



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ

CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS

DEPARTAMENTO DE FÍSICA

LICENCIATURA EM FÍSICA

MARIANA SVERSUT GIBIN

**EXPERIMENTO DE SIFONAÇÃO: UMA PROPOSTA PARA A INTRODUÇÃO
DA HIDRODINÂMICA NO LABORATÓRIO DE FÍSICA**

MARINGÁ,

JANEIRO, 2023



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ

CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS

DEPARTAMENTO DE FÍSICA

LICENCIATURA EM FÍSICA

MARIANA SVERSUT GIBIN

**EXPERIMENTO DE SIFONAÇÃO: UMA PROPOSTA PARA A INTRODUÇÃO
DA HIDRODINÂMICA NO LABORATÓRIO DE FÍSICA**

Monografia apresentada ao Departamento de Física da Universidade Estadual de Maringá, como requisito parcial para a obtenção do título de licenciada em Física.

Orientador: Prof. Dr. Antonio Medina Neto

MARINGÁ,
JANEIRO, 2023

MARIANA SVERSUT GIBIN

**EXPERIMENTO DE SIFONAÇÃO: UMA PROPOSTA PARA A INTRODUÇÃO
DA HIDRODINÂMICA NO LABORATÓRIO DE FÍSICA**

Monografia apresentada ao Departamento de Física da Universidade Estadual de Maringá, como requisito parcial para a obtenção do título de licenciada em Física.

Aprovada em: 26 de Janeiro de 2023

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Antonio Medina Neto – Orientador
Universidade Estadual de Maringá

Prof. Dr. Vitor Santaella Zanuto
Universidade Estadual de Maringá

Profa. Dra. Lidiane Vizioli de Castro Hoshino
Universidade Estadual de Maringá

Dedico este trabalho a minha mãe, Mara.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, sou grata a Deus pela vida e por permitir que pessoas admiráveis cruzassem minha vida.

Também, sou grata ao meu orientador Prof. Dr. Antonio Medina Neto, que me apoiou e auxiliou não só na execução deste trabalho, mas também em toda a minha jornada estudantil. Assim como, a Profa. Dra. Francielle Sato que nunca mediu esforços para compartilhar parte de seu conhecimento comigo.

Agradeço a todos os professores do Departamento de Física, os quais tenho enorme respeito e admiração. Especialmente, ao Prof. Dr. Vitor Santaella Zanuto, ao Prof. Dr. Robson Ferrari Muniz e a Prof. Dra. Lidiane Vizioli de Castro-Hoshino que dispuseram a doar tempo, conhecimento e energia para me auxiliar e ensinar, sempre com muita dedicação e atenção.

Sou grata também a minha família, minha mãe Mara e meu irmão Vitor, quem convive comigo e me apoia diariamente. Ao meu pai Osmar (*in memoriam*) por todos os ensinamentos deixados. Ao Thiago, meu namorado, que fornece suporte todos os dias e abraça minhas loucuras!

Agradeço aos meus amigos por tudo, conversas, risadas e ensinamentos que levarei para a vida. Em especial, agradeço a Andréia, a Raquel, ao Eduardo, a Bianca e aos integrantes dos grupos GEOPT, GEFF e LRMV.

RESUMO

O presente trabalho apresenta uma contextualização do processo de ensino-aprendizagem, bem como, a sua relação com a experimentação em Física. Também, aborda a experimentação com um forte e positivo vínculo neste processo e propõe o desenvolvimento de um experimento presente no cotidiano dos alunos. O experimento proposto aborda o processo de sifonação que consiste na transferência de líquido de um recipiente para o outro, relacionando a teoria com a prática e permitindo que o aluno seja o principal membro do processo de ensino-aprendizagem, tendo o professor apenas como mediador. Ademais, o experimento tem como objetivo a confecção gráfica em escalas lineares e logarítmicas, propiciando um olhar crítico e reflexivo por parte dos alunos do primeiro ano da graduação (Laboratório Experimental de Física II). Além de ser fundamental às disciplinas dos anos posteriores.

PALAVRAS-CHAVE: Ensino de Física; Hidrodinâmica; Experimentação; Gráficos.

ABSTRACT

The present work shows a contextualization of the teaching-learning process, as well as its relationship with experimentation in Physics. It also approaches experimentation with a strong and positive bond in this process and proposes the development of an experiment present in the students' daily lives. The proposed experiment addresses the siphoning process that consists of transferring liquid from one container to another, relating theory to practice and allowing the student to be the main member of the teaching-learning process, with the teacher being only as a mediator. In addition, the experiment aims to make graphics in linear and logarithmic scales, providing a critical and reflective look on the part of the students of first-year undergraduate students (Physics Experimental Lab II).

KEYWORDS: Teaching Physics; Hydrodynamics; Experimentation; Graphics.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	6
2. REFERENCIAL TEÓRICO	7
2.1. O processo de ensino-aprendizagem	7
2.2. A utilização de experimentos no ensino de Física	10
2.3. Hidrodinâmica e o Processo de Sifonação	12
2.4. Confecção de Gráficos em Escala Linear.....	17
2.5. Confecção de Gráficos em Escala Logarítmica	18
3. METODOLOGIA	20
3.1. Materiais Utilizados.....	20
3.2. Montagem Experimental	20
3.3. Procedimento Experimental.....	20
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	22
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	28
6. REFERÊNCIAS	29
7. ANEXO	31

1. INTRODUÇÃO

O modelo tradicional de ensino trabalha de forma distante da realidade vivenciada pelos alunos. Uma maneira de fugir deste modelo é trabalhar a investigação, exploração, pensamento crítico, entre outras vertentes com os aprendizes. Caso essas vertentes sejam estimuladas em aula, por meio de metodologias ativas, uma aprendizagem significativa pode ocorrer. De forma que, uma das maneiras de alcançar a aprendizagem significativa é utilizando a experimentação.

A experimentação na Física é capaz de estabelecer fortes e favoráveis relações com o processo de ensino-aprendizagem, uma vez que, os alunos são capazes de desenvolver independência e autonomia, permitindo que o aluno seja participativo, reflexivo e crítico, observando e julgando cada um dos fenômenos demonstrados.

Desta maneira, no presente trabalho será apresentado, primeiramente, uma revisão bibliográfica com relação ao processo de ensino-aprendizagem, bem como, a importância da física experimental na formação intelectual, profissional, e ainda mais, na formação do raciocínio do aluno. Posteriormente, o trabalho irá propor um experimento aplicando a lei de Stevin e a Lei da Continuidade, sobre o processo de sifonação.

O processo de sifonação é um método bastante utilizado para o transporte de líquidos, como: esvaziar tanques e piscinas, remover líquido de um reservatório, separar misturas com diferentes densidades, dentre outros. Assim, o experimento consiste em uma atividade experimental quantitativa, pois requer a interação do aluno com o experimento, bem como, a coleta de dados.

Por fim, o experimento será útil para explicar a confecção de gráficos, tanto em escala linear como em escala logarítmica. Trazendo como base estes tópicos logo no primeiro ano, preparando a estrutura cognitiva para o novo conhecimento a ser adquirido nos anos posteriores de curso, bem como, preparando os alunos profissionalmente.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Nessa seção, apresentam-se as justificativas que sustentam a utilização da experimentação de Física, especificamente a inclusão da Hidrodinâmica no laboratório de Física e a importância da confecção de gráficos, como ferramenta positiva no processo de ensino-aprendizagem.

2.1. O processo de ensino-aprendizagem

O processo de ensino-aprendizagem consiste em um sistema de interações entre aluno e professor, no qual o professor avalia as necessidades do aluno e, conseqüentemente, da turma e estabelece objetivos de aprendizagem específicos e impõe um plano de trabalho (KUBO e BOTUMÉ, 2001).

Segundo Paiva et al., a ligação existente entre aprender e ensinar não é direta, ou seja, ensinar não leva à aprendizagem, nem desenvolve novas competências que levam à aprendizagem, de modo que o significado de ensinar depende do significado dado à aprendizagem por meio de atividades geradas pelo ensino (PAIVA *et al.*, 2016, p.147). Portanto, é preciso que o conhecimento proposto faça sentido de forma que a informação apresente um significado ao aluno dentro de um contexto já conhecido por ele, de maneira que ele faça conexões e torne aquele assunto relevante (PAIVA *et al.*, 2016).

Nessa vertente, muitos são os pesquisadores que visam entender e explicar a maneira pela qual as pessoas aprendem novos assuntos e se há relações, ou não, com o conhecimento já existente. Dentre as teorias cognitivas, pode-se destacar o estudioso Ausubel e a sua teoria da aprendizagem significativa, quem diz que o processo de aprendizagem acontece quando uma nova informação está diretamente associada a um conhecimento específico e pré-existente do aluno, ou seja, o novo conhecimento deve compor a estrutura cognitiva do indivíduo, que é o que o indivíduo já sabe (MOREIRA, 1999 *apud* ADMIRAL, 2022).

O conhecimento pré-existente e específico, que já é parte do indivíduo, é denominado por Ausubel de subsunçor. De maneira sucinta, o subsunçor seria um facilitador factual na estrutura cognitiva para o novo conhecimento a ser adquirido. Assim, durante o processo de aprendizagem o novo conhecimento interage com o subsunçor, ou seja, o conhecimento prévio do aluno e a nova informação é

armazenada de maneira organizada, como uma hierarquia conceitual. Logo, os conceitos mais amplos e inclusivos servem de base para conectar com os conceitos mais específicos e novos. Assim, a estrutura cognitiva está em constante reestruturação durante o processo de aprendizagem (MOREIRA, 1999 *apud* ROCHA, 2022).

Todavia, para Ausubel, a interação do novo conhecimento com o subsunçor pode acontecer em duas diferentes etapas: diferenciação progressiva e a reconciliação integradora. A primeira consiste quando um novo conceito ou conhecimento é comparado ao conhecimento já existente (subsunçor), de maneira que o indivíduo consegue diferenciar entre ambos, associando e reconhecendo suas similaridades e diferenças. Já a reconciliação integradora acontece simultaneamente à diferenciação progressiva, completando o processo de redefinição do novo conhecimento. Portanto, o novo conhecimento precisa se relacionar com o subsunçor e ter uma relação lógica, de diferenciação ou generalização (MOREIRA, 2010, p.6 *apud* ADMIRAL, 2022).

Ademais, essas etapas apenas vão ocorrer mediante duas condições. A primeira condição é que o assunto/material/conhecimento a ser aprendido seja relacionável à estrutura cognitiva de maneira não-litera e não-arbitrária, ou seja, precisa haver uma conexão entre o novo e o subsunçor. Se cumprir essa primeira condição, o material é chamado de potencialmente significativo. Sucintamente, pode-se dizer que um material potencialmente significativo é aquele capaz de conectar, de forma relevante e apropriada, com o conhecimento prévio. A segunda condição faz menção ao aprendiz. É de suma importância que o indivíduo tenha disposição de relacionar o material potencialmente significativo à sua estrutura cognitiva. (MOREIRA, 1999 *apud* ROCHA, 2022). Assim, o indivíduo precisa querer aprender também.

Portanto, a combinação entre estes mecanismos, sempre apoiada ao subsunçor, é resposta para a construção do conhecimento significativo. E, Ausubel trata esse conhecimento como sendo significativo, pois não se trata de um conhecimento isolado, e sim, há uma clara relação entre o novo conhecimento adquirido e os demais conhecimentos pré-existentes na estrutura cognitiva do indivíduo (ADMIRAL, 2022). Assim, é “através de sucessivas interações que um dado subsunçor vai, progressivamente, adquirindo novos significados, vai ficando mais rico,

mais refinado, mais diferenciado, e mais capaz de servir de ancoradouro para novas aprendizagens significativas" (MOREIRA, 2010, p.5 *apud* ADMIRAL, 2022).

Uma vez que o aprendiz tenha compreendido os significados e o sentido, a aprendizagem significativa é evidenciada. Todavia, uma sugestão para verificar e diagnosticar se realmente ocorreu a compreensão, e conseqüentemente a aprendizagem significativa, é por meio de questões e problemas de maneira não familiar para o aprendiz, de maneira que, exige a exposição máxima do conhecimento adquirido (ROCHA, 2020), ou seja, desafiando-o de maneira a refletir, pensar e associar aquilo que está sendo solicitado com o que foi aprendido. Para Moreira (2011, *apud* ADMIRAL, 2022), para que haja a consolidação efetiva do conhecimento é válida a aplicação de exercícios, resoluções de situações-problema, clarificações, discriminações, diferenciações e integrações. Em muitas das vezes, até mesmo antes de ser introduzido o novo.

A cerca desse tema, cabe ainda uma ressalva de que, embora a forma como os processos de diferenciação progressiva e reconciliação integradora afetam a forma como o indivíduo integra o novo conhecimento à estrutura cognitiva, as condições de aprendizagem para Ausubel baseiam-se não só no indivíduo querer agregar conhecimento, mas principalmente, do material potencialmente significativo que é utilizado. Portanto, o professor neste caso precisa utilizar de metodologias de ensino investigativas, que propiciam autonomia ao aluno, de tal modo que o professor exerça o papel de mediador no processo de aprendizagem (ADMIRAL, 2022).

Ainda nesse ponto de vista, para o pesquisador Ausubel, o professor pode abordar conhecimentos úteis no cotidiano do indivíduo, vivências no dia-a-dia, fazendo com que essa experiência cotidiana sirva de conceito subsunçor. Assim, a experimentação pode ser um forte parceiro na busca pela aprendizagem significativa, uma vez que, é no laboratório experimental que há a conexão que falta entre o mundo abstrato de teorias, pensamentos e ideias com o mundo concreto das realidades físicas (BRODIN, p.10, 1978). Desta maneira, é dentro do laboratório que um aluno consegue vincular o que está sendo estudado na teoria, com o seu mundo cotidiano e onde pode ser aplicado.

2.2. A utilização de experimentos no ensino de Física

A experimentação na Física pode estabelecer relações positivas no processo de ensino-aprendizagem, superando, principalmente o modelo tradicional de ensino, o qual consiste basicamente em exposição de temas, conceitos, teorias e fórmulas, de forma desarticulada e distante da realidade vivenciada pelos aprendizes. Por meio de atividades experimentais, os alunos podem investigar, explorar e tentar compreender o fenômeno, desenvolvendo independência e autonomia, contribuindo positivamente no processo de aprendizagem significativa, uma vez que, as práticas permitem que o estudante seja participativo, reflexivo e crítico (LUCENA, 2022).

A experimentação sempre esteve presente como coadjuvante no processo evolutivo da Física, uma vez que, essa disciplina surgiu e desenvolveu-se respaldada pela tentativa de esclarecer e explicar a natureza e seus fenômenos por meio de indagações e experimentos que poderiam comprovar determinados comportamentos ocorridos e observados (LUCENA, 2022).

A Física está fundamentada na compreensão dos fenômenos físicos. Todavia, aliada à matemática, pode-se demonstrar e comprovar tais fenômenos, de maneira que, de posse das equações os fenômenos possam ser descritos matematicamente. No entanto, muitos professores apresentam dificuldade em apresentar os conteúdos, desestimulando os alunos, os quais já apresentam apreensão quando escutam falar em equações, fórmulas e contas. Apesar de não ser fácil quebrar essa barreira, estes problemas podem ser amenizados utilizando recursos didáticos diferenciados, atraindo os alunos e fazendo-os participarem das aulas, como é o caso dos laboratórios de Física, os quais além de instigarem os alunos, relacionam os fenômenos com a sua realidade (ROCHA, 2020).

Infelizmente, a experimentação não é tão utilizada como recurso pedagógico para o ensino de Física, principalmente devido à falta de material de qualidade, falta de tempo para preparo e montagem da aula, e até mesmo espaço adequado. A verdade é que a ideia de um laboratório está relacionada com bancadas nas quais os alunos podem sentar e realizar diversos experimentos, mas experimentos de baixo custo podem ser desenvolvidos até mesmo em salas de aula convencionais, basta que o professor tenha domínio do conteúdo, clareza do experimento e dos objetivos a

serem alcançados, transformando todo o contexto para que ocorra uma aprendizagem significativa.

A experimentação requer cuidado por parte do professor, pois necessita ter relação direta com o conteúdo estudado em sala para uma melhor associação por parte do aluno (ROCHA, 2020), o qual pode fazer conexão com conhecimentos pré-existentes em suas estruturas cognitivas, corroborando para a construção do conhecimento significativo. Nesse sentido, Shulman e Tamir (*apud* DOS SANTOS *et al.*, 2004), levantam como objetivos da atividade experimental de ensino, a formação de:

1. habilidades - de manipular, questionar, investigar, organizar, comunicar;
2. conceitos - por exemplo: hipótese, modelo teórico, categoria taxionômica;
3. habilidades cognitivas - pensamento crítico, solução de problemas, aplicação, síntese;
4. compreensão da natureza da ciência - empreendimento científico, cientistas e como eles trabalham, a existência de uma multiplicidade de métodos científicos, inter-relações entre ciência e tecnologia e entre várias disciplinas científicas;
5. atitudes - por exemplo: curiosidade, interesse, correr risco, objetividade, precisão, perseverança, satisfação, responsabilidade, consenso, colaboração, gostar de ciência.

Além desses objetivos, Oliveira (2010, *apud* DA CRUZ *et al.*, 2021) cita ainda que a experimentação é capaz de desenvolver a capacidade de trabalhar em grupo, tomadas de decisão e iniciativa pessoal, detectar e corrigir erros conceituais, compreender as relações entre as esferas da ciência, tecnologia, sociedade (CTS) e até mesmo meio ambiente (CTSA). Por isso, pode-se notar a dimensão e a importância da presença de atividades experimentais na formação de todos os estudantes. Não fazendo menção apenas na formação científica, mas contribuindo também para a formação de cidadãos críticos, reflexivos e conscientes (DOS SANTOS *et al.*, 2004).

Dessa forma, é essencial que a experimentação esteja presente em cursos de graduação, seja na habilitação de bacharelado, na qual o aluno se tornará um profissional ou pesquisador, como principalmente na licenciatura, na qual o estudante

se tornará um professor que precisa ter competência para colocar situações em sala que permitam questionamentos, reflexões e investigações. Portanto, é de suma importância que o futuro profissional/professor vivencie esses contextos nos momentos de sua formação.

Portanto, a prática docente é mobilizada por diversos conhecimentos obtidos desde a formação inicial e/ou continuada, como conhecimentos disciplinares, conceituais, curriculares, pedagógicos e experimentais obtidos ao longo da vida do professor (DA CRUZ *et al.*, 2021). Nesse âmbito e visando a importância da experimentação na formação, propõe-se uma atividade experimental para a inclusão da hidrodinâmica no laboratório de Física.

2.3. Hidrodinâmica e o Processo de Sifonação

Um fluido refere-se a uma substância com a capacidade de escoar facilmente e que muda de forma sob a ação de pequenas forças. Portanto, este termo pode ser usado tanto para líquidos como gases. Os fluidos apresentam uma propriedade chamada de viscosidade, que é uma espécie de atrito interno que permite ou não o seu escoamento. Quanto menor a viscosidade, mais o fluido escoa com facilidade, como é o caso da água (SANTANA DOS SANTOS, 2014). O estudo das propriedades do movimento dos fluidos é conhecido como hidrodinâmica ou também, dinâmica dos fluidos (NUSSENZVEIG, 2018; RESNICK e HALLIDAY *et al.*, 1988).

O processo de sifonação é um método utilizado para transporte de líquidos, geralmente para retirar o mesmo de um recipiente e passar para outro, por exemplo: remover combustível de tanques para galões e esvaziar piscinas/aquários. Esse método também é utilizado em laboratórios, para separação de misturas com densidades diferentes, como a água e o óleo e é denominado processo de sifonação. Apesar de simples, o processo de sifonação não é muito intuitivo ao aluno, uma vez que o líquido precisa subir uma mangueira, sem a ação externa (experimentador) para que seja transferido ao outro recipiente.

Para compreender os princípios físicos desse experimento, é preciso primeiramente lembrar a Lei de Stevin, a qual é abordada na hidrostática, estudo das propriedades de um líquido em repouso. A Lei de Stevin é responsável por tratar da pressão exercida por um fluido em uma determinada posição no espaço, ou seja,

todos os pontos a uma mesma altura apresentam a mesma pressão (NUSSENZVEIG, 2018; RESNICK e HALLIDAY *et al.*, 1988). Essa posição no espaço poderia ser, por exemplo, um ponto C na parte inferior da primeira proveta da Figura 1.

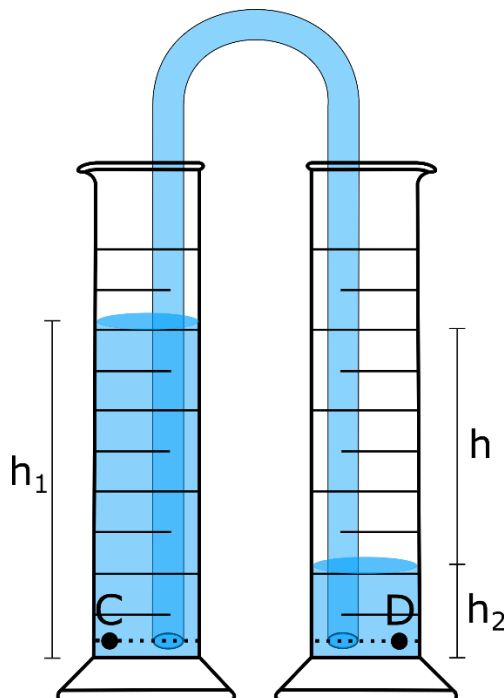


Figura 1: Esquema do aparato experimental.

A pressão no ponto C na parte inferior da primeira proveta é a razão entre força e área. Sendo que a força agindo em todos os pontos a mesma altura do ponto C é a força peso, dada por: $F = Mg$, sendo M a massa e g a gravidade. Logo,

$$P = \frac{F}{A} = \frac{Mg}{A} \quad (1)$$

Considerando que a densidade é dada por $\rho = M/V$ e V é o volume. Pode-se substituir a massa na expressão (1) sabendo que $V = A \cdot h$ com h a altura, obtendo:

$$P = \rho gh \quad (2)$$

conhecida como Lei de Stevin (NUSSENZVEIG, 2018; RESNICK e HALLIDAY *et al.*, 1988).

Partindo desta equação, há o potencial de analisar o problema proposto. Já que, à medida que o processo de sifonação ocorre, tem-se variação da altura da

coluna de líquido na proveta e conseqüentemente, uma variação de pressão nos pontos C e D.

$$\Delta P = \rho g h_1 - \rho g h_2 = \rho g (h_1 - h_2) = \rho g h \quad (3)$$

sendo $h = h_1 - h_2$.

Utilizando a força dada na expressão (1), obtêm-se:

$$F = \Delta P \cdot A$$

Deve-se considerar a área do tubo (mangueira), já que, é o canal que conecta as provetas, a qual denomina-se de s . Além disso, o ΔP já foi encontrado na equação (3) e pode ser substituído na expressão acima:

$$F = \rho g h s \quad (4)$$

Levando em consideração que o volume do tubo é: $v = s \cdot l$ sendo l o comprimento do tubo. A densidade pode ser reescrita como: $\rho = m/s \cdot l$ e substituída na expressão para força na equação (4). Assim,

$$F = \frac{m g h s}{s l} \quad (5)$$

Essa equação pode ser igualada com a Lei de Newton, já que $F = ma$ e $a = dv/dt$ sendo v a velocidade. Desta forma,

$$\frac{dv}{dt} = \frac{g h}{l} \quad (6)$$

Porém, é preciso relacionar a velocidade do fluido no tubo com a altura. Para isto, faz-se necessário o uso da equação da continuidade. A equação da continuidade estabelece relação entre a velocidade do fluido e a área da secção por onde o fluido passa. Assim, a vazão (volume de fluido que passa por uma secção na unidade tempo) deve ser constante (NUSSENZVEIG, 2018; RESNICK e HALLIDAY *et al.*, 1988). Essa equação pode ser visualizada ao observar a água que sai de uma mangueira no jardim. É possível aumentar a velocidade da água que sai apenas

fechando parcialmente o bico da mangueira com o dedo (DE PAULA, 2018). Assim, para a vazão continuar constante ao reduzir a área, é preciso que a velocidade do fluido aumente. Logo, tem-se que:

$$A \vartheta = s v$$

sendo A a área da proveta, e ϑ a velocidade de escoamento do líquido na proveta. Enquanto que, s é a área do tubo e v a velocidade com que o líquido passa no tubo. Ainda, ao isolar v e derivar a expressão com relação ao tempo, obtêm-se:

$$\frac{dv}{dt} = \frac{A}{s} \frac{d\vartheta}{dt} \quad (7)$$

A expressão (7) pode ser substituída na expressão (6), desta maneira:

$$\frac{d\vartheta}{dt} = \frac{s g h}{A l} \quad (8)$$

Como a velocidade é a derivada do espaço em função do tempo. Tem-se que a velocidade ϑ é a derivada de h_1 com relação ao tempo, de modo que:

$$\frac{d^2 h_1}{dt^2} = \frac{s g h}{A l} \quad (9)$$

O problema da expressão (9) é justamente relacionar h_1 com h . Para isto, algumas equações de vínculo podem ser utilizadas:

$$h = h_1 - h_2$$

$$H = h_1 + h_2$$

sendo H a altura da coluna de água antes de iniciar o processo de sifonação, a qual é constante. Utilizando ambas equações, é possível escrever h_1 em função de h e H , obtendo $h_1 = (h + H)/2$. Calculando a segunda derivada:

$$\frac{d^2 h_1}{dt^2} = \frac{1}{2} \frac{d^2 h}{dt^2} \quad (10)$$

Substituindo a expressão (10) na (9):

$$\frac{d^2 h}{dt^2} = \frac{2 s g}{A l} h \quad (11)$$

que é uma equação diferencial cuja solução pode ser escrita como uma função exponencial:

$$h = h_o \exp\left(\pm \sqrt{\frac{2 g s}{A l}} t\right) \quad (12)$$

Utilizando as equações de vínculo obtêm-se a seguinte expressão para descrever h_1 :

$$h_1 = h_o \exp(\pm t/\tau) + \frac{H}{2} \quad (13)$$

sendo $\tau = \sqrt{A l / 2 g s}$.

Quando o tempo é 0 ($t \rightarrow 0$), ou seja, antes de começar a transferência de líquido entre as provetas. A altura da proveta 1 (h_1) deve ser a altura total, ou seja, H. Logo,

$$h_o = \frac{H}{2} \quad (14)$$

Quando o tempo tende ao infinito ($t \rightarrow \infty$) a exponencial não pode divergir. Logo, o sinal que satisfaz nossa condição de contorno é o negativo. Assim, a equação (13) pode ser reescrita, como:

$$h_1 = \frac{H}{2} \exp(-t/\tau) + \frac{H}{2} \quad (15)$$

Utilizando ainda as equações de vínculo, pode-se encontrar a expressão para a proveta 2, ou seja, a proveta que está enchendo:

$$h_2 = -\frac{H}{2} \exp(-t/\tau) + \frac{H}{2} \quad (16)$$

Desta forma, as expressões (15) e (16) podem ser utilizadas para modelar o processo de sifonação. Vale ressaltar que essas relações são adequadas para descrever esse processo quando utilizado duas provetas apoiadas em uma mesa de mesma altura e com uma mangueira para transferência de líquido de mesma secção.

2.4. Confecção de Gráficos em Escala Linear

O experimento proposto consiste em uma atividade experimental quantitativa, ou seja, requer a interação do aluno com o experimento e a coleta de dados. Diferentemente dos experimentos qualitativos em que o aluno apenas observa o experimento. De posse desses dados coletados, os alunos podem confeccionar gráficos, os quais tem por objetivo mostrar o tipo de correspondência existente entre os valores de duas grandezas (NAGASHIMA, 2011). Os gráficos são gerados por meio de pontos que ao se conectarem, formam uma curva. Esta curva pode ser descrita por meio de funções. Quando a função é linear, é possível de forma simples e rápida descobrir as relações entre as variáveis do sistema.

As variáveis podem ser dependentes ou independentes. Sendo que, a variável independente é a medida que não depende de nenhuma outra. Enquanto que, a variável dependente é uma medida que dependerá do valor de outra medida variável (MUKAI e FERNANDES, 2018). Na construção do gráfico, o eixo das abcissas (horizontal) conta sempre com a variável independente. Logo, é no eixo das ordenadas (vertical) que a variável dependente é expressa. É de suma importância a identificação das variáveis nos eixos, contendo entre parêntesis, a sua respectiva unidade para que o leitor entenda a que se refere os valores descritos graficamente.

Além disso, esteticamente é necessário que o gráfico ocupe toda a área disponível no papel milimetrado. Para isso, é importante escolher múltiplos que facilitem a divisão para se obter um módulo de escala inteiro. O módulo de escala pode ser definido como a razão entre o intervalo disponível no papel milimetrado e o maior valor obtido experimentalmente. Assim, os valores da grandeza obtidos experimentalmente devem ser multiplicados pelo módulo de escala e anotados no valor correspondente à escala do papel milimetrado. Como cada eixo possui valores diferentes experimentais, bem como, espaços disponíveis diferentes. Cada eixo terá seu respectivo módulo de escala.

Qualquer tipo de curva (qualquer função matemática) pode ser representado em papel milimetrado. Todavia, quando se trabalha com gráficos lineares, utiliza-se o método de regressão linear para ajustar os dados e encontrar uma função linear que descreva os dados experimentais. Assim, considera-se a equação da reta sendo:

$$y(x) = a + bx \quad (17)$$

no qual, $y(x)$ é a variável dependente, x é a variável independente, a é o coeficiente linear e b é o coeficiente angular. Quando $x=0$, descobre-se o valor do coeficiente linear, uma vez que é o valor equivalente ao local do eixo das ordenadas que a reta intercepta. Já para descobrir o valor do coeficiente angular, pode escolher dois pontos da reta e efetuar a seguinte operação:

$$b = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \quad (18)$$

Substituindo os valores de a e b na equação (17), obtém-se a expressão que descreve a reta construída no papel milimetrado.

Se a função deixa de ser do tipo linear e, por exemplo, é do tipo exponencial, tem-se uma dificuldade em encontrar as relações existentes entre as variáveis do sistema. Para que este problema seja solucionado, é possível fazer uma linearização da curva, ou seja, transformar o gráfico exponencial em um gráfico linear para que as relações entre as variáveis, bem como as devidas constantes sejam encontradas com facilidade (MUKAI e FERNANDES, 2018).

2.5. Confecção de Gráficos em Escala Logarítmica

Para que a linearização de uma curva exponencial aconteça, é necessário utilizarmos escala logarítmica. Desta forma, é possível encontrar relações entre as variáveis e descobrir uma expressão que descreva a curva gráfica.

Para isto, tem-se então uma função exponencial do tipo:

$$y(x) = a e^{kx} \quad (19)$$

sendo a e k constantes diferentes de 0.

Pode-se tomar o logarítmo na base 10 em ambos os lados da equação acima:

$$\log(y(x)) = \log(ae^{kx})$$

utilizando a propriedade logarítmica $\log(a \cdot b) = \log(a) + \log(b)$, obtêm-se:

$$\log(y(x)) = \log(a) + kx \log(e)$$

como e é um número, $\log(e) = 0,4343$:

$$\log(y(x)) = \log(a) + 0,4343 kx$$

é possível substituir $\log(y(x))$ por $Y(x)$, $0,4343 \cdot k$ por B e $\log(a)$ por A , obtendo:

$$Y(x) = a + b x \tag{20}$$

que é a equação da reta, similar a encontrada em (17).

Para a construção deste gráfico, é de grande utilidade o papel monologarítmico, o qual expressa a variável x em função do $\log(y)$ e, como visto, tem-se a linearização do gráfico da função exponencial.

O coeficiente k pode ser obtido por meio da inclinação da reta, da seguinte forma:

$$b = \frac{\log(y_2) - \log(y_1)}{x_2 - x_1} \tag{21}$$

como $b = 0,4343 \cdot k$, pode-se substituir o valor de b e encontrar o valor para k .

Para o presente caso, será apresentado o gráfico em papel milimetrado, bem como a sua linearização para o experimento de Sifonação.

3. METODOLOGIA

Nesta seção é apresentada a metodologia utilizada para a aplicação do experimento de Sifonação, contendo os materiais necessários para a montagem, a montagem propriamente dita, bem como, o procedimento experimental.

3.1. Materiais Utilizados

- 2 provetas;
- 1 tubo/ducto;
- 1 Seringa;
- Cronômetro.

3.2. Montagem Experimental

1. Em uma proveta, adicionar 500 mL de água mantendo a outra vazia;
2. Preencher com o auxílio de uma seringa o tubo para transferência do líquido;
3. Manter apertado, firmemente, a parte central do tubo para que água não escape;
4. Colocar cada extremo do tubo no interior de cada proveta, conforme a figura 1A;
5. Atente-se para não deixar escapar água e entrar ar no tubo. Ainda, mantenha-o sempre na mesma posição (tocando o fundo da proveta), conforme a figura 1B.

3.3. Procedimento Experimental

1. Prepare o cronômetro;
2. Simultaneamente, disparar o cronômetro e soltar o tubo onde estava sendo pressionado;
3. Anote o tempo a cada 25 mL de líquido transferido na tabela abaixo;
4. Repita este experimento em triplicata.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para o desenvolvimento da atividade, espera-se que haja a participação ativa e interação por parte dos estudantes, uma vez que eles já deveriam ter estudado sobre hidrostática e hidrodinâmica na disciplina de Física Teórica. Logo, os conceitos devem ser revisados brevemente, sempre questionando e indagando os alunos acerca do tema e dos mecanismos envolvidos no processo de sifonação.

Quando os experimentos são realizados pelos alunos, o professor notará o nível de compreensão e entendimento dos fenômenos físicos baseados nos questionamentos, respostas e conseqüentemente, por meio da matemática e confecção dos gráficos, sabendo se realmente aconteceu uma ancoragem significativa dos conceitos na estrutura cognitiva dos alunos. Desta forma, é realizando uma análise geral qualitativa de todo o contexto que o professor consegue visualizar o nível de aprendizado de cada um, bem como, da turma como um todo, podendo ou não utilizar de outras ferramentas além da experimentação para melhorar o nível de compreensão dos alunos.

Primeiramente, espera-se que os alunos sejam capazes de realizar a coleta de dados, conforme a Tabela 2 apresenta, e realizem o cálculo da média, bem como, o desvio padrão, relembrando os conceitos aprendidos no Laboratório de Física I.

Tabela 1: Tabela com valores coletados experimentalmente.

Volume (mL):	Tempo 1 (s):	Tempo 2 (s):	Tempo 3 (s):	Tempo Médio (s):	Desvio Padrão
0	0	0	0	0,0	0,0
25	9	10	9	9,3	0,6
50	18	19	19	18,7	0,6
75	27	28	27	27,3	0,6
100	36	38	37	37,0	1,0

125	48	49	49	48,7	0,6
150	61	63	62	62,0	1,0
175	78	80	80	79,3	1,2
200	98	122	105	108,3	12,3
225	129	133	131	131,0	2,0
250	198	197	198	197,7	0,6

Cabe aqui ressaltar que não importa se o aluno tenha feito a aferição na proveta 1, ou seja, anotando a redução do volume ou na proveta 2, anotando o acréscimo de volume nesta proveta. A diferença entre ambas consistirá em um espelhamento no eixo das abcissas, o que pode ser visualizado na troca de sinal nas expressões (15) e (16).

Posterior à coleta de dados, é interessante que em papel milimetrado os alunos construam um gráfico do volume sifonado em função do tempo e discuta a respeito do tipo de curva obtida, no caso, uma exponencial. A Figura 3 exemplifica a construção do gráfico em papel milimetrado seguindo os dados obtidos na Tabela 1.

O eixo das ordenadas na Figura 3 é referente ao volume de líquido sifonado. Para a construção do gráfico, calculou-se o módulo de escala utilizando a quantidade de subdivisões do papel milimetrado (250) dividido pelo maior valor experimental, também 250 mL, obtendo um módulo de escala inteiro e equivalente a 1. Para o eixo das abcissas, utilizou-se 160 subdivisões do papel milimetrado pelo maior valor experimental, ou seja, 200 segundos, obtendo um módulo de escala igual a 0,8.

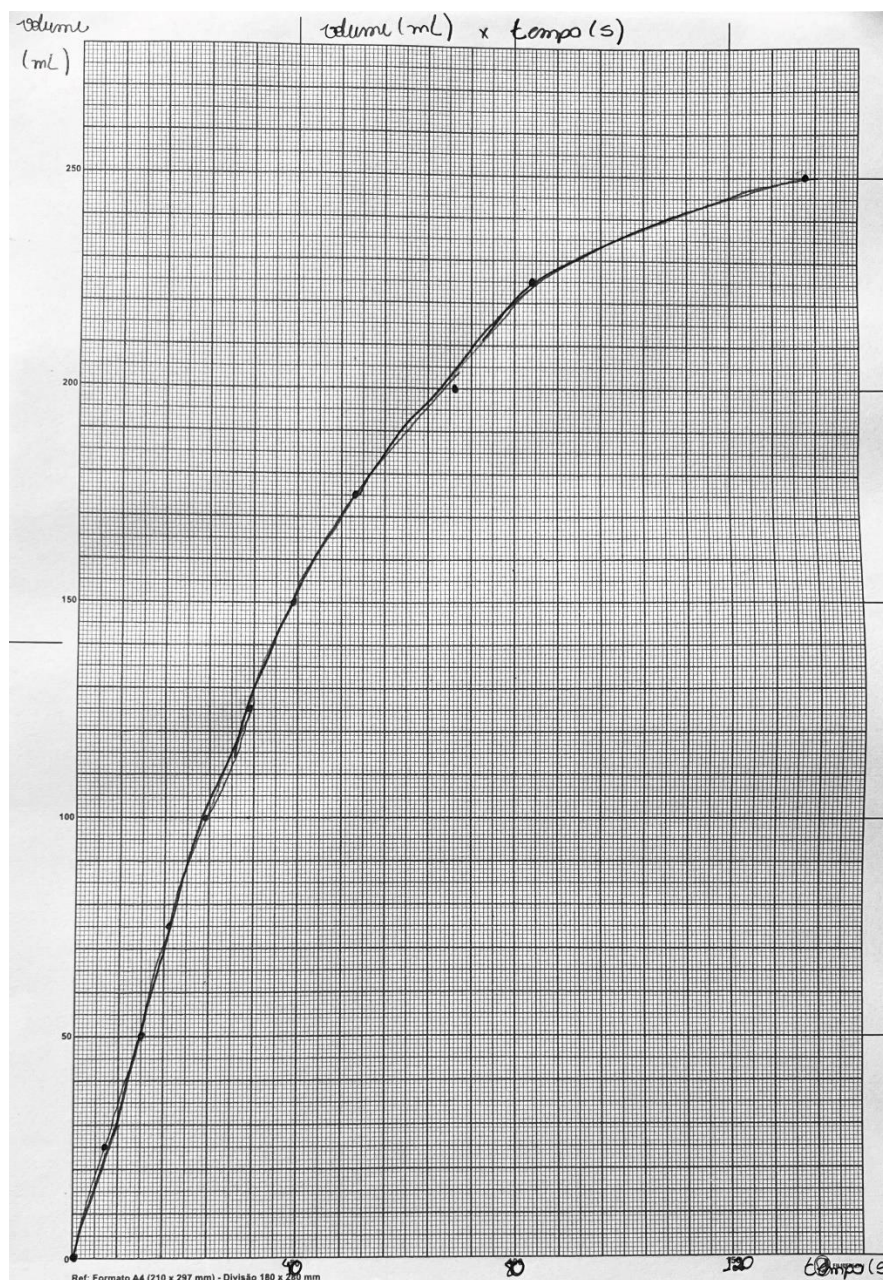


Figura 3: Gráfico em escala linear referente aos dados coletados experimentalmente.

O próximo passo está associado com a linearização do gráfico, ou seja, construí-lo em papel com escala monologarítmica, conforme a Figura 4 apresenta. O eixo das abscissas consiste em uma escala linear, utilizando 120 subdivisões do papel pelo tempo máximo de 200 s, obtêm-se o módulo de escala no valor de 0,6. No eixo das ordenadas, não é necessário utilizar o módulo, uma vez que se trata de escala logarítmica. Mas, é necessário lembrar que o eixo das ordenadas equivale a $(H/2 - h_2)$ quando se faz a linearização, conforme apresentado a seguir. Assim, basta apenas inserir os valores, respeitando as subdivisões.

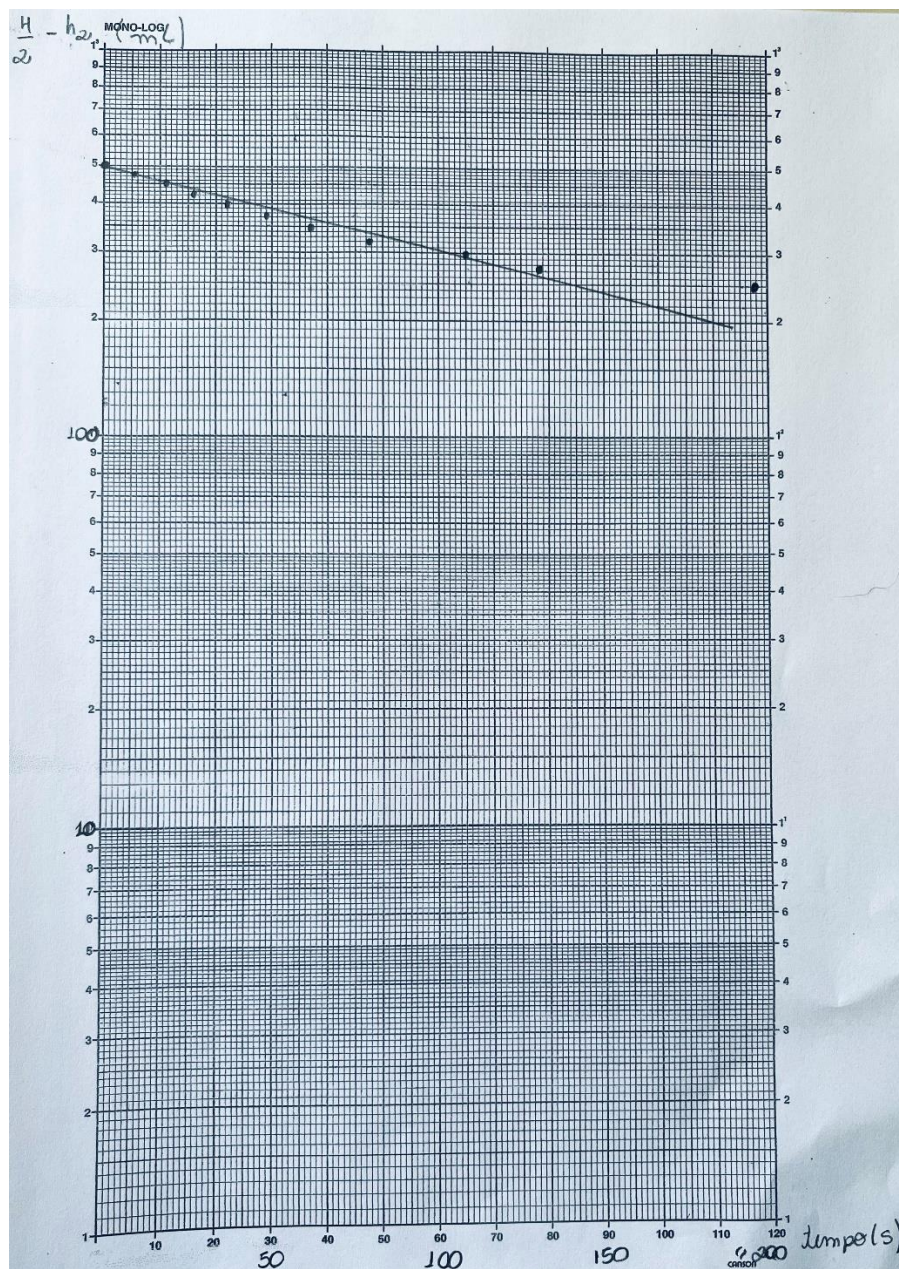


Figura 4: Gráfico em escala monologarítmica referente aos dados coletados experimentalmente.

Pode-se obter facilmente por meio desse gráfico a equação que rege o escoamento de água em função do tempo. Para isso considera-se a equação (16):

$$h_2 = -\frac{H}{2}\exp(-t/\tau) + \frac{H}{2}$$

Tomando o logarítmico em ambos os lados:

$$\log\left(-h_2 + \frac{H}{2}\right) = \log\left(\frac{H}{2} \exp(-t/\tau)\right)$$

Utilizando as propriedades logarítmicas:

$$\log\left(-h_2 + \frac{H}{2}\right) = \log\left(\frac{H}{2}\right) - \frac{t}{\tau} \log e$$

Substituindo $\log\left(-h_2 + \frac{H}{2}\right)$ como $y(x)$; $\log\left(\frac{H}{2}\right)$ como a e $-0,4343/\tau$ como b .

Obtém-se a equação da reta conforme (20):

$$y(x) = a + b x$$

Sendo a variável independente x como se fosse t . Desta maneira, o coeficiente angular pode ser calculado com base em (18). Assim,

$$b = \frac{\log(500 - 250) - \log(500 - 50)}{197,7 - 18,7} = -1,43 \cdot 10^{-3}$$

Mas, vale lembrar que $b = -0,4343/\tau$. Logo:

$$\tau = 304$$

O coeficiente linear é equivalente a $\log\left(\frac{H}{2}\right) = 2,4$. Portanto:

$$a = 2,4$$

Assim, a expressão linearizada é:

$$y(x) = 2,4 - 1,43 \cdot 10^{-3} x$$

E, a equação que rege o escoamento de água é dada por:

$$h_2 = -250 \exp(t/304) + 250$$

Assim, quando $t \rightarrow \infty$, a altura de líquido transferido para a proveta tende a 250 mL, que é a altura em que o volume transferido entra em equilíbrio com a proveta de onde o líquido é originado. Se caso, fosse avaliada a primeira proveta, ou seja, a que estava cheia, a expressão fica semelhante, alterando o sinal da exponencial, conforme (15).

Além disso, se as provetas tivessem seções diferentes, o líquido seria transferido para a segunda proveta até equivaler à mesma altura da primeira proveta. Desta maneira, haveria uma menor ou maior quantidade de líquido sendo transferido.

Ainda, pode-se observar que o último ponto coletado apresenta uma divergência da reta. Isso ocorre devido ao fato de não ser possível identificar o momento exato em que realmente o líquido estabilizou. É interessante, que o professor utilize estes resultados para discutir com os alunos em sala as diferentes situações propiciadas por este experimento. Bem como, é interessante que ele peça as discussões referente ao experimento no relatório a fim de verificar se houve compreensão dos conceitos, bem como, confecção gráfica. Para facilitar, no Anexo é disponibilizado um guia, contendo resumidamente os passo-a-passo do presente trabalho.

Assim, espera-se que a experimentação traga uma aprendizagem significativa com relação ao tema, trazendo engajamento, participação e entusiasmo por parte dos alunos, sendo o professor fundamental no acompanhamento e mediação do processo.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho destaca a importância da experimentação para a melhoria do processo de ensino e aprendizagem, bem como para a formação dos alunos, os quais futuramente, irão tornar-se bacharéis ou até mesmo licenciados, capazes de compreender as transformações sociais que a profissão escolhida pode proporcionar com capacidade de pensamento crítico.

Assim, os objetivos do trabalho bem como a proposta de inclusão de um experimento associado ao tema de hidrodinâmica esperam-se proporcionar o aprendizado teórico da sifonação, associado à uma demonstração do aspecto fenomenológico nos laboratórios de física experimental do primeiro ano. Além de permitir o aprendizado de gráficos com escala monologarítmica, facilitando a confecção de gráficos nos anos posteriores.

Ainda, acredita-se que o experimento possibilita a associação dos assuntos trabalhados teoricamente em sala de aula com experimentos de fácil construção e com fatos do cotidiano, os quais facilitam a visualização, compreensão dos fenômenos e conceitos estudados, além de contribuir para o entendimento desses assuntos e da Física como um assunto não isolado.

6. REFERÊNCIAS

- ADMIRAL, Tiago. Lei do resfriamento de Newton: experimento com Arduino em aula remota. **ScientiaTec**, v. 9, n. 1, 2022.
- BRODIN, G.; JONES, J. G.; LEWIS, J. L. **The role of the laboratory in physics education**, 1978.
- DA CRUZ, Ynaiara Kristhine Stopa; BERNARDES, Victor Angelo Primo; DE SOUZA POLETTO, Rodrigo. A Experimentação na Formação Inicial de Professores de Ciências e Biologia. **Revista de Ensino, Educação e Ciências Humanas**, v. 22, n. 2, p. 225-230, 2021.
- DE PAULA, Ricardo Normando Ferreira. Equação da Continuidade. InfoEscola, 2018. Disponível em: < <https://www.infoescola.com/mecanica-de-fluidos/equacao-da-continuidade/>>. Acesso em: 29 de agosto de 2022.
- DOS SANTOS, Emerson Izidoro; DE CARVALHO PIASSI, Luís Paulo; FERREIRA, Norberto Cardoso. Atividades experimentais de baixo custo como estratégia de construção da autonomia de professores de Física: uma experiência em formação continuada. **IX Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Física**. 2004.
- KUBO, Olga Mitsue e BOTOMÉ, Sílvio Paulo. Ensino-aprendizagem: uma interação entre dois processos comportamentais. **Interação em Psicologia**, v. 5, n. 1, 2001.
- LUCENA, José Gilmar Medeiros. **A utilização de experimentos de baixo custo para construção dos conceitos de hidrostática**. 2022.
- MUKAI, H.; FERNANDES, P. R. G. **Manual de Laboratório de Física I–DFI**. UEM–2016, 2017.
- NUSSENZVEIG, Herch Moysés. **Curso de Física Básica: fluidos, oscilações e ondas, calor**. Editora Blucher, 2018.
- PAIVA, Marlla Rúbya Ferreira et al. Metodologias ativas de ensino-aprendizagem: revisão integrativa. **SANARE-Revista de Políticas Públicas**, v. 15, n. 2, 2016.
- RESNICK, Robert; HALLIDAY, David; WALKER, Jearl. **Fundamentals of Physics**, Vol. 1. **Hoboken: John Wiley**, 1988.

ROCHA, Lucas Silveira. Laboratório experimental de baixo custo para o ensino de física. 2020.

SANTANA DOS SANTOS, Vilma et al. EXPERIMENTO LÚDICO PARA O ESTUDO DA HIDROSTÁTICA. **Colóquio do Museu Pedagógico-ISSN 2175-5493**, v. 8, n. 1, p. 2477-2481, 2014.

7. ANEXO



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ (UEM)

CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS (CCE)

DEPARTAMENTO DE FÍSICA (DFI)

FÍSICA EXPERIMENTAL II – SIFONAÇÃO:

A sifonação é um método utilizado em transporte de líquido, geralmente para retirar o mesmo de um recipiente e passar para outro, por exemplo: remover combustível de tanques para galões e esvaziar piscinas/aquários. Este processo também é utilizado em laboratórios, para separação de misturas com densidades diferentes, como a água e o óleo.

OBJETIVO EXPERIMENTAL: Aplicar a Lei de Stevin e a Lei da Continuidade para compreender os princípios físicos do experimento de Sifonação. Além de aprender a construir gráficos em papel monolog.

A Lei de Stevin é responsável por tratar da pressão exercida por um fluido em um determinado ponto. Considerando um ponto C na parte inferior da primeira proveta da Figura 1, tem-se que a pressão é a razão entre força e área. Sendo que a força neste ponto é a força peso, dada por: $F = Mg$, sendo M a massa e g a gravidade. Logo,

$$P = \frac{F}{A} = \frac{Mg}{A} \quad (1)$$

Considerando que a densidade é dada por $\rho = M/V$ e V é o volume. Podemos substituir a massa na expressão acima sabendo que $V = A \cdot h$ com h a altura, obtendo:

$$P = \rho gh \quad (2)$$

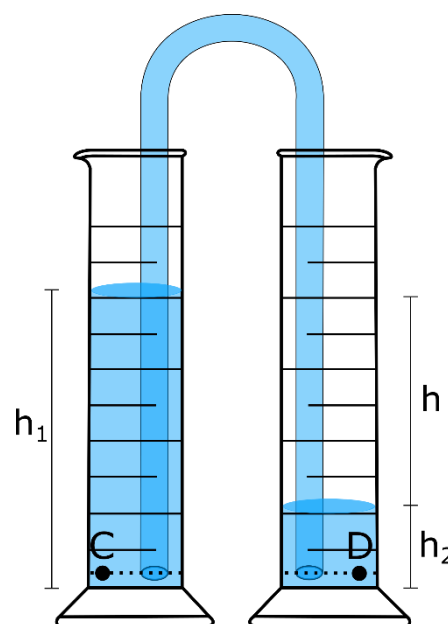


Figura 1: Esquema do aparato experimental

conhecida como Lei de Stevin.

Partindo desta equação, podemos analisar o problema proposto. Já que, à medida que o processo de sifonação ocorre, temos variação da altura da coluna de líquido na proveta e conseqüentemente, uma variação de pressão nos pontos C e D.

$$\Delta P = \rho g h_1 - \rho g h_2 = \rho g (h_1 - h_2) = \rho g h \quad (3)$$

sendo $h = h_1 - h_2$.

Utilizando a força dada na expressão (1), temos:

$$F = \Delta P \cdot A$$

Devemos considerar a área do tubo, já que, é o canal que conecta as provetas, a qual chamaremos de s . Além disso, o ΔP já foi encontrado na equação (3) e podemos substituir na expressão acima:

$$F = \rho g h s \quad (4)$$

Levando em consideração que o volume do tubo (mangueira de transferência) é: $v = s \cdot l$ sendo l o comprimento do tubo. Podemos reescrever a densidade como: $\rho = m/s \cdot l$ e substituir na força da equação (4). Assim,

$$F = \frac{m g h s}{s l} \quad (5)$$

Esta equação pode ser igualada com a Lei de Newton, já que $F = ma$ e $a = dv/dt$ sendo v a velocidade. Desta forma,

$$\frac{dv}{dt} = \frac{g h}{l} \quad (6)$$

Porém, precisamos relacionar a velocidade do fluido no tubo com a altura. Para isto, faremos uso da equação da continuidade, dada por:

$$A v = s v$$

sendo A a área da proveta, e ϑ a velocidade de escoamento do líquido na proveta. Enquanto que, s é a área do tubo e v a velocidade com que o líquido passa no tubo. Ainda, podemos isolar v e derivar com relação ao tempo. Obtendo:

$$\frac{dv}{dt} = \frac{A}{s} \frac{d\vartheta}{dt} \quad (7)$$

A expressão (7) pode ser substituída na expressão (6), desta maneira:

$$\frac{d\vartheta}{dt} = \frac{s g h}{A l} \quad (8)$$

Como a velocidade é a derivada do espaço. Temos que a velocidade ϑ é a derivada de h_1 com relação ao tempo. Desta maneira:

$$\frac{d^2 h_1}{dt^2} = \frac{s g h}{A l} \quad (9)$$

O problema que temos na equação (9) é relacionar h_1 com h . Para isto, podemos utilizar algumas equações de vínculo:

$$h = h_1 - h_2$$

$$H = h_1 + h_2$$

sendo H a altura da coluna de água antes de iniciar o processo de sifonação, a qual é constante. Utilizando ambas equações, é possível escrever h_1 em função de h e H , obtendo $h_1 = (h + H)/2$. Calculando a segunda derivada:

$$\frac{d^2 h_1}{dt^2} = \frac{1}{2} \frac{d^2 h}{dt^2} \quad (10)$$

Substituindo a expressão (10) na (9):

$$\frac{d^2 h}{dt^2} = \frac{2 s g}{A l} h \quad (11)$$

que é uma equação diferencial cuja solução é uma função exponencial:

$$h = h_o \exp\left(\pm \sqrt{\frac{2 g s}{A l}} t\right) \quad (12)$$

Utilizando as equações de vínculos podemos obter a seguinte expressão para h_1 :

$$h_1 = h_o \exp(\pm t/\tau) + \frac{H}{2} \quad (13)$$

sendo $\tau = \sqrt{A l / 2 g s}$.

Quando o tempo é 0 ($t \rightarrow 0$), ou seja, antes de começar a transferência de líquido entre as provetas. A altura da proveta 1 (h_1) deve ser a altura total, ou seja, H. Logo,

$$h_o = \frac{H}{2} \quad (14)$$

Quando o tempo tende ao infinito ($t \rightarrow \infty$) a exponencial não pode divergir. Logo, o sinal que satisfaz nossa condição de contorno é o negativo. Assim, podemos reescrever a equação (13), como:

$$h_1 = \frac{H}{2} \exp(- t/\tau) + \frac{H}{2} \quad (15)$$

Utilizando ainda as equações de vínculo, podemos encontrar a expressão para a proveta 2, ou seja, a que está enchendo:

$$h_2 = -\frac{H}{2} \exp(- t/\tau) + \frac{H}{2} \quad (16)$$

GRÁFICOS MONOLOGARÍTMICO:

Os gráficos são gerados por meio de pontos que ao se conectarem, formam uma curva. Esta curva pode ser descrita por meio de funções. Quando a função é

linear, é possível de forma simples e rápida descobrir as relações entre as variáveis do sistema. Quando a função é do tipo exponencial, tem-se uma dificuldade em encontrar esta relação. Para que este problema seja solucionado, é possível fazer uma linearização da curva, ou seja, transformar o gráfico exponencial em um gráfico linear para que as relações entre as variáveis, bem como as devidas constantes sejam encontradas com facilidade.

Para isto, tem-se então uma função exponencial do tipo:

$$y(x) = a e^{kx} \quad (17)$$

sendo a e k constantes diferentes de 0.

Pode-se tomar o logarítmo na base 10 em ambos os lados da equação acima:

$$\log(y(x)) = \log(ae^{kx})$$

utilizando a propriedade logarítmica $\log(a \cdot b) = \log(a) + \log(b)$, obtêm-se:

$$\log(y(x)) = \log(a) + kx \log(e)$$

como e é um número, $\log(e) = 0,4343$:

$$\log(y(x)) = \log(a) + 0,4343 kx$$

é possível substituir $\log(y(x))$ por $Y(x)$, $0,4343 \cdot k$ por B e $\log(a)$ por A , obtendo:

$$y(x) = a + bx$$

que é a equação da reta.

Para a construção deste gráfico, é de grande utilidade o papel monologarítmico, o qual expressa a variável x em função do $\log(y)$ e, como visto, tem-se a linearização do gráfico da função exponencial.

O coeficiente k pode ser obtido por meio da inclinação da reta, da seguinte forma:

$$b = \frac{\log(y_2) - \log(y_1)}{x_2 - x_1}$$

como $b = 0,4343 \cdot k$, pode-se substituir o valor de A e encontrar o valor para k .

PARTE EXPERIMENTAL:

MATERIAIS UTILIZADOS:

- 2 provetas;
- 1 tubo/ducto;
- 1 Seringa;
- Cronômetro.

MONTAGEM EXPERIMENTAL:

1. Em uma proveta adicionar 500 mL de água mantendo a outra vazia;
2. Preencher com o auxílio de uma seringa o tubo para transferência do líquido;
3. Manter apertado de maneira firme a parte central do tubo para que água não escape;
4. Colocar cada extremo do tubo no interior de cada proveta, conforme a figura 1;
5. Atente-se para não deixar escapar água e entrar ar no tubo. Ainda, mantenha-o sempre na mesma posição (tocando o fundo da proveta).

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL:

1. Prepare o cronômetro;
2. Simultaneamente, disparar o cronômetro e soltar o tubo onde estava sendo pressionado;
3. Anote o tempo a cada 25 mL de líquido transferido na tabela abaixo;
4. Repita este experimento em triplicata.

DADOS OBTIDOS EXPERIMENTALMENTE:

Tabela 1: Destinada para inserção dos dados experimentais:

Volume (mL):	Tempo 1 (s):	Tempo 2 (s):	Tempo 3 (s):	Tempo Médio (s):	Desvio Padrão

DISCUSSÃO DOS RESULTADOS:

1. Construir um gráfico do volume sifonado em função do tempo. Discutir o tipo de curva obtida.
2. Em papel monologarítmico, construir o mesmo gráfico. Discutir a mudança com relação ao tipo de curva obtida.
3. Encontre a equação que rege o escoamento de água em função do tempo e determine as constantes por meio desta equação;
4. O que acontece com o volume de água quando $t \rightarrow \infty$? Explique.
5. Caso o tempo fosse anotado com relação à outra proveta. O que seria diferente? Como ficaria o gráfico e a equação?
6. Caso as provetas tivessem tamanhos (seções) diferentes. O que aconteceria?
7. Para utilizar um papel dilog, como deveria ser a equação, ou seja, qual comportamento ela deveria ter?

REFERÊNCIAS:

- [1] H. Mukai, P.R.G. Fernandes, Manual de laboratório de Física I – DFI/UEM – Agosto, 2018;
- [2] D. Halliday, R. Resnick – Física = Vol.2 – 4a Edição – Editora LTC, cap. 15 – página 16 (1996);
- [3] H. M. Nussenzveig – Curso de Física Básica – vol 2 - 3ª edição – Editora Edgard Blücher LTDA – (1996).