUBO DE VENTURI

Tatiane de Oliveira

Dissertação de mestrado, apresentada ao Programa de Pós-graduação Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física pelo UTFPR Medianeira, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador:

Professor Dr. Leandro Herculano da Silva

Medianeira - Paraná

2019

# FICHA CATALOGRÁFICA

## Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

T48a	<p>Oliveira, Tatiane. Atividade experimental para o ensino de hidrodinâmica: Tubo de Venturi. Tatiane de Oliveira. - 2019. 52 f.: il.; 30 cm.</p> <p>Texto em português com resumo em inglês Orientador: Leandro Herculano da Silva Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Program de Pós-Graduação em Ensino de Física, Medianeira, 2019.</p> <p>Inclui bibliografias.</p> <p>1. Aprendizagem experimental. 2. Física - Experiências 3. Ondas (Física). I. Silva, Leandro Herculano da. II. Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física. III. Título</p> <p>CDD: 530.07</p>
------	---

Biblioteca Câmpus Medianeira

Marci Lucia Nicodem Fischborm CRB: 9/1219

# TERMO DE APROVAÇÃO

## ATIVIDADE EXPERIMENTAL PARA O ENSINO DE HIDRODINÂMICA: TUBO DE VENTURI

Por

**TATIANE DE OLIVEIRA**

Essa dissertação foi apresentada às catorze horas, do dia vinte e sete de setembro de dois mil e dezenove, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ensino de Física, Linha de Pesquisa Física no Ensino Médio, no Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física - MNPEF - Polo Medianeira, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. A candidata foi arguida pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo. Após a deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.<sup>1</sup>

---

Prof. Dr. Leandro Herculano da Silva (Orientador - MNPEF)

---

Prof. Dr. Fabrício Tronco Dalmolim (Membro Interno - MNPEF)

---

Prof. Dr. Luis Carlos Malacarne (Membro Externo - UEM)

---

<sup>1</sup>A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Programa de Pós-graduação em Ensino de Física.

# DEDICATÓRIA

Com muito amor dedico este trabalho ao meu pai (In memoriam) que como o meu grande incentivador dedicou a sua vida a minha.

## AGRADECIMENTOS

À Deus toda honra e toda a glória pois permitiu toda esta trajetória.

À Sociedade Brasileira de Física (SBF) pela iniciativa de criar e coordenar o Programa de Pós-graduação Mestrado Nacional em Ensino de Física (MNPEF).

À Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) Câmpus Medianeira.

Ao corpo docente do MNPEF polo Medianeira.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes).

Aos alunos do Curso de Bacharelado em Engenharia Elétrica da UTFPR Câmpus Medianeira, senhores Caio Cezar dos Santos Pereira e André Anderson da Luz da Costa, pela colaboração na confecção do produto educacional.

Ao professor Mestre Anderson Squissatto, por ceder seu espaço em sala de aula para aplicação do produto educacional.

Ao orientador que admiro e respeito, pela paciência nos momentos mais difíceis, pelo incentivo e por acreditar que eu era capaz.

A minha mãe que me incentivou e se manteve em oração para que tudo desse certo.

Ao meu noivo, que foi um grande parceiro ao meu lado. Sem você, seria tudo mais difícil.

## EPÍGRAFE

*“Se cheguei até aqui,  
foi porque me apoiei  
no ombro dos gigantes”*

Isaac Newton

## RESUMO

Este trabalho destina-se a professores de física do ensino médio e tem como objetivo apresentar uma abordagem experimental sobre tópicos de hidrodinâmica, enfatizando a aprendizagem significativa. A proposta é construir um tubo de Venturi de forma facilitada e com materiais de custo moderado. Para a sua construção foi determinado com precisão as formas, recortes e modelo de montagem. Foram construídos três conjuntos experimentais que estiveram submetidos a calibração e análise do seu funcionamento. Ainda é possível verificar a sequência didática proposta para aplicação do produto educacional em sala de aula. O roteiro experimental apresenta característica investigativa pois o aluno irá realizar o experimento e o professor irá intervir instigando o raciocínio lógico por meio de conhecimentos pré existentes. A aplicação do experimento foi realizado para alunos do terceiro ano do ensino médio de uma instituição de ensino público situada na cidade de Cascavel- PR. Os alunos mostraram grande interesse e motivação quanto a didática desempenhada. Conclui-se que o objetivo foi atingido devido a construção de um tubo de Venturi que equipara-se aos materiais comercializados quanto aos resultados obtidos.

Palavras-chave: Tubo de Venturi, Equação de Bernoulli, Aprendizagem significativa, Ensino de Física.

## ABSTRACT

This work is aimed at teachers of high school physics and aims to present an experimental approach on topics of hydrodynamics, emphasizing meaningful learning. The proposal is to construct a venturi tube in an easy way and with materials of moderate cost. For its construction was determined accurately the shapes, cutouts and assembly model. Three experimental sets were constructed and subjected to calibration and analysis of their operation. It is still possible to verify the didactic sequence proposed for the application of the educational product in the classroom, the experimental script presents investigative characteristic because the student will perform the experiment and the teacher will intervene by instigating the logical reasoning through pre existing knowledge. The application of the experiment was carried out for students of the third year of high school in a public educational institution located in the city of Cascavel-PR, the students showed great interest and motivation regarding didactics. It is concluded that the objective was achieved due to the construction of a venturi tube that matches the materials commercialized in the results obtained.

Keywords: Venturi Tube, Bernoulli Equation, Significant Learning.

# Lista de Figuras

1	Representação do Tubo de Venturi, com manômetro de tubo em U acoplado. $A_1$ e $A_2$ são as áreas de entrada e saída do fluido, $\vec{v}_1$ e $\vec{v}_2$ são as velocidades do fluido ao entrar e sair do tubo, respectivamente. $h_1$ e $h_2$ são as alturas das colunas de líquido manométrico, em cada ramo do tubo em U e $\Delta h = h_1 - h_2$ . . . . .	12
2	Representação de um trecho percorrido pelo fluido, no interior do TV. As áreas $A'_1$ e $A'_2$ estão representadas pelas áreas hachuradas na figura. . . . .	13
3	Ampliação do trecho percorrido pelo fluido, descrito na figura (2) e representação do deslocamento de camadas transversais de um fluido. $z_1$ e $z_2$ representam as alturas da linha de deslocamento do fluido em relação a um referencial gravitacional. . . . .	13
4	Representação de um corte longitudinal em um tubo de Venturi, indicando os pontos (1) e (2) localizados no centro do tubo e sobre as posições da entrada dos ramos do tubo em U. $\Delta h$ é a diferença entre a altura dos níveis dos ramos do tubo em U, $z_1$ é altura dos pontos (1) e (2) em relação a um referencial gravitacional e $A_1$ e $A_2$ são as áreas de seção transversal nos pontos (1) e (2). . . . .	18
5	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. . . . .	22
6	Imagem das conexões do tubo de Venturi com o tubo em U, utilizando a ponteira das seringas de 5 ml. . . . .	23
7	(a) Representação esquemática dos cortes e (b) furações das partes que compõem a estrutura para fixação. . . . .	24

8	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. . . . .	24
9	Sugestões de equipamentos que podem ser utilizado como sistema gerador de fluxo de ar. (a) Secador de cabelo (disponível em <a href="https://goo.gl/NCYZMD">https://goo.gl/NCYZMD</a> e acessado em 27/03/2019),(b) soprador de folhas (disponível em <a href="https://goo.gl/qdK2iC">https://goo.gl/qdK2iC</a> e acessado em 27/03/2019), (c) sistema caseiro (disponível em <a href="https://goo.gl/XGoLig">https://goo.gl/XGoLig</a> e acessado em 27/03/2019) e (d) unidade geradora de fluxo de ar da marca Azeheb.	25
10	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> . . . . .	26
11	Configuração experimental utilizada para as medidas da variação de pressão em função da velocidade do ar. . . . .	27
12	Gráficos da velocidade de saída do ar em função da diferença de altura nos ramos do tubo em U, para as quatro séries de medidas: (a) primeira, (b) segunda, (c) terceira e (d) quarta. . . . .	30
13	Gráficos dos valores da velocidade em função da diferença de altura dos níveis nos ramos do tubo em U (círculos) e curva de ajuste utilizando a equação (5.2) (linha vermelha). (a) primeira, (b) segunda, (c) terceira e (d) quarta séries de medidas. . . . .	31
14	Comparação dos histogramas dos desvios percentuais, calculados por meio da equação (5.5) antes (a) e depois (b) da inserção do fator de calibração $\beta$ . As linhas contínuas representam a distribuição normal que se ajusta a cada histograma, cujo pico fornece o valor mais provável do desvio percentual. . . . .	36

# Lista de Tabelas

1	Primeira série de medidas de $\Delta h$ e $v$ do ar na saída do tubo de Venturi. . . . .	28
2	Segunda série de medidas de $\Delta h$ e $v$ do ar na saída do tubo de Venturi. . . . .	29
3	Terceira série de medidas de $\Delta h$ e $v$ do ar na saída do tubo de Venturi. . . . .	29
4	Quarta série de medidas de $\Delta h$ e $v$ do ar na saída do tubo de Venturi. . . . .	29
5	Valores dos parâmetros $k$ e $\alpha$ obtidos a partir do ajuste teórico, com a equação (5.2), para as quatro séries de medidas. . . . .	32
6	Comparação entre as velocidades experimentais ( $v_e$ ) e velocidade teóricas ( $v_t$ ), para a primeira série de medidas. . . . .	33
7	Comparação entre as velocidades experimentais ( $v_e$ ) e velocidade teóricas ( $v_t$ ), para a segunda série de medidas. . . . .	33
8	Comparação entre as velocidades experimentais ( $v_e$ ) e velocidade teóricas ( $v_t$ ), para a terceira série de medidas. . . . .	34
9	Comparação entre as velocidades experimentais ( $v_e$ ) e velocidade teóricas ( $v_t$ ), para a quarta série de medidas. . . . .	34

# Sumário

<b>Lista de Figuras</b>	<b>ix</b>
<b>Lista de Tabelas</b>	<b>xi</b>
<b>1 Introdução</b>	<b>1</b>
1.1 Hidrodinâmica no ensino médio . . . . .	3
1.2 Atividades experimentais no ensino . . . . .	4
1.3 Justificativa e objetivos . . . . .	6
<b>2 Referencial de ensino</b>	<b>8</b>
<b>3 Referencial teórico</b>	<b>12</b>
3.1 Equação de Bernoulli . . . . .	12
3.2 Tubo de Venturi . . . . .	18
<b>4 Confeção do produto educacional</b>	<b>21</b>
4.1 Materiais . . . . .	21
4.2 Montagem . . . . .	22
4.2.1 Tubo de Venturi . . . . .	22
4.2.2 Tubo manométrico em U . . . . .	23
4.2.3 Estrutura de fixação . . . . .	23
4.2.4 Sistema gerador de fluxo de ar . . . . .	25
4.2.5 Anemômetro . . . . .	25

4.3	Funcionamento . . . . .	26
<b>5</b>	<b>Resultados</b>	<b>28</b>
<b>6</b>	<b>Sugestão de aplicação: sequência didática</b>	<b>37</b>
6.1	Apresentação . . . . .	38
6.2	Execução do experimento . . . . .	38
6.3	Análise dos resultados . . . . .	39
6.4	Abordagem teórica . . . . .	40
6.5	Avaliação . . . . .	41
<b>7</b>	<b>Relato da aplicação do produto educacional</b>	<b>43</b>
<b>8</b>	<b>Conclusão</b>	<b>46</b>
<b>9</b>	<b>Referências Bibliográficas</b>	<b>50</b>

# Capítulo 1

## Introdução

A Física é uma ciência que molda o desenvolvimento científico sobre a tecnologia por meio de conceitos específicos, os seus fundamentos interagem diariamente com a sociedade, logo o seu entendimento é de fundamental importância para que possamos compreender os fenômenos naturais. Embora o aprendizado desta ciência amplie o poder de abstração e nos leve a compreensão do universo, o que deveria ser atrativo na concepção dos alunos, em sua maior parte, é possível verificar que poucos se apropriam do saber, conseqüentemente fica prejudicado a formação de conceitos e teorização do conteúdo.

O aluno ao ingressar no ensino médio está motivado na busca de novos conhecimentos, existindo uma expectativa muito grande com o estudo da física. No entanto essa nova experiência curricular pode se tornar pouco prazerosa e frustrante. Após concluir a disciplina, recordar pode ser desagradável. O fato é que devido a grande relação com situações cotidianas e tecnológicas o aluno deveria sim ter suas expectativas supridas e deter um conhecimento de qualidade da disciplina [1].

Infelizmente não é o que vivenciamos em sala de aula, o ensino de física como é praticado apresenta diversas deficiências, por mais que o professor tente propiciar aos alunos situações favoráveis a aprendizagem, muitas vezes a infraestrutura não proporciona condições ao ensino de qualidade.

Podemos enumerar algumas das causas para está dificuldade de aprender Física; a primeira é o saber matemático, pois é possível afirmar que muitos alunos possuem um frágil conhecimento da disciplina e que é impossível aprender física sem uma base sólida do formalismo matemático. No entanto sabemos que a física é uma ciência da natureza e que atividades práticas e observações de resultados estão presentes nos modelos didáticos, mas os problemas numéricos imperam

quanto a aplicação da teoria, o que reforça a imagem de que a matemática é a linguagem da física, pois é o instrumento utilizado no contexto escolar. O fracasso ao compreender a matemática faz com que esta aversão se transfira para o estudo da física [2].

Outro importante problema enfrentado no ensino de física, é a exígua carga horária disponibilizada para a disciplina na maioria das grades curriculares. Existe grande quantidade de conteúdo e informações sobre as leis físicas e por sua vez o professor determina uma sequência adequada de teoria e exercícios. Em consequência disso, a física que é uma ciência experimental acaba não trabalhando as aplicações práticas que enfatizam a importância de cada um dos conceitos aprendidos, muitas vezes devido ao tempo escasso de sua carga horária.

Porém o ensino prático experimental da física é considerado de extrema importância para que possa ocorrer a legitimação dos conceitos. O uso do laboratório na contextualização do conteúdo, por meio da realização de experimentos, é uma ferramenta didática importante, pois o aluno torna-se atuante na construção do conhecimento. Desta forma o uso desta estratégia opera como facilitador do entendimento, motiva, desperta o interesse, desenvolve o raciocínio lógico, estimula a comunicação e incentiva o trabalho em grupo. O ambiente didático de laboratório pode ser considerado um grande potencializador do ensino. [3]

Embora podemos destacar a experimentação como um processo potencial para uma aprendizagem significativa, é necessário verificar como será a proposta de abordagem em sala de aula.

Para aderir esta proposta didática não é necessário que a escola disponibilize de um laboratório específico e estruturado, mas é possível realizar atividades experimentais simples em qualquer sala e com materiais de baixo custo, podendo ser produzido pelo professor e pelos alunos, permitindo que desenvolva experimentos quantitativos e qualitativos e assim validar os fenômenos físicos. [4]

Fica a cargo do professor o fator imprescindível, o reconhecimento da importância da abordagem prática e que o mesmo possua o conhecimento e habilidade para este modelo de ensino. O professor tem o dever de entender os conceitos e as tecnologias da ferramenta utilizada para promover a aula. A inserção deste material pedagógico tem como objetivo promover ao estudante reflexão e visão crítica sobre o tema abordado.

No cenário atual da educação instaura-se a retomada do papel da experimentação, onde as situações convencionais de sala de aula precisam ser revistas, evitando atividades laboratoriais previamente fixadas. Deve-se propor aos alunos desafios que desperte competências para

quantificar e solucionar problemas reais [5].

De fato é possível validar que o ensino prático representa grande parte do sucesso da construção do conhecimento da ciência. No entanto nos leva a pensar que muitos estudantes da rede pública em nenhum momento utilizaram um laboratório de física, o que constata alguns dos problemas de aprendizagem da disciplina. A maneira ideal para que fosse oportunizada a experimentação a todos seria professores instruídos ao planejamento criativo da prática, com objetos simples, onde poderia ser realizado em qualquer ambiente, levando o aluno a reflexão e compreensão dos conceitos científicos [6].

Quando falamos em ensino, logo associamos a figura do professor, que por sua vez tem papel fundamental no processo de aprendizagem. Sendo assim para realizar uma proposta didática diferenciada é necessário que o professor tenha pleno domínio do conteúdo.

Para que se tenha qualidade no ensino é preciso um profissional competente, criativo, que tenha autonomia e capacidade de redimensionar a estrutura tradicional de ensino em sala de aula. É de fundamental importância que se tenha uma aprendizagem significativa na qual o aluno relaciona a nova informação com o conhecimento já adquirido [7].

É possível reconhecer que a mente é conservadora e que aprendemos à partir da estrutura cognitiva. Desta forma, se faz necessário averiguar o que há de conhecimento prévio e ensinar de acordo. O aluno não pode ser passivo, ele precisa fazer uso do que já é conhecido, de forma substantiva e não arbitrária, para que possa compreender a nova informação. Este processo faz com que o discente identifique semelhanças e diferenças e reorganize seu conhecimento. Pode se dizer que o aprendiz constrói e produz o seu conhecimento [8].

## 1.1 Hidrodinâmica no ensino médio

Considerando que a hidrodinâmica está relacionada a grande parte das nossas atividades cotidianas, seja ao passar um perfume ou até mesmo o correr do sangue por nossas veias, julgamos a importância do conhecimento e entendimento dos seus conceitos teóricos, pois através de experimentos simples é possível comprovar as teorias e conceitos físicos.

Embora destacamos a importância do estudo do conteúdo de hidrodinâmica, o mesmo não consta na grade curricular do ensino médio. Assim não existe obrigatoriedade na contemplação do conteúdo, por este motivo as bibliografias disponíveis para o ensino de física nível médio não apresentam o tópico em seus capítulos. Dentre 10 obras consultadas apenas 1 consta

um capítulo sobre hidrodinâmica, seguem as bibliografias consultadas que não possuem hidrodinâmica [9–15] o único livro voltado ao ensino médio que dispõe de uma unidade ao conteúdo hidrodinâmica é [16].

Como o desenvolvimento do ensino de hidrodinâmica é quase nulo, o que não é de fato explicado de forma coerente pois podemos utilizar situações cotidianas como explicação, é possível adaptar o formalismo matemático a uma linguagem simples, o trabalho realizado prioriza o apontamento da sua importância. Pois além de apresentar situações corriqueiras no dia a dia, o que é previsto pelos parâmetros curriculares, é um importante conhecimento para diversas linhas de graduação fomentando o conhecimento prévio para o início de suas carreiras profissionais.

Por mais que seja de grande pretensão introduzir o conteúdo ao currículo escolar, ao analisar a situação dada, vemos que está prática produz o ensino e aprendizagem significativo, onde o sucesso dependerá da participação e capacidade de assimilação do fenômeno com o meio.

## 1.2 Atividades experimentais no ensino

Falando sobre o ensino de Física, é possível afirmar que o desenvolvimento tradicional das aulas da disciplina são fundamentadas em conceitos teóricos e formalismos matemáticos, podendo se dizer que em sua maioria a prioridade torna-se o saber matemático ao invés do fenômeno físico em si. A falta de experiências práticas é determinante para o insucesso dos alunos perante aos desafios apresentados por meio do conteúdo, o que incentiva a aversão à disciplina e torna o seu aprendizado um verdadeiro fracasso.

Quando o aluno ingressa ao ensino médio eles estão repletos de curiosidade e motivação em busca de novos aprendizados científicos. No entanto está expectativa na maioria das vezes acaba por estabelecer certa frustração, pois a experiência com o novo conhecimento, por muitas vezes, torna se pouco prazerosa e levam este sentimento por toda a vida. [1]

Com intuito de minimizar as dificuldades de ensinar e aprender física, muitos professores vem buscando metodologias didáticas diferenciadas para que possa proporcionar uma atividade em que o aluno esteja ativo em seu desenvolvimento.

É importante que o professor busque entender os conhecimentos prévios e considera-los no planejamento das atividades, na qual a abordagem do conteúdo não seja fornecendo respostas prontas, mas sim que permita a investigação e elaboração de questionamentos e hipóteses

que leve a discussões sobre a problemática, tornando o professor como um bom mediador e facilitador da aprendizagem. [17]

Salientamos que existem diferentes metodologias para o ensino de física, porém o objetivo deste estudo é introduzir um método onde o aluno se mantenha ativo durante a dinâmica de sala de aula e que possa relacionar o estudo com situações vivenciadas diariamente. Sendo assim enfatizamos a importância do uso da experimentação em sala de aula.

A abordagem de conhecimentos científicos por meio de conjuntos experimentais não significa apenas motivar e atrair o aluno para a novidade que o processo experimental possa causar, mas sim utilizar deste argumento para a construção do conhecimento aproximando a sua realidade, podendo ser aprofundado quando relacionado aos seus conhecimentos prévios. [18]

Cabe ao professor compreender a necessidade de aplicação de uma didática diferenciada para o desenvolvimento do conteúdo. Todavia é possível destacar diversas limitações para que haja este comprometimento em utilizar atividades experimentais em aula.

Pode se dizer que grande parte dos professores de ensino de ciências opte pelo ensino tradicional devido as limitações financeiras das instituições, em particular de ensino público, falta de estrutura e também a ausência de conhecimento adequado para se introduzir aulas dinâmicas por meio de experimentos. [19]

É possível então afirmar o quanto é prejudicial ao aprendizado do aluno os fatos citados. Um ensino tradicional torna determinante a diminuição do interesse pelo estudo do fenômeno promovendo também a redução de alunos dispostos a trilhar carreiras científicas, o que produz consequências negativas para o desenvolvimento do país.

Enfatizamos que de alguma maneira o conhecimento repassado pelos professores resultem em aprendizado efetivo, independente das questões financeiras ou estruturais. O modelo de ensino deve propor a realização de atividades práticas para que os alunos deixem de ser meros ouvintes e passem a ser indivíduos atuantes e determinantes para a aquisição do conhecimento.

A escolha do recurso pedagógico experimental cabe ao professor, que julga o quanto é adequado ao conhecimento desejado, pois diferentes formas de experimentação promovem diferentes objetos educacionais. O que os alunos devem compreender é que o e aprendizado científico é complexo e determinante socialmente, pois são construídas através de investigações de interesse pessoal, mas com objetivo final de estudar ciência. Portanto independente do quão implementado seja o laboratório didático, o professor a partir de seus esforços deverá criar condições para apresentar o recurso experimental em aula.

Como a aquisição de materiais experimentais no Brasil possui um custo elevado, pois existem poucas empresas destinadas a fabricação e importação, e como incentivo ao professor, pela busca por uma abordagem metodológica diferenciada por meio da experimentação, este material propõe, além do uso de atividade experimental qualitativa e quantitativa para o ensino de física ao nível médio, a construção de um conjunto experimental a baixo custo, confeccionado com materiais acessíveis e de fácil construção, com o objetivo maior de auxiliar e complementar o ensino e aprendizagem do conteúdo. O desenvolvimento deste material amplia a possibilidade de introduzir o conteúdo por meio do experimento, pois além de reduzir custos para a instituição, produz os resultados sem prejuízos a qualidade do ensino quando comparado aos resultados dos conjuntos experimentais disponibilizados comercialmente.

Se a ideia é que os alunos aprendam significativamente, as situações problemáticas devem ser proporcionadas para que ajudem na construção de significados das teorias científicas envolvidas. Quando o aluno passa por todas as fases da investigação científica, ou seja, planejamento, formulação de hipóteses, e pela execução, contribui de maneira fundamental para a construção de seu conhecimento. E nesta perspectiva, o uso de experimentos deve ser entendido com uma atividade de investigação que age como facilitadora da aprendizagem significativa.

### **1.3 Justificativa e objetivos**

A proposta deste trabalho é construir algo relevante, que auxilie e complete o trabalho do professor, na qual 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. Para fomentar esta proposta desenvolvemos um produto educacional com materiais acessíveis e de custo moderado o que torna viável a sua utilização. O estudo da hidrodinâmica nos permite realizar experimentos simples que comprovam os conceitos teóricos e aproxima o aluno da sua realidade.

A temática foi escolhida para fortalecer o ensino do conteúdo, já que o mesmo não é abordado nas bibliografias disponibilizadas para o ensino médio. 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 com qual iremos 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, a qual representa a conservação da energia mecânica dos fluidos ideais e 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 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, auxiliar na interação entre professores e alunos gerando grande interesse pelo estudo dos conteúdos da Física. [6]

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 pelo uso da experimentação como motivação de aprendizagem.

# Capítulo 2

## Referencial de ensino

Ensinar é o verdadeiro desafio do professor de física. É preciso considerar que esta ciência possui linguagem própria o que torna necessário que o aluno desenvolva habilidades para compreender, reconhecer e empregar as informações recebidas. A concepção de ensinar vai além do ato de transmitir conhecimento, é preciso entusiasmar o aluno para o aprendizado científico, visto que o desinteresse no estudo das ciências físicas torna o fracasso decorrente.

Lecionar não é algo simples, é trabalhoso e envolve vários objetivos. Ser um educador, é proporcionar ao seu aluno o desenvolvimento de habilidades e competência para resolução de problemas, para construção de argumentos consistentes, para compreensão de fenômenos, para integração na sociedade através de conhecimentos significativos da teoria e prática da disciplina que se tornam indispensáveis em seu cotidiano. É possível reconhecer que os inúmeros objetivos citados nem sempre são contemplados. Muitas vezes, a forma como é transmitido, o conhecimento não é absorvido pelo aprendiz, este fato nos leva a pensar qual a proposta pedagógica que irá promover o maior índice de aquisição do conhecimento e menor fracasso escolar [20].

O que o aluno compreende em sua maior parte é o que o seu professor foi capaz de ajudá-lo a entender, desta forma pode se dizer que o aluno irá aprender dependendo da forma com que o conteúdo lhe é apresentado e o quanto o motivou. O ensino é um processo de construção compartilhada de significados entre professor e aluno, o qual ao ser orientado pode chegar ao raciocínio autônomo [21].

Podemos observar que o processo de ensino e aprendizagem vem sendo discutido há muito tempo na tentativa de encontrar um procedimento satisfatório para o complexo ato de ensinar. Em busca de uma prática pedagógica e didática adequadas, a fim de atingir os objetivos de

ensino, este trabalho tem a perspectiva de destacar a teoria de David Ausubel, a qual esclarece sobre a aprendizagem significativa. Para se ter um bom ensino ele deve ser produtivo, ser voltado ao estudante, promover mudança conceitual e tornar significativa a teoria e a prática [8].

Embora admitamos a importância da aprendizagem significativa, ainda é possível encontrar em grande parte das escolas o ensino tradicional e memorístico, o qual pode ser entendido como aprendizagem mecânica, onde a assimilação é literal, exata e rigorosa e não substantiva do novo conhecimento. É uma forma de aprendizagem onde não exige do aluno capacidade de articulação entre os conhecimentos prévios e novos conhecimentos. Podemos afirmar que a aprendizagem reprodutiva e memorística não é satisfatória devido ao baixo índice de retenção de conhecimento a longo prazo. Pode-se dizer que os alunos decoram de forma arbitrária alguns conceitos de física, dificultando o desenvolvimento de competências e habilidades desejadas de aprendizagem. Isso não significa que tudo que é memorizado não é válido. Em alguns casos, a memorização torna-se uma ferramenta que auxilia na compreensão do conteúdo [22].

Para alcançar uma aprendizagem significativa é preciso destacar que os indivíduos constroem seu conhecimento a partir da interação do que já é conhecido com o conhecimento novo que está recebendo, ou seja, o novo conhecimento só adquire significado quando ocorre interação com algum conhecimento prévio relevante [8]. Esse conhecimento prévio é adquirido no decorrer de uma vida toda por meio de situações vivenciadas no cotidiano do sujeito.

Pela teoria de David Ausubel a aprendizagem de significados relevantes ocorre de forma receptiva, onde o professor contribui fornecendo o novo conhecimento que faça interação ao conhecimento que já possui. Esse conhecimento prévio é chamado de subsunçor, que são os conhecimentos relevantes presentes no cognitivo do aluno. Essa percepção de transformação de aprendizado lógico em psicológico é específico do sujeito. No entanto, quando aprender significativamente é alcançado pelo grupo é possível compartilhar a essência do conteúdo por meio de significados comuns, mesmo sendo claro que o aprendizado é particular. Consequentemente o subsunçor durante todo o processo de ensino vai se tornando rico em significados, criando então habilidades para se adquirir novas aprendizagens [8].

Para o aluno estruturar esta aprendizagem com significado ele precisa querer, deve ter uma postura proativa e autonomia em vincular o conhecimento adquirido com o conhecimento correspondente já existente na estrutura cognitiva do aprendiz [7]. Desta maneira, podemos ter sim uma aprendizagem significativa em uma sala de aula convencional o que se torna imprescindível é que existam condições do aluno transformar os significados lógicos do conteúdo potencialmente significativo em conhecimento construído e estruturado. O aluno que tenha

conhecimentos prévios sobre determinado conteúdo poderá usar os atributos quando se deparar com novas informações. Esses conhecimentos serão capazes de fazê-lo entender com maior facilidade e será uma habilidade na construção do novo conhecimento.

Porém é possível verificar que Ausubel sugere a aprendizagem mecânica quando o conhecimento prévio não é detectado na estrutura cognitiva do aluno e que não existe relações a serem feitas com o novo conhecimento, sendo assim, faz-se necessário utilizar da memória para sustentar o conhecimento absorvido. A ideia é que o indivíduo decore o conhecimento inicial e a partir daí seja estruturado o novo conhecimento, a isto Ausubel denominou de organizadores prévios. Os organizadores prévios podem ancorar ideias relevantes para a aprendizagem com significado e também estabelecer relações entre proposições e conceitos já existentes ou contidos no material de ensino [8].

É evidente que a maneira de compreender e adquirir conhecimento seja o mais natural possível e podemos afirmar que se torna mais fácil e prazeroso partir de algo conhecido e apenas refinar as suas ideias e chegar aos resultados esperados. Porém nem sempre é possível realizar esta conexão e chegar a aprendizagem significativa. Por este motivo o produto educacional desenvolvido neste trabalho sugere o uso de ferramenta experimental para que a teoria seja aplicada de forma prática buscando a aprendizagem com significados [21].

Desenvolver atividades no laboratório e utilizá-lo como ferramenta didática aliando ao bom ensino da física pode ser um trabalho primoroso. O experimento usado como recurso, quando bem aplicado, é possível instigar no aluno o pensamento crítico, o raciocínio lógico, a investigação, refletir, analisar e propor hipóteses que expliquem as ideias originadas por meio da manipulação do experimento [23].

Essa ferramenta auxiliar deve estar associada ao conhecimento científico e não deve ser apenas o manuseio de materiais. Deve estar fundamentado em um contexto de aula para que haja real desenvolvimento intelectual, ou seja, o aluno deve ter o experimento não só para fixação do conteúdo trabalhado, mas ele deve ser capaz de interpretar os fenômenos que ocorrem durante sua manipulação e em consequência disto saber aplicar os conceitos e fomentar suas ideias [24].

Para se ter um experimento de caráter investigativo e com significado para aprendizagem é preciso que para o seu estudo ocorra estímulo ao aluno, a criatividade e argumentação na busca de solução para o problema proposto; o aluno não pode ser um mero observador. Investigar é contestar a transmissão literal do saber, é oportunizar ao aluno argumentações distintas no trabalho escolar. Pensar deve estar vinculado a refletir, argumentar, confirmar e até refutar

hipóteses [25]

A proposta deste trabalho é desenvolver a atividade didática experimental e que a partir da prática em sala de aula ocorra um maior envolvimento dos alunos e que eles possam refletir sobre o desenvolvimento do conceito. Na qual a teoria e o experimento vinculem fortemente o fenômeno físico para que a sua execução não seja mecânica e repetitiva e sim contribua para a aprendizagem com significado.

# Capítulo 3

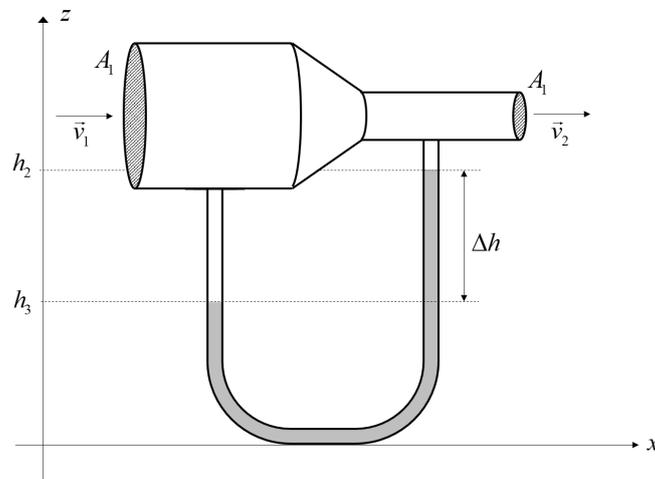
## Referencial teórico

O intuito deste capítulo é fornecer uma descrição teórica dos fenômeno observado no Tubo de Venturi (TV). Para isso, utilizaremos a abordagem proposta para cursos de nível superior [26–28], iniciando pela obtenção da relação entre velocidade  $v$  e diferença de pressão  $\Delta p$ , em dois pontos no interior de um fluido ideal.

### 3.1 Equação de Bernoulli

Considere a representação de um fluido laminar e incompressível (fluido ideal), que escoar ao longo de um TV, com área de seção reta variável. Conforme mostrado na figura (1).

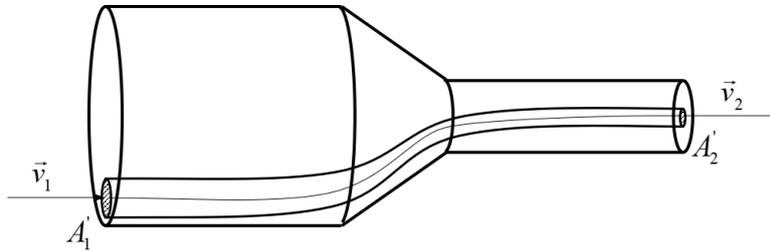
Figura 1 – Representação do Tubo de Venturi, com manômetro de tubo em U acoplado.  $A_1$  e  $A_2$  são as áreas de entrada e saída do fluido,  $\vec{v}_1$  e  $\vec{v}_2$  são as velocidades do fluido ao entrar e sair do tubo, respectivamente.  $h_1$  e  $h_2$  são as alturas das colunas de líquido manométrico, em cada ramo do tubo em U e  $\Delta h = h_1 - h_2$ .



Fonte: autoria própria.

Inicialmente, vamos considerar um caminho delimitado pelo deslocamento do fluido ao longo do TV e as áreas  $A'_1$  e  $A'_2$ , conforme representado pela figura (2).

Figura 2 – Representação de um trecho percorrido pelo fluido, no interior do TV. As áreas  $A'_1$  e  $A'_2$  estão representadas pelas áreas hachuradas na figura.

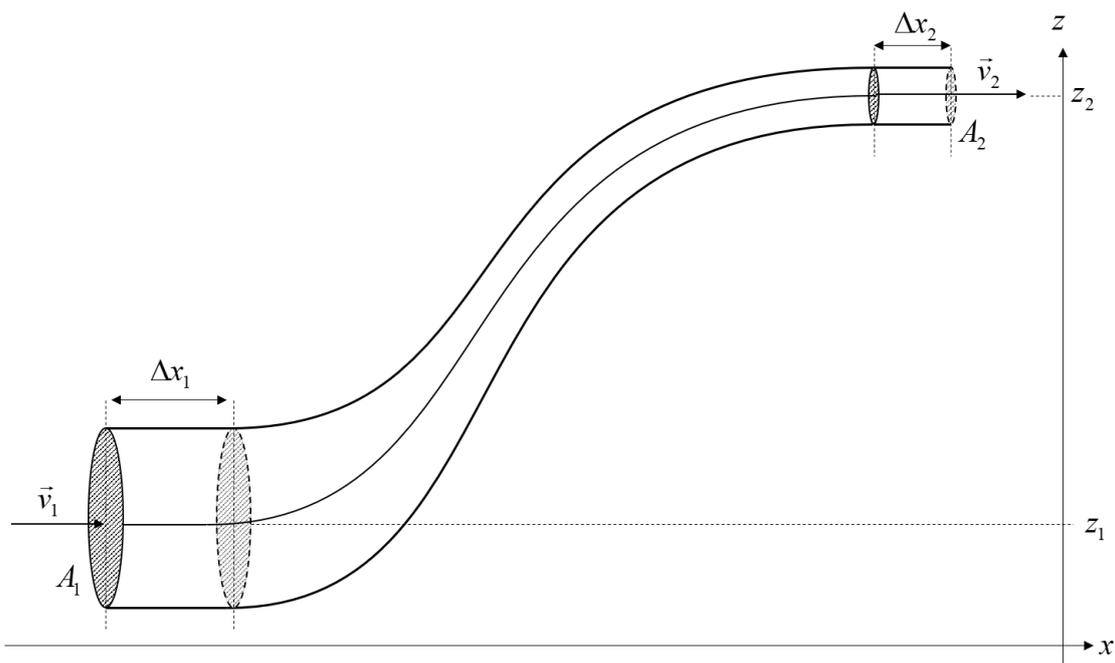


Fonte: autoria própria.

Uma vez que o fluido é incompressível, podemos afirmar que a quantidade de fluido que entra pela área  $A'_1$  é igual a quantidade de fluido que sai pela área  $A'_2$ .

Um fluido que se desloca pelo caminho indicado na figura (2), inicialmente atravessando a área de seção reta  $A'_1$ , percorrerá uma distância  $\Delta x_1$  em um intervalo de tempo  $\Delta t$ , ocasionando o deslocamento de uma porção de massa  $\Delta m_1$  do fluido com velocidade  $\vec{v}_2$ . Simultaneamente, uma camada transversal do fluido, que possui uma área  $A'_2$ , percorre uma distância  $\Delta x_2$ , deslocando uma quantidade de massa  $\Delta m_2$  com velocidade  $\vec{v}_2$ . Esta descrição pode ser visualizada na figura (3).

Figura 3 – Ampliação do trecho percorrido pelo fluido, descrito na figura (2) e representação do deslocamento de camadas transversais de um fluido.  $z_1$  e  $z_2$  representam as alturas da linha de deslocamento do fluido em relação a um referencial gravitacional.



Fonte: autoria própria.

Para que o fluido se desloque verticalmente de uma posição  $z_1$  para um posição  $z_2$  ( $z_2 > z_1$ ) é necessário que seja realizada uma pressão sobre o fluido, para que este supere a força gravitacional. A descrição do movimento do fluido pode ser obtida por meio da análise da variação da energia cinética ao longo do tudo e do trabalho realizado pelas forças de pressão e gravitacional. Para isso, vamos utilizar o teorema do trabalho e variação da energia cinética, descrito pela equação (3.1).

$$\Delta K = W. \quad (3.1)$$

Na qual,  $\Delta K$  representa a energia cinética e  $W$  o trabalho total realizado pelas forças de pressão e gravitacional. Ou seja

$$W = W_p + W_g. \quad (3.2)$$

O trabalho realizado pela força gravitacional pode ser escrito em termos da energia potencial gravitacional  $U_g = mgz$ ,

$$W_g = -\Delta U_g \quad (3.3)$$

$$W_g = -[U_g(z_2) - U_g(z_1)] \quad (3.4)$$

$$W_g = -[\Delta m_2 z_2 g - \Delta m_1 z_1 g] \quad (3.5)$$

$$W_g = -g[\Delta m_2 z_2 - \Delta m_1 z_1]. \quad (3.6)$$

Por sua vez, O trabalho realizado pelas forças de pressão, na entrada e saída, é dado por

$$W_p = \vec{F}_1 \cdot \Delta \vec{x}_1 + \vec{F}_2 \cdot \Delta \vec{x}_2. \quad (3.7)$$

Na qual  $\vec{F}_1$  é a força de pressão, que atua na camada do fluido com área  $A'_1$ , durante o deslocamento  $\Delta x_1$  e  $\vec{F}_2$  é a força de pressão, que atua na camada de fluido com área  $A'_2$ , durante um deslocamento  $\Delta x_2$ . Dada sua natureza, tais forças podem ser reescritas em termos das pressões e das áreas.

$$\vec{F}_1 = -p_1 A'_1 \hat{n}_1 \quad (3.8)$$

$$\vec{F}_2 = -p_2 A'_2 \hat{n}_2. \quad (3.9)$$

Onde  $p_1$  e  $p_2$  representam as pressões sobre as superfícies  $A'_1$  e  $A'_2$ , respectivamente,  $\hat{n}_1$  e  $\hat{n}_2$

representam vetores unitários, perpendiculares as áreas  $A'_1$  e  $A'_2$  possuem a mesma direção mas sentidos opostos.

Substituindo as equações (3.8) e (3.9) na equação (3.7) temos

$$W_p = -p_1 A'_1 \hat{n}_1 \cdot \Delta \vec{x}_1 - p_2 A'_2 \hat{n}_2 \cdot \Delta \vec{x}_2. \quad (3.10)$$

Efetuando o produto escalar, na equação (3.10) obtemos o trabalho realizado pelas forças de pressão

$$W_p = p_1 A'_1 \Delta x_1 - p_2 A'_2 \Delta x_2. \quad (3.11)$$

Os deslocamentos  $\Delta x_1$  e  $\Delta x_2$  podem ser substituídos na equação (3.11) pelo produto da velocidade e o intervalo de tempo, ou seja

$$W_p = p_1 A'_1 \Delta t v_1 - p_2 A'_2 \Delta t v_2. \quad (3.12)$$

O trabalho total, realizado pelas forças de pressão e a força gravitacional, é obtidos substituindo as equações (3.12) e (3.6) na equação (3.2)

$$W = -g [\Delta m_2 z_2 - \Delta m_1 z_1] + p_1 A'_1 \Delta t v_1 - p_2 A'_2 \Delta t v_2. \quad (3.13)$$

Por outro lado, a variação de energia cinética produzida pelas quantidades de massa  $\Delta m_1$  e  $\Delta m_2$ , que se deslocam com velocidades  $\vec{v}_1$  e  $\vec{v}_2$ , respectivamente, é dada por

$$\Delta K = K_2 - K_1 \quad (3.14)$$

$$\Delta k = \frac{1}{2} \Delta m_2 v_2^2 - \frac{1}{2} \Delta m_1 v_1^2. \quad (3.15)$$

Reunindo as equações (3.15) e (3.13) no teorema do trabalho e variação da energia cinética, equação (3.1), obtemos

$$\frac{1}{2} \Delta m_2 v_2^2 - \frac{1}{2} \Delta m_1 v_1^2 = -g [\Delta m_2 z_2 - \Delta m_1 z_1] + p_1 A'_1 \Delta t v_1 - p_2 A'_2 \Delta t v_2. \quad (3.16)$$

Continuando a descrição teórica, vamos reescrever a quantidade de  $\Delta m_1$  e  $\Delta m_2$  em termos da

densidade  $\rho$  do fluido e dos volumes  $\Delta V_1$  e  $\Delta V_2$ , ou seja

$$\Delta m_1 = \rho \Delta V_1 \quad (3.17)$$

$$\Delta m_2 = \rho \Delta V_2. \quad (3.18)$$

O volumes podem ser reescritos em termos do produto entre a área  $A_i$  e o deslocamento  $\Delta x_i$ ,

$$\Delta m_1 = \rho \Delta x_1 A'_1 \quad (3.19)$$

$$\Delta m_2 = \rho \Delta x_2 A'_2. \quad (3.20)$$

Por sua vez, os deslocamentos pode ser reescritos em termos da velocidade do fluido.

$$\Delta m_1 = \rho v_1 \Delta t A'_1 \quad (3.21)$$

$$\Delta m_2 = \rho v_2 \Delta t A'_2. \quad (3.22)$$

Dessa forma, observamos que

$$v_1 \Delta t A_1 = \frac{\Delta m_1}{\rho} \quad (3.23)$$

$$v_2 \Delta t A'_2 = \frac{\Delta m_2}{\rho}. \quad (3.24)$$

Ao substituir as equações (3.23) e (3.24), temos que

$$\frac{1}{2} \Delta m_2 v_2^2 - \frac{1}{2} \Delta m_1 v_1^2 = -g [\Delta m_2 z_2 - \Delta m_1 z_1] + p_1 \frac{\Delta m_1}{\rho} - p_2 \frac{\Delta m_2}{\rho}. \quad (3.25)$$

Considerando que a massa de água que entra é igual a massa de água que sai, ou seja  $\Delta m_1 = \Delta m_2 = \Delta m$ , temos que

$$\frac{1}{2} v_2^2 - \frac{1}{2} v_1^2 = -g (z_2 - z_1) + p_1 \frac{1}{\rho} - p_2 \frac{1}{\rho}. \quad (3.26)$$

Reescrevendo a equação (3.26), de modo que os termos que possuem a mesma numeração de subíndice estejam de um só lado da igualdade,

$$\frac{1}{2} v_2^2 + g z_2 + p_2 \frac{1}{\rho} = \frac{1}{2} v_1^2 + g z_1 + p_1 \frac{1}{\rho}. \quad (3.27)$$

Multiplicando a equação (3.27) por  $\rho$ , obtemos

$$\frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho g z_2 + p_2 = \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho g z_1 + p_1. \quad (3.28)$$

A equação (3.28) é conhecida como equação de Bernoulli e relaciona a variação de pressão, velocidade e altura durante o deslocamento de um fluido entre dois pontos da tubulação em que o fluido se move. É importante notar que esta equação é quantitativamente válida apenas para fluidos ideais, ou seja, fluidos homogêneos, incompressíveis e que se desloquem de maneira não turbulenta.

Note que, a igualdade na equação de Bernoulli somente é satisfeita se um lado da equação for constante em relação ao outro, ou seja

$$\frac{1}{2}\rho v^2 + \rho g z + p = \text{constante}. \quad (3.29)$$

Isso implica que, em um determinado ponto se um ou dois termos se alteram, deve surgir uma variação de um dos termos, para que a igualdade da equação (3.29) seja satisfeita. Por exemplo, um aumento da velocidade  $v$ , em ponto do  $z$  fixo da tubulação, ocasionará uma diminuição da pressão.

A análise da equação (3.29), permite ainda observar que, para dois pontos de uma tubulação situados à mesma altura, a qual está preenchida com um fluido em repouso ( $v = 0$ ), a equação de Bernoulli está em acordo com o princípio de Pascal, ou seja

$$p = \text{constante}. \quad (3.30)$$

Segundo este princípio, a variação de pressão de um fluido em repouso, na presença do campo gravitacional, se distribui de maneira igual e depende apenas da profundidade ( $\Delta P = \rho g z$ ). Ou seja, o fluido exerce a mesma pressão em objetos situados à mesma altura  $z$  no interior do fluido. Assim, a equação de Bernoulli pode ser interpretada como uma generalização do princípio de Pascal para o deslocamento de fluidos ideais.

## 3.2 Tubo de Venturi

De posse da equação de Bernoulli, vamos aplicá-la no TV para descrever a variação da diferença de altura nos níveis do tubo em U ( $\Delta h$ ) em função da velocidade de fluido. Para isso, vamos considerar dois pontos sobre as entradas do tudo em U, que está acoplado com o TV. Conforme apresentado na figura (4).

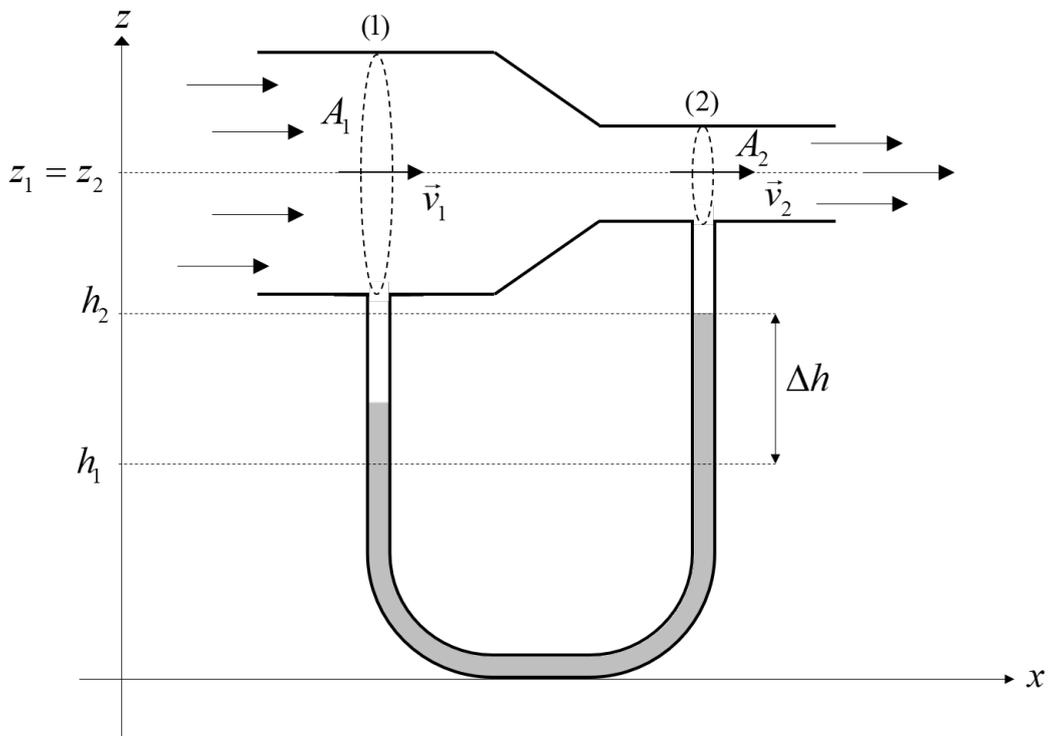
De acordo com a equação de Bernoulli, sabemos que a pressão e velocidade do fluido em dois pontos diferentes do TV é dada por

$$\frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho g z_2 + p_2 = \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho g z_1 + p_1. \quad (3.31)$$

No entanto,  $z_1 = z_2$ , representados na figura abaixo, logo

$$\frac{1}{2}\rho v_2^2 + p_2 = \frac{1}{2}\rho v_1^2 + p_1. \quad (3.32)$$

Figura 4 – Representação de um corte longitudinal em um tubo de Venturi, indicando os pontos (1) e (2) localizados no centro do tudo e sobre as posições da entrada dos ramos do tubo em U.  $\Delta h$  é a diferença entre a altura dos níveis dos ramos do tubo em U,  $z_1$  é altura dos pontos (1) e (2) em relação a um referencial gravitacional e  $A_1$  e  $A_2$  são as áreas de seção transversal nos pontos (1) e (2).



Fonte: autoria própria.

Utilizando um fluido com densidade  $\rho_a$  como fluido que se desloca, podemos reescrever a equação (3.32).

$$\frac{1}{2}\rho_a (v_2^2 - v_1^2) = p_1 - p_2 \quad (3.33)$$

$$v_2^2 - v_1^2 = \frac{2}{\rho_a} (p_1 - p_2). \quad (3.34)$$

A equação (3.34) determina que, se  $v_2 > v_1$ , então  $p_2 < p_1$ . Isto se à variação da área de seção transversal, em cada lado do TV. No entanto, a vazão no tubo deve ser constante, ou seja

$$A_1 v_1 = A_2 v_2. \quad (3.35)$$

Assim, podemos utilizar a equação (3.35), conhecida como equação da continuidade, para relacionar a velocidade em um dos pontos, com a diferença de pressão. Devido a estrutura desenvolvida neste produto educacional, optaremos por determinar a velocidade no ponto (2), ou seja

$$v_1 = \frac{A_2}{A_1} v_2. \quad (3.36)$$

Substituindo a equação (3.36) na equação (3.34) obtemos

$$v_2^2 - v_1^2 = \frac{2}{\rho_a} (p_1 - p_2) \quad (3.37)$$

$$v_2^2 - \left(\frac{A_2}{A_1} v_2\right)^2 = \frac{2}{\rho_a} (p_1 - p_2) \quad (3.38)$$

$$v_2^2 \left(\frac{A_1^2 - A_2^2}{A_1^2}\right) = \frac{2}{\rho_a} (p_1 - p_2) \quad (3.39)$$

$$(3.40)$$

$$v_2^2 = \frac{2}{\rho_a} \left(\frac{A_1^2}{A_1^2 - A_2^2}\right) (p_1 - p_2) \quad (3.41)$$

$$v_2 = A_1 \sqrt{\frac{2}{\rho_a} \left(\frac{p_1 - p_2}{A_1^2 - A_2^2}\right)}. \quad (3.42)$$

Lembrando que os pontos (1) e (2) estão sobre as entradas do tubo em U, sabemos que a diferença de pressão é comunicada ao líquido manométrico. Assumindo que este líquido possua densidade  $\rho_b$ , podemos determinar a relação entre a diferença de pressão e a diferença de altura

$\Delta h$ , utilizando o princípio de Stevin, ou seja

$$p_1 = p_0 + \rho_b g h_1 \quad (3.43)$$

$$p_2 = p_0 + \rho_b g h_2 \quad (3.44)$$

Logo,

$$p_1 - p_2 = \rho_b g (h_1 - h_2) \quad (3.45)$$

$$p_1 - p_2 = \rho_b g \Delta h. \quad (3.46)$$

Substituindo a equação (3.46) na equação (3.42) obtemos a relação entre a velocidade  $v_2$  e a diferença de altura  $\Delta h$ .

$$v_2 = A_1 \sqrt{2g \frac{\rho_b}{\rho_a} \left( \frac{\Delta h}{A_1^2 - A_2^2} \right)}. \quad (3.47)$$

Se o tubo possui áreas circulares  $A_1 = \pi R_1^2$  e  $A_2 = \pi R_2^2$ , podemos substituir a medida das áreas pela medida dos raios, ou seja

$$v_2 = R_1^2 \sqrt{2g \frac{\rho_b}{\rho_a} \left( \frac{\Delta h}{R_1^4 - R_2^4} \right)}. \quad (3.48)$$

A equação (3.48) descreve a dependência da diferença das alturas nos níveis do líquido manométrico, dentro do tubo em U, em função da velocidade do fluido no ponto (2). Note que, os demais parâmetros  $\rho_a$ ,  $\rho_b$ ,  $g$ ,  $R_1$  e  $R_2$  se mantêm constantes durante o deslocamento do fluidos. Uma vez conhecidos tais parâmetros, podemos utilizar o tubo de Venturi, acoplado com um tubo em U, para determinar a velocidade de fluidos.

É importante observar, que a equação (3.48) é válida, quantitativamente, para o deslocamento de fluidos ideais e, além disso, a configuração experimental, tratada nesta seção, necessita que os fluidos (que se desloca e manométrico) sejam imiscíveis.

# Capítulo 4

## Confecção do produto educacional

Como parte do produto educacional deste trabalho, propomos a confecção de conjunto experimental composto por 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.

### 4.1 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  $(50 \times 25)$  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).

## 4.2 Montagem

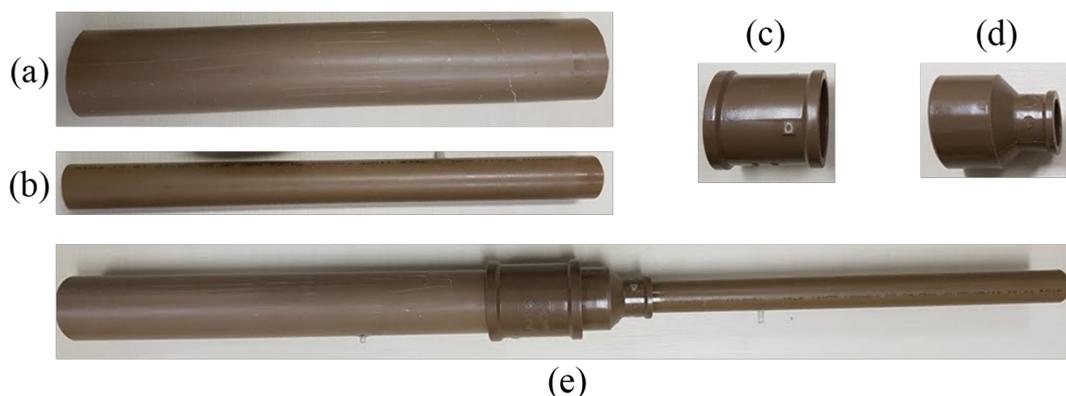
O conjunto experimental proposto é composto das seguintes partes fundamentais:

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

### 4.2.1 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 (5).

Figura 5 – 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.

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 longos dos dois pedaços de cano PVC. Após realizar os cortes e a inserção das ponteiros, obteve-se as conexões apresentadas na figura (6).

Figura 6 – Imagem das conexões do tubo de Venturi com o tubo em U, utilizando a ponteira das seringas de 5 ml.



Fonte: autoria própria.

#### 4.2.2 Tubo manométrico em U

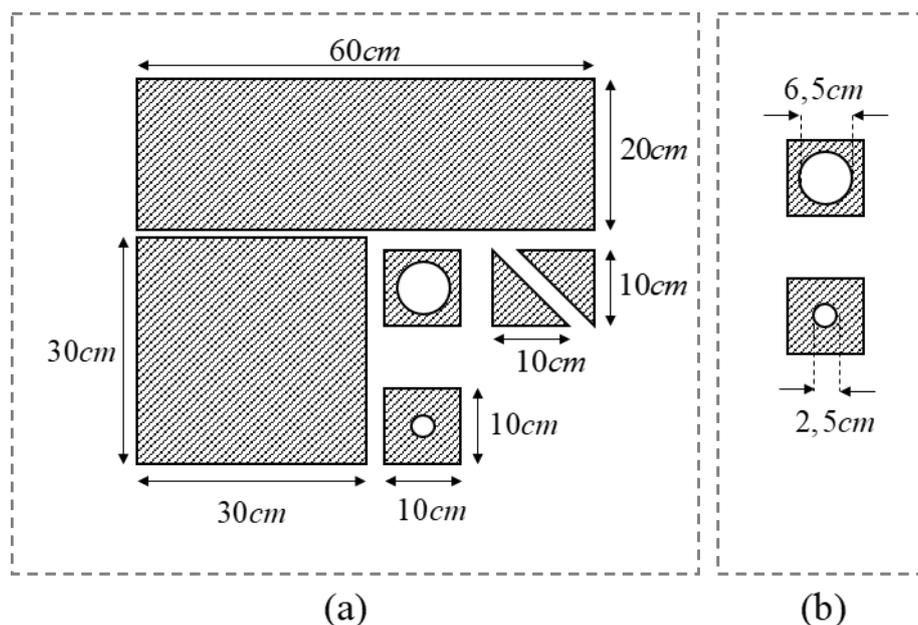
O tubo manométrico em U, é um dispositivo utilizado para medir pressão diferencial. Para confecção deste tubo, utilizamos duas pipetas graduadas, com volume total de 2 ml e conectadas entre si por meio de um pedaço de mangueira de silicone, com diâmetro de 8 mm e comprimento aproximado de 6 cm.

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 (4.7) apresenta a imagem do tubo em U.

#### 4.2.3 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 (7).

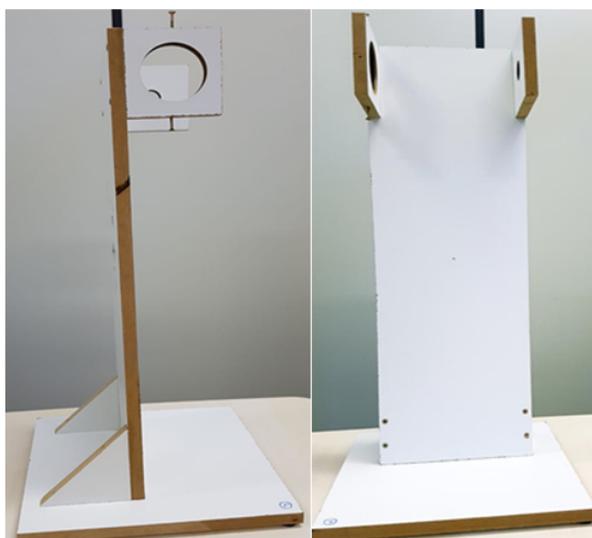
Figura 7 – (a) Representação esquemática dos cortes e (b) furações da partes que compõe a estrutura para fixação.



Fonte: autoria própria.

Para a furação das peças, mostradas na figura (7b), 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 (8).

Figura 8 – 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.



Fonte: autoria própria.

#### 4.2.4 Sistema gerador de fluxo de ar

Na atividades 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. Esses sistemas que podem ser construídos pelos próprios alunos ou pelo professor

Figura 9 – 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*, o qual permitem variar a intensidade de corrente elétrica, possibilitando o controle da velocidade do fluxo de ar.

#### 4.2.5 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. [29]

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. [29].

Neste trabalho, forma utilizados os anemômetros da marca Kkmomn, modelo GM8908. A figura (10) apresenta a imagem deste anemômetro.

Figura 10 – Imagem do anemômetro, utilizado neste trabalho. Este equipamento possibilitou a medida da velocidade o ar no intervalo de 0 a 32  $m/s$ .

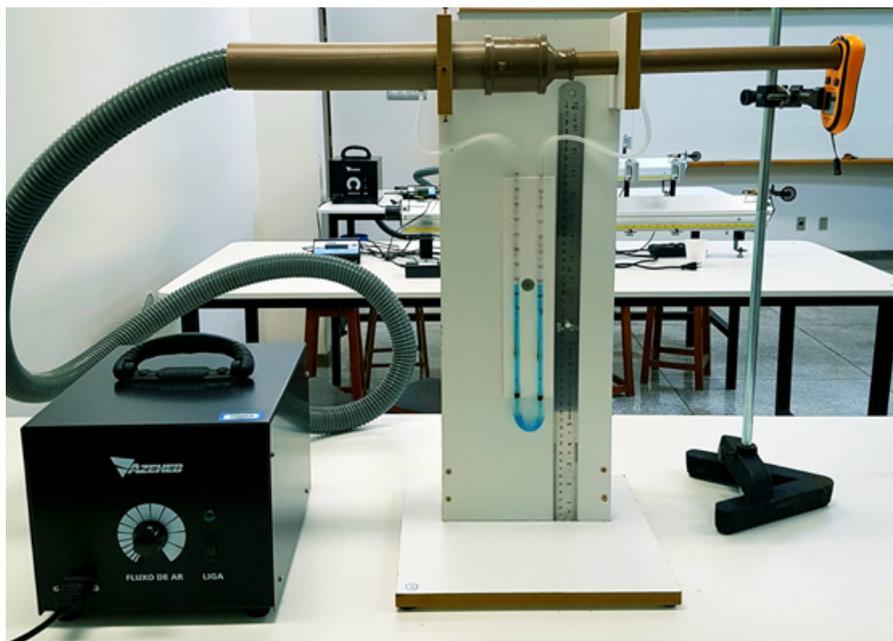


Fonte autoria própria.

### 4.3 Funcionamento

Uma vez confeccionada todas as partes do conjunto experimental, elas forma utilizadas conforme a configuração apresentada na figura (11).

Figura 11 – Configuração experimental utilizada para as medidas da variação de pressão em função da velocidade do ar.



Fonte autoria própria.

Conforme observado na figura (11), 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 5

## Resultados

Com a finalidade verificar o funcionamento e as possibilidades do conjunto experimental, proposto como parte do produto educacional e desenvolvido neste trabalho, foram realizadas quatro séries de medidas da diferença de altura entre os níveis do tubo em U  $\Delta x$ , medido com auxílio de uma régua e a respectiva velocidade de saída do ar, medida com auxílio do anemômetro.

Tabela 1 – Primeira série de medidas de  $\Delta h$  e  $v$  do ar na saída do tubo de Venturi.

Medida	Velocidade	Diferença de altura
-	<i>m/s</i>	<i>cm</i>
1	10,2	0,9
2	14,1	1,7
3	18,8	3,4
4	20,0	4,2
5	22,0	4,8
6	24,0	5,6
7	26,0	6,9
8	28,0	7,8
9	30,0	8,9
10	32,0	10,1

Fonte: autoria própria.

Tabela 2 – Segunda série de medidas de  $\Delta h$  e  $v$  do ar na saída do tubo de Venturi.

Medida	Velocidade	Diferença de altura
-	$m/s$	$cm$
1	7,3	0,5
2	10,6	0,7
3	13,8	1,7
4	17,0	2,4
5	18,6	3,2
6	20,0	4,0
7	22,0	4,5
8	24,0	5,4
9	26,0	6,5
10	28,0	7,5

Fonte: autoria própria.

Tabela 3 – Terceira série de medidas de  $\Delta h$  e  $v$  do ar na saída do tubo de Venturi.

Medida	Velocidade	Diferença de altura
-	$m/s$	$cm$
1	11,6	1,0
2	13,7	1,9
3	15,5	2,1
4	16,4	2,4
5	18,0	2,9
6	20,0	4,2
7	22,0	5,0
8	24,0	5,9
9	26,0	6,7
10	28,0	7,8

Fonte: autoria própria.

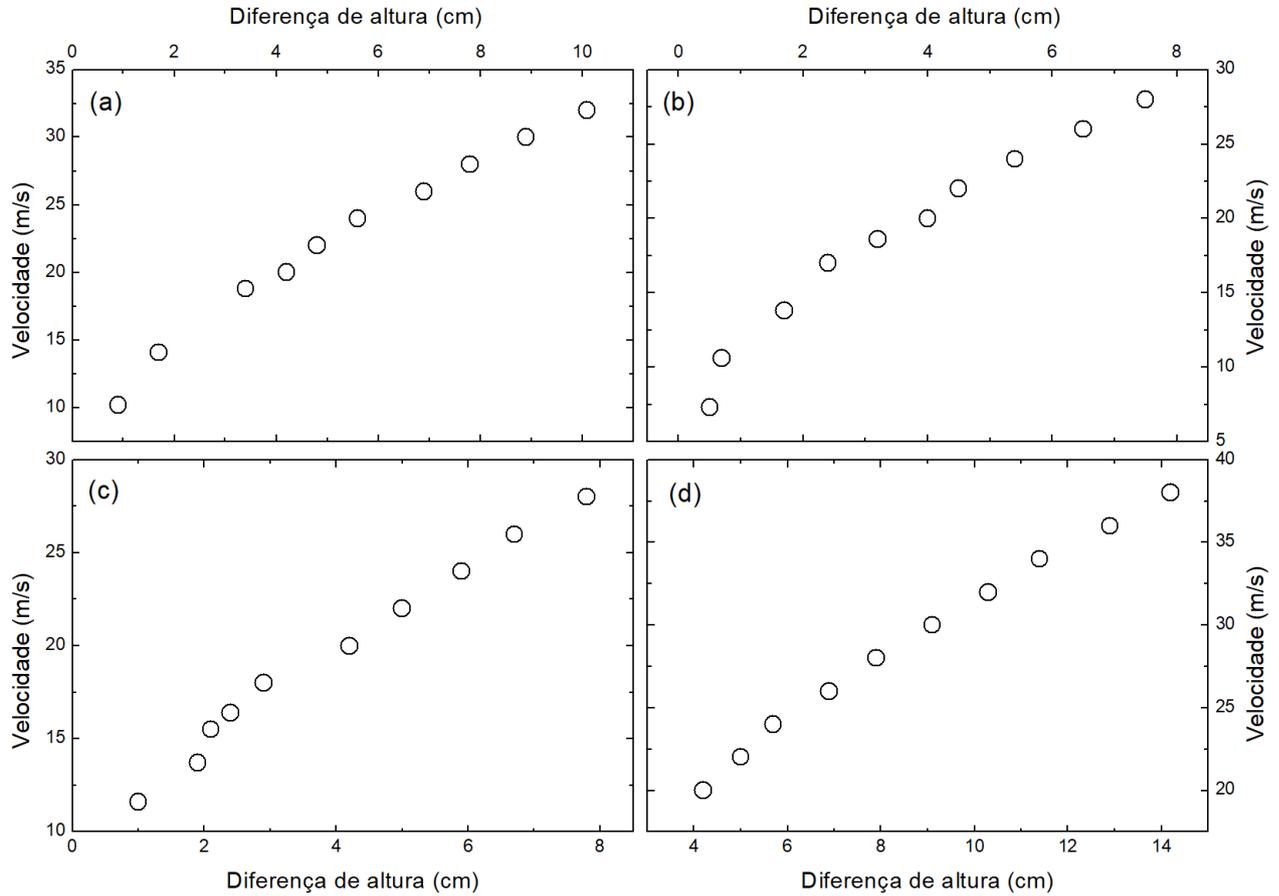
Tabela 4 – Quarta série de medidas de  $\Delta h$  e  $v$  do ar na saída do tubo de Venturi.

Medida	Velocidade	Diferença de altura
-	$m/s$	$cm$
1	20,0	4,2
2	22,0	5,0
3	24,0	5,7
4	26,0	6,9
5	28,0	7,9
6	30,0	9,1
7	32,0	10,3
8	34,0	11,4
9	36,0	12,9
10	38,0	14,2

Fonte: autoria própria.

Com base nos dados apresentados nas tabelas (1), (2), (3) e (4), foram confeccionados os gráficos da velocidade em função de  $\Delta h$ , conforme apresentados na figura (12).

Figura 12 – Gráficos da velocidade de saída do ar em função da diferença de altura nos ramos do tubo em U, para as quatro séries de medidas: (a) primeira, (b) segunda, (c) terceira e (d) quarta.



Fonte: autoria própria.

Sabemos que, não ocorre variação da altura dos ramos do tubo em U. Este fato e observação dos gráficos apresentados na (12), possibilita a suposição de que a relação entre a velocidade  $v$  e a diferença de altura  $\Delta h$  seja do tipo

$$v \propto \Delta h^\alpha. \quad (5.1)$$

Ou seja,

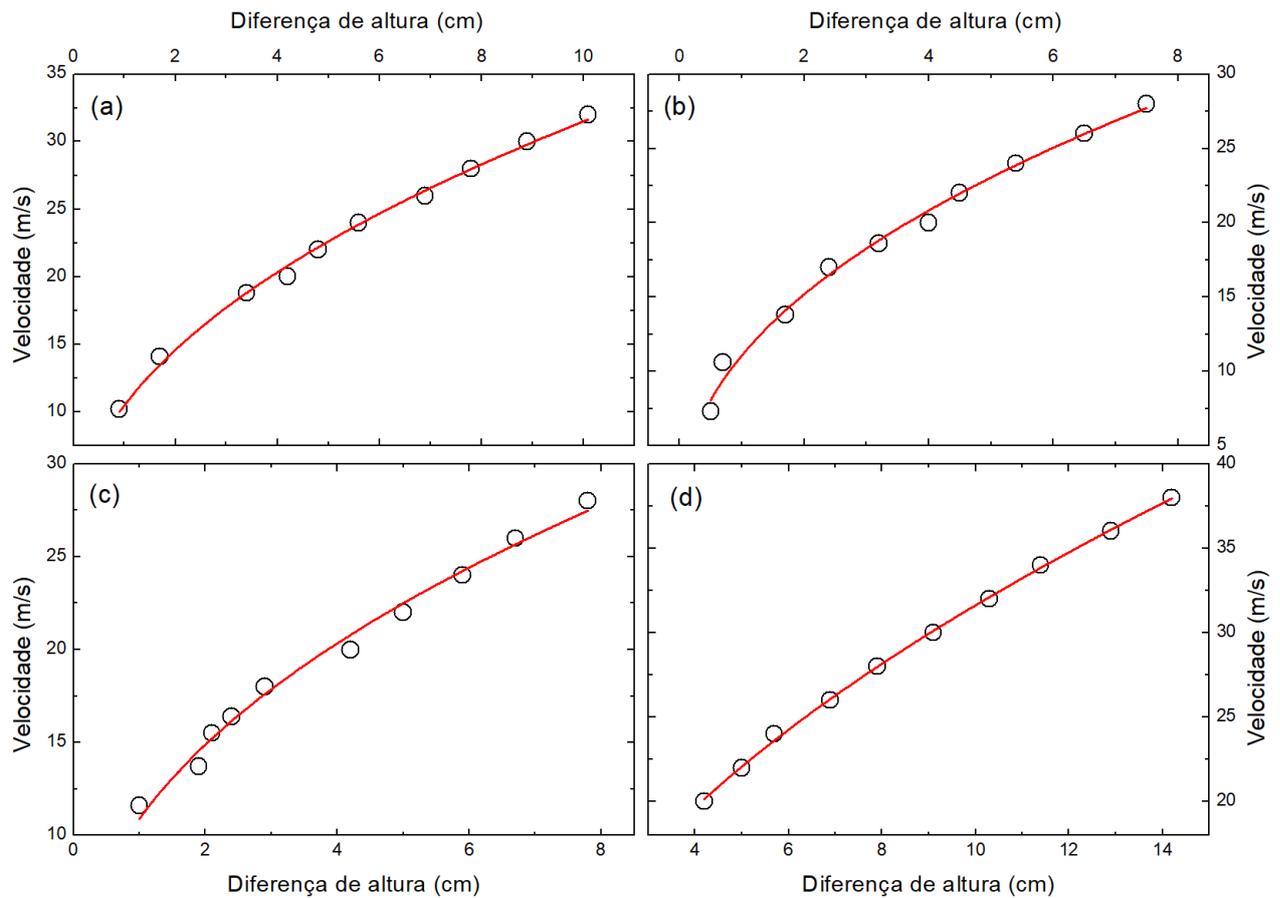
$$v = k\Delta h^\alpha. \quad (5.2)$$

A obtenção do coeficiente  $\alpha$  pode ser realizada por meio de um ajuste teórico dos dados apresentados nos gráficos da figura (12), utilizando a equação (5.2), ou por meio da linearização e

posterior determinação do coeficiente angular da reta. Sugerimos a primeira opção, sempre que o professor/alunos dispõem de computadores ou *smartphones*.

Os valores do coeficiente  $\alpha$ , para os gráficos da figura (12) foram obtidos por meio de ajuste teórico da equação (5.2) utilizando o software SciDaVis. Os valores obtidos experimentalmente e as curvas de ajuste, são apresentados na figura (13).

Figura 13 – Gráficos dos valores da velocidade em função da diferença de altura dos níveis nos ramos do tubo em U (círculos) e curva de ajuste utilizando a equação (5.2) (linha vermelha). (a) primeira, (b) segunda, (c) terceira e (d) quarta séries de medidas.



Fonte: autoria própria.

Os valores obtidos para os parâmetros de ajuste  $k$  e  $\alpha$ , para cada série de medida, pode ser observado na tabela (5).

Tabela 5 – Valores dos parâmetros  $k$  e  $\alpha$  obtidos a partir do ajuste teórico, com a equação (5.2), para as quatro séries de medidas.

Medida/Gráfico	Parâmetro $k$	Parâmetro $\alpha$
1/(a)	$9,5 \pm 0,1$	$0,48 \pm 0,01$
2/(b)	$11,1 \pm 0,3$	$0,46 \pm 0,02$
3/(c)	$10,9 \pm 0,3$	$0,45 \pm 0,02$
4/(d)	$9,6 \pm 0,1$	$0,52 \pm 0,01$

Fonte: autoria própria.

Observando os resultados obtidos, para o valor do parâmetro  $\alpha$ , verificamos que o valor médio deste é  $\bar{\alpha} = (0,48 \pm 0,01)$ , o que nos permite arredondar este valor para  $\alpha = (0,5 \pm 0,1)$ . Ou seja,

$$v \propto \sqrt{\Delta h}, \quad (5.3)$$

A dependência quadrática da diferença de altura em função da velocidade pode ser satisfatoriamente “explicada” pela equação de Bernoulli (veja Referencial teórico). No entanto, para avançar na interpretação deste fenômeno à luz da equação de Bernoulli, vamos determinar a razão entre a velocidade determinada experimentalmente  $v_e$  e a velocidade teórica  $v_t$ , predita por tal equação.

Definimos a velocidade teórica como sendo aquela que é obtido quando substituimos os valores medidos para  $\Delta h$  na equação de Bernoulli.

$$v_2 = R_1^2 \sqrt{2g \frac{\rho_b}{\rho_a} \left( \frac{\Delta h}{R_1^4 - R_2^4} \right)}. \quad (5.4)$$

Na qual,  $R_1 = 21,78mm$  e  $R_2 = 10,68mm$  são os raios internos dos canos de PVC,  $g = 9,786m/s^2$  é a aceleração da gravidade e  $\rho_a = 1,165kg/m^3$  e  $\rho_b = 997,33kg/m^3$  são as densidades do ar e da água, respectivamente.

De posse dos valores das grandezas presente na equação (5.4) e de  $\Delta h$ , é possível calcular as velocidades teóricas e compará-las com as velocidades experimentais. As tabelas (6), (7), (8) e (9) apresentam essas comparações, com o desvio percentual calculado por meio da equação (5.5).

$$D(\%) = 100 \left| \frac{v_t - v_e}{v_e} \right|. \quad (5.5)$$

Tabela 6 – Comparação entre as velocidades experimentais ( $v_e$ ) e velocidade teóricas ( $v_t$ ), para a primeira série de medidas.

Medida	$v_e$	$v_t$	Desvio	$v_e/ v_t$
-	$m/s$	$m/s$	%	-
1	10,2	12,7	24	0,81
2	14,1	17,4	23	0,81
3	18,8	24,6	31	0,76
4	20,0	27,3	37	0,73
5	22,0	29,2	33	0,75
6	24,0	31,6	31	0,76
7	26,0	35,0	35	0,74
8	28,0	37,2	33	0,75
9	30,0	39,8	33	0,75
10	32,0	44,5	39	0,72

Fonte: autoria própria.

Tabela 7 – Comparação entre as velocidades experimentais ( $v_e$ ) e velocidade teóricas ( $v_t$ ), para a segunda série de medidas.

Medida	$v_e$	$v_t$	Desvio	$v_e/ v_t$
-	$m/s$	$m/s$	%	-
1	7,30	9,4	29	0,77
2	10,6	11,2	5	0,95
3	13,8	17,4	26	0,79
4	17,0	20,7	22	0,82
5	18,6	23,9	28	0,78
6	20,0	26,7	33	0,75
7	22,0	28,3	29	0,78
8	24,0	31,0	29	0,77
9	26,0	34,0	31	0,76
10	28,0	38,3	37	0,73

Fonte: autoria própria.

Tabela 8 – Comparação entre as velocidades experimentais ( $v_e$ ) e velocidade teóricas ( $v_t$ ), para a terceira série de medidas.

Medida	$v_e$	$v_t$	Desvio	$v_e/ v_t$
-	$m/s$	$m/s$	%	-
1	11,6	13,3	15	0,87
2	13,7	18,4	34	0,75
3	15,5	19,3	25	0,80
4	16,4	20,7	26	0,79
5	18,0	22,7	26	0,79
6	20,0	27,3	37	0,73
7	22,0	29,8	36	0,74
8	24,0	32,4	35	0,74
9	26,0	34,5	33	0,75
10	28,0	39,1	40	0,72

Fonte: autoria própria.

Tabela 9 – Comparação entre as velocidades experimentais ( $v_e$ ) e velocidade teóricas ( $v_t$ ), para a quarta série de medidas.

-	$m/s$	$m/s$	%	-
1	20,0	27,3	37	0,73
2	22,0	29,8	36	0,74
3	24,0	31,8	33	0,75
4	26,0	35,0	35	0,74
5	28,0	37,5	34	0,75
6	30,0	40,2	34	0,75
7	32,0	42,8	34	0,75
8	34,0	45,0	32	0,76
9	36,0	47,9	33	0,75
10	38,0	52,8	39	0,72

Fonte: autoria própria.

A análise dos resultados, mostrados nas tabelas (6), (7), (8) e (9) evidenciam o fato de que a equação de Bernoulli não descreve quantitativamente a relação entre a  $v$  e  $\Delta h$ .

Este fato é esperado, uma vez que a equação de Bernoulli somente descreve quantitativamente o deslocamento laminar de fluidos ideais. Ou seja, deslocamento não turbulento de fluidos homogêneos e incompressíveis. Uma vez que o ar é altamente compressível e se desloca no interior do tubo de Venturi de forma turbulenta a diferença entre os resultados medidos e

preditos pela teoria é esperado.

No entanto, note que, a razão entre as velocidades experimental e teórica são, na média, iguais para quaisquer valores de velocidade. Podemos supor que a diferença de velocidades deve-se apenas a fatores geométricos do conjunto experimental, que induzem uma perda de energia cinética, pois para quaisquer conjuntos de velocidades, temos que  $v_e < v_t$ .

Note que, a razão média entre as velocidades é dada por

$$\langle (v_e/v_t) \rangle = (0,77 \pm 0,04). \quad (5.6)$$

Logo, podemos utilizar esta razão como um fator de ajuste, ou de calibração da equação de Bernoulli, para estes conjuntos experimentais.

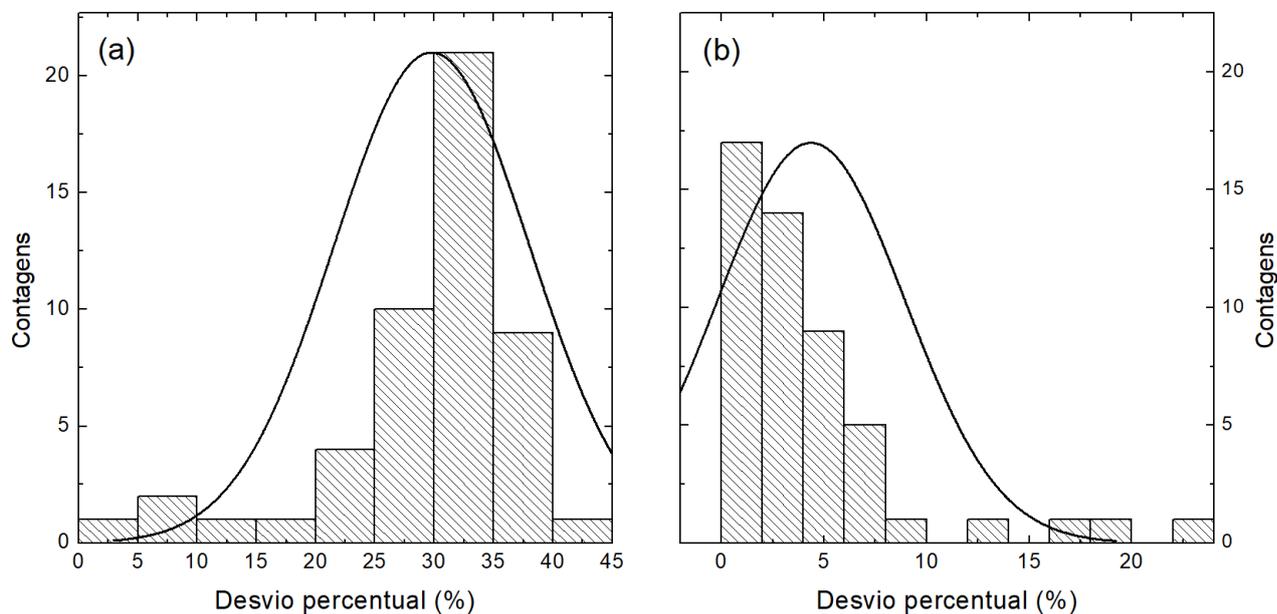
$$v_2 = \beta R_1^2 \sqrt{2g \frac{\rho_b}{\rho_a} \left( \frac{\Delta h}{R_1^4 - R_2^4} \right)}. \quad (5.7)$$

Na qual,

$$\beta = \langle (v_e/v_t) \rangle = (0,77 \pm 0,04). \quad (5.8)$$

Recalculando as velocidades teóricas, com a inserção do fator de calibração  $\beta$ , reduzimos significativamente a diferença entre as velocidades teóricas e experimental, conforme ilustrado pela comparação dos picos dos histogramas, dos desvios percentuais calculados antes e depois da calibração, observados nas figuras (14 a) e (14 b), respectivamente.

Figura 14 – Comparação dos histogramas dos desvios percentuais, calculados por meio da equação (5.5) antes (a) e depois (b) da inserção do fator de calibração  $\beta$ . As linhas contínuas representam a distribuição normal que se ajusta a cada histograma, cujo pico fornece o valor mais provável do desvio percentual.



Fonte: autoria própria.

Os resultados observados, mostram que o conjunto experimental, proposto como parte do produto educacional, desenvolvido neste trabalho, possibilita que seja abordada de forma qualitativa e quantitativa as variações de velocidade e pressão e a relação entre si. Além disso, o fato de que temos que calibrar o sistema possibilita explorar as limitações de um princípio/lei/equação física, neste caso a equação de Bernoulli.

Cabe ao professor, analisar o quão profundo eles e seus alunos adentrarão nas atividades e discussões que este produto educacional pode fornecer. Para isso, como parte deste produto educacional, sugerimos algumas maneiras de aplicação, descritas no próximo capítulo.

# Capítulo 6

## 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 um descrição teórica do fenômeno que será abordado e, após isso, realizar a atividades 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.

## 6.1 Apresentação

Com o intuito de apresentar o 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 o 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.

## 6.2 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 ( $\Delta h$ ) 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  $\Delta h$  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 água<sup>1</sup>. 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 obtidos<sup>2</sup>.

### 6.3 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.

---

<sup>1</sup>Note 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.

<sup>2</sup>Os diâmetros dos canos podem ser obtidos com um paquímetro [30], o densímetro pode ser utilizado para determinar a densidade da água e o pêndulo simples pode fornecer o valor da aceleração gravitacional [31].

- (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.

$$v \propto \Delta h^\alpha. \quad (6.1)$$

A obtenção do parâmetro  $\alpha$ , que descreve a relação funcional entre as grandezas  $v$  e  $\Delta h$ , pode ser obtido por meio de um ajuste teórico, com a equação (6.1) 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  $\alpha$  muito próximo ao previsto pelo resultado teórico<sup>3</sup>.

## 6.4 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  $\Delta h$ . 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 [32, 33].

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 (6.2).

$$v_2 = R_1^2 \sqrt{2g \frac{\rho_{H_2O}}{\rho_{ar}} \left( \frac{\Delta h}{R_1^4 - R_2^4} \right)}. \quad (6.2)$$

---

<sup>3</sup>Ou 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  $\Delta h$ ,  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $g$ ,  $\rho_{H_2O}$  e  $\rho_{ar}$  na equação (6.2).

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 teoricamente<sup>4</sup>. 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  $\Delta h$  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  $\Delta h$ .

## 6.5 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

---

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

verificação dos 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.

# Capítulo 7

## Relato da aplicação do produto educacional

Uma das motivações que optamos em desenvolver um produto educacional sobre hidrodinâmica foi por ser um conteúdo que não pertence a grade curricular da disciplina de física para o ensino médio. Este desejo de demonstrar este conteúdo aos alunos originou pois é uma assunto de suma importância, e que temos acesso diariamente a situações onde pode ser demonstrado de forma facilitada e sem apresentar formalismos matemáticos que tendência o fracasso de muitos alunos ao ensino de Física, gerando a repulsa a disciplina por muitos.

Como já enfatizado, o conteúdo não consta na grade curricular. Por este motivo o produto foi desenvolvido para que não utilize de muitas aulas para sua aplicação. O mesmo precisa apenas de 4 horas aula para sua demonstração, manipulação e coleta de resultados.

Optamos por aplicar este material a uma turma de terceiro ano do ensino médio, pois já tiveram experiência com o conteúdo de hidrostática, o qual é utilizado como conhecimento prévio para a compreensão da equação de Bernoulli.

Para o pleno funcionamento do experimento foi necessário uma montagem específica dos equipamentos. Por isso optamos por monta-los e deixa-los disponíveis para o uso. No entanto seria possível que os alunos fizessem esta montagem com as indicações feitas pelo professor.

A aplicação foi realizada em colégio da rede pública de ensino situado na cidade de Cascavel – PR. Foi selecionado uma turma com 22 alunos de terceiro ano do período noturno do Colégio Interlagos. Utilizamos do laboratório didático da instituição. Quando os alunos se alocaram em sala e perceberam o material já montado foi possível verificar o interesse. Sem tocar no

equipamento já estavam eufóricos e especulando sobre o material. Dividimos os em três grupos para que pudessem realizar a atividade.

A primeira abordagem foi sobre o que de fato estaríamos estudando por meio do equipamento. Foi explicado cada componente do experimento e realizado então uma demonstração de como seria a sua utilização e liberado para a sua primeira manipulação.

Nessa primeira abordagem foi solicitado aos alunos que pudessem identificar o que estava ocorrendo no experimento, e obtivemos as seguintes respostas:

Grupo 01. O fluxo de ar é comprimido, o que faz com que a velocidade que o ar sai seja maior do que ele entra. Quanto maior a velocidade menor a pressão.

Grupo 02. Devido a pressão exercitada no tubo maior , faz a água do subir.

Grupo 03. O ar entra no tubo 1 fazendo pressão para a água que está equilibrada nos 2 canos, subir através da velocidade dada pelo compressor.

Após a investigação inicial foi disponibilizado um roteiro, onde eles deveriam coletar os dados, ou seja, os valores de variação de altura dos níveis de água quando aplicado velocidade no tubo de Venturi, e com este roteiro em mãos fizeram as anotações devidas.

Findando a coleta de dados, o professor solicitou os dados coletados por um dos grupos formados e mostrou graficamente por meio do software SciDavis a relação entre a velocidade e a variação de altura. A relação foi demonstrada sem utilizar formalismos matemáticos demasiados às equações de Bernoulli e do Tubo de Venturi.

Após toda explicação oral realizada pelo professor, foi aberto a discussões que levaram algumas conclusões feitas pelos alunos:

“Significa então que se a área for menor a pressão é maior e quando a pressão é menor significa que a área é maior”

“Então a diferença de altura nos canos é o que indica a velocidade de saída do tubo”

“Quanto menor a área maior a velocidade do ar”

“Existe uma diferença de pressão no cano”

Após as discussões realizadas o professor indicou alguns exemplos vivenciados diariamente, o que enfatizou a importância do estudo de hidrodinâmica. Os exemplos foram sobre a bomba spray de um perfume, a asa de um avião, como é aplicado na cardiologia, como pode ser utilizado na agricultura e até em um lava carros.

A primeira situação que pode ser verificada foi de como uma simples abordagem didática diferenciada motivou esses alunos. Eles apresentavam desejo de conhecer o objeto e entender o fenômeno físico. Foi possível verificar que cada um que participou desta aplicação saiu com vontade de mais conhecimento. Graças a esta atividade eles puderam sair das linguagens conceituais e simbólicas e compreender os conceitos e teorias aplicadas.

Visto a grande intensidade e determinação para a aprendizagem seria possível ir mais a fundo na abordagem do conteúdo, sendo que a ideia inicial foi apenas apresentar o modelo hidrodinâmico e demonstrar a importância em nosso cotidiano.

# Capítulo 8

## Conclusão

Tendo em vista o desinteresse e aversão dos alunos de ensino médio pela disciplina de Física devido à abordagem tradicional do conteúdo por meio do formalismo matemático, optamos por focar o desenvolvimento desta aplicação ao estudo do fenômeno, deixando a linguagem matemática em segundo plano. A ideia foi explicar a equação de Bernoulli utilizando o tubo de Venturi como material experimental, onde pode-se contemplar o conhecimento em hidrodinâmica enfatizando a sua importância.

Afirmamos que ensinar física realmente é um desafio. Para que se consiga entusiasmar o aluno para o aprendizado científico com teorias e leis complexas e de difíceis interpretações gera um verdadeiro caos. Por este motivo o professor além de proporcionar o conhecimento dos fenômenos físicos, deve dispor de habilidades e competências para a resolução de problemas que promovam debates com argumentos contundentes, na qual a teoria e a prática do conteúdo se tornem indispensáveis em seu cotidiano. Porém na maioria dos casos os objetivos citados não são contemplados. Sendo assim, desejamos encontrar uma proposta pedagógica que nos permita promover um maior índice de aquisição de conhecimento.

Podemos destacar que o principal enfoque é obter uma aprendizagem significativa, em que colocamos o aluno como principal atuante. Fica a cargo do professor promover a atividade e instigar a curiosidade para que assim os alunos possam realizar reflexões e buscar em seu cotidiano situações que envolvam as teorias abordadas. É importante que o professor assuma o papel de facilitador do processo de aprendizagem e que esteja disposto às novas experiências. Sendo assim, deixamos de lado a aprendizagem mecânica onde o aluno armazena o conteúdo de forma isolada, podendo esquecer o que lhe foi ensinado em pouco tempo.

Dentre todas as abordagens pedagógicas do ensino de ciências físicas é possível afirmar

que quando se pode manipular, analisar e medir a partir de elementos obtidos por meio de fenômenos, o objetivo do ensino se torna evidente, pois a assimilação do feito com o que é vivenciado em seu meio faz com que o aluno compreenda com clareza o que lhe é ensinado. Deste modo, enfatizamos que o uso de materiais experimentais na prática pedagógica torna o aprendizado mais produtivo e com qualidade. Quando bem explorado pelo docente, o uso do laboratório didático pode minimizar grande parte das dificuldades em aprender Física. Entretanto esta prática pedagógica em sua maioria permanece em baixa dentro das escolas, principalmente na rede pública, devido a diversos fatores, sejam eles financeiros, estruturais e até pela falta de iniciativa de muitos professores.

Foi com este objetivo que apresentamos o projeto, incentivar o professor a assumir o papel de facilitador da aprendizagem por meio de um equipamento que proporciona uma fácil construção, que o custo dos materiais que o constituem são baixos, que é facilmente manipulado e pode ser aplicado em qualquer ambiente de sala de aula, ou seja, não é necessário um laboratório didático para o seu funcionamento.

A escolha do tubo de Venturi foi devido ao seu grande desempenho em situações cotidianas. Diariamente nos deparamos com situações onde necessitamos do fenômeno explicado pela equação de Bernoulli. Evidenciando sua importância, viemos ressaltar que o conteúdo de hidrodinâmica não consta na grade curricular do ensino médio, portanto o seu ensino não possui obrigatoriedade. Todavia ressaltamos o seu valor, pois a hidrodinâmica corre por nossas veias e nada mais importante do que estudar o que nos proporciona vida.

Diferente de grande parte dos trabalhos que envolvem o tubo de Venturi que apresentam a aplicação de modo qualitativo. O material confeccionado neste trabalho permite a coleta de dados e a validação das leis físicas através de resultados relativamente precisos, tratando a matemática com um formalismo acessível a alunos de ensino médio. Este trabalho possui caráter quantitativo, ou seja, além de visualizar o fenômeno ocorrendo através do tubo de Venturi, o aluno poderá aplicar matematicamente as informações obtidas e compreender os conceitos físicos, consolidando o ensino da hidrodinâmica no ensino médio.

O trabalho propõe a confecção do conjunto experimental que é composto por um tubo de Venturi acoplado a um manômetro de tubo em U, onde redigimos o passo a passo de sua construção de modo facilitado, tornando possível então desenvolver à partir do material confeccionado a análise de forma qualitativa e quantitativa da relação entre a velocidade do fluido e a variação de pressão.

Os resultados observados preliminarmente mostram que por não estarmos utilizando um fluido ideal, que propõe a teoria física que rege o experimento, foi necessário calibrar o sistema. Este fato possibilita explorar as limitações do princípio físico da equação de Bernoulli. Caberá ao professor identificar o quão afundo deve se adentrar nas atividades e discussões proporcionadas pelo produto educacional.

Propomos duas possibilidades de aplicação que julgamos importantes, porém no ponto de vista do ensino aprendizagem, as mesmas possuem vantagens e desvantagens. Todavia o objetivo deste trabalho não é engessar a prática pedagógica do professor em uma única abordagem, mas sim descrever algumas maneiras de conduzir as formas de apresentação que proporcione a análise dos resultados e abordagem teórica baseados em metodologias ativas.

Conseguimos identificar a eficácia do produto educacional em alguns momentos. A realização da aplicação do experimento deu-se em turmas do ensino médio, cursos técnicos e de graduação. Podemos afirmar que logramos êxito quanto a receptividade do produto educacional, pois além do cunho das teorias físicas pode se explorar as diversas situações cotidianas vivenciadas devido a aplicação do efeito Venturi.

Em todas as turmas aplicadas ficou notória a motivação em conhecer e manipular o material, principalmente no ambiente escolar da rede pública de ensino, onde houve relatos de alguns alunos que nunca haviam adentrado a um laboratório didático. Por isso é importante ressaltar que a primeira decisão para uma abordagem pedagógica ativa cabe ao professor.

Os grupos puderam reconhecer a teoria aplicada ao tubo de Venturi e determinar por meio da coleta de dados valores que foram determinantes para a compreensão da relação entre a variação da altura do fluido no tubo em  $U$  com a velocidade aplicada a tubulação.

Podemos observar que no ambiente do laboratório didático os alunos em sua maioria apresentaram argumentações por meio de situações vivenciadas no cotidiano. Foi de fundamental importância a finalização da explicação teórica com exemplos palpáveis que puderam ser reconhecidos por eles.

Espera-se que o produto educacional confeccionado contribua de forma significativa para a experimentação no ensino da hidrodinâmica, e que se torne evidente a eficiência da compreensão dos seus conceitos teóricos

Estamos rodeados de informações e novas tecnologias, infelizmente a grande baixa na utilização de ferramentas que proporcionem aprendizagem significativa vem empobrecendo a nossa aprendizagem científica, este trabalho vem com o intuito de mostrar aos professores de que não

precisam de grandes investimentos para tornar as aulas dinâmicas, que os primeiros a estarem motivados devem ser os educadores para que possa passar o melhor do seu conhecimento aos alunos, que anseiam por aprender. Cabe aos professores identificar e encontrar o caminho a ser percorrido para o progresso do ensino.

# Capítulo 9

## Referências Bibliográficas

- [1] BONADIMAN, H.; NONENMACHER S. E. B.: *O gostar de aprender no ensino de física: uma proposta metodológica*. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, 24:194–223, 2007.
- [2] PIETROCOLA, M.: *A Matemática com Estruturante do Conhecimento Físico*. Caderno Catarinense Ensino de Física, 19:89–109, 2002.
- [3] PEREIRA, M . V.; MOREIRA M. C. A.: *Atividades prático-experimentais no ensino de Física*. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, 34:265–277, 2017.
- [4] BORGES, A. T.: *Novos Rumos para o Laboratório Escolar de Ciências*. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, 19(3):291–313, 2002.
- [5] BRASIL.: *Parâmetros curriculares nacionais do ensino médio*. MEC/SEF, páginas 1–109, 2000.
- [6] 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.
- [7] HELENA, R.; SEIXAS M.; SOUSA D. O.: *A Formação de professores e os desafios de ensinar Ciências*. Revista Thema, 14:289–303, 2017.
- [8] MOREIRA, M. A.: *Teorias de aprendizagem*. páginas 1–242. São Paulo, 2ª edição, 2017.
- [9] PENTEADO, N. G.; TORRES, C. A.; PENTEADO P. C. M.: *Física*. São Paulo, 1ª edição, 2012.
- [10] LUZ, A. M. R.; ALVARENGA, B. A.: *Física: volume 1*. São Paulo, 1ª edição, 2005.

- [11] BONJORNO, J. R.; BONJORNO, V.; RAMOS C. M.: *Física Fundamental - Novo: volume único, 2 grau*. São Paulo, 1ª edição, 1999.
- [12] CARRON, W: *As faces da Física - volume único*. São Paulo, 1ª edição, 1997.
- [13] GASPAR, A.: *Compreendendo a Física: Ensino Médio*. São Paulo, 1ª edição, 2010.
- [14] MÁXIMO, A.; ALVARENGA, B. A.: *Física de olho no mundo do trabalho*. São Paulo, 1ª edição, 2003.
- [15] FULGÊNCIO, G. O.: *Física: uma proposta de ensino: volume único*. São Paulo, 1ª edição, 1997.
- [16] GASPAR, A.: *Física 1*. São Paulo, 2ª edição, 2011.
- [17] COELHO, S. M.; WIEHE, A. D.; NALEPINSKI L. C.: *Formação continuada de professores numa visão construtivista: contextos didáticos, estratégias e formas de aprendizagem no ensino experimental de Física*. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, 25(1):7–34, 2013, ISSN 1677-2334.
- [18] PEREIRA, J. U.; SILVA JUNIOR, R. S.: *Experimentos didáticos no Ensino de Física com foco na Aprendizagem Significativa*. Aprendizagem Significativa em Revista, 4(3):61–67, 2014.
- [19] CORCI, M. B.; FUSINATO, P. A. BLINI R. B.: *Reflexões sobre a importância da experimentação no ensino de física*. Acta Scientiarum. Human and Social Sciences, 31(1):43–49, 2009, ISSN 1679-7361.
- [20] GASPAR, A.: *Cinquenta anos de ensino de física: muitos equívocos, alguns acertos e a necessidade do resgate do papel do professor*. (XV):1–13.
- [21] ZABALA, A.: *A Prática Educativa: Como Ensinar*. Porto Alegre, 1998.
- [22] AUGUSTO, J; NETO P.: *Teoria da aprendizagem significativa de David Ausubel : perguntas e respostas*. Séries e Estudos - Periódico do Mestrado em Educação da UCDB, 21:117–130, 2006.
- [23] UIBSON, J.; MORAES P. JUNIOR R. S. S.: *Experimentos didáticos no Ensino de Física com foco na Aprendizagem Significativa*. Latin-American Journal of Physics Education, 9, 2015.

- [24] RAQUEL, J.; OLIVEIRA S.: *Contribuições e abordagens das atividades experimentais no ensino de ciências : reunindo elementos para a prática docente*. Acta Scientiae, 12:139–153, 2010.
- [25] SARAIVA-NENVES, M.; CABALLERO C.; MOREIRA M. A.: *Repensando o papel do trabalho experimental, na aprendizagem da física, em sala de aula - um estudo exploratório*. Investigação e Ensino de Ciências, 11(3):383–401, 2006.
- [26] NUSSENVEIG, H. M.: *Curso de Física Básica 2: Fluidos, Oscilações e Ondas Calor*. São Paulo, 5ª edição, 2014.
- [27] HALLIDAY, D.; RESNICK R.: *Fundamentos da física: gravitação, ondas e termodinâmica*, volume 2. Rio Janeiro, 9ª edição, 2012.
- [28] BRUNETTI, F.: *Mecânica dos fluidos*. São Paulo, 2005.
- [29] CARDOSO, C. O. et. al.: *Construção e calibração de anemômetros de baixo custo*. Revista de ciências agroveterinárias, 8(2):122–128, 2009.
- [30] 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.
- [31] 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.
- [32] 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.
- [33] BOAS, N. V. et. al.: *Tópicos de física - Vol 1 - Mecânica e Hidrodinâmica*, volume 1. São Paulo, 21ª edição, 2012.