

Experimentos Portáteis para Aula sobre Vácuo

Portable Experiments for Vacuum Class

R. CANDREVA¹, G. G. DE OLIVEIRA¹, J. S. DA COSTA¹, A. P. LIMA¹, M.
BESSA², A. TAVARES³, C. CHESMAN^{2,4}

¹Escola de Ciências e Tecnologia UFRN, Natal/RN, 59078-790, Brasil

²Fractal Experimentos, Natal/RN, 59078-400, Brasil

³IFRN, Natal/RN, 59015-000, Brasil

⁴Departamento de Física UFRN, Natal/RN, 59078-790, Brasil

Resumo

O vácuo é um assunto controverso desde a Grécia antiga. Passaram-se séculos para o domínio das técnicas experimentais e somente nos dias atuais bombas de vácuo puderam ser utilizadas no ambiente da sala de aula. Neste trabalho, iremos apresentar uma proposta de experimentos portáteis sobre vácuo para o ensino de Ciências que pode auxiliar em aprendizagens no Ensino de Física, Química e Biologia, nas diferentes etapas da educação básica e também no Ensino Superior. Os materiais utilizados para a realização dos experimentos são de fácil aquisição e podem ser facilmente replicados, principalmente, com o uso das atuais minibombas pneumáticas. A proposta é que os alunos aprendam os conceitos, através de discussão experimental na própria sala de aula, sendo dado maior destaque às aulas interativas em detrimento de aulas expositivas. Para isso, nos inspiramos na metodologia ISLE (Investigative Science Learning Environment) do grupo da Universidade de Rutgers. Na prática experimental, há dois principais momentos pedagógicos, os chamados experimentos qualitativos e os quantitativos. Para avaliar a metodologia e o uso desses experimentos portáteis, apresentaremos uma proposta de sequência didática a ser aplicada em turmas do terceiro ano do Ensino Médio, envolvendo conceitos e experimentos relacionados ao vácuo.

Palavras-chave: Experimento Portátil, Metodologia ISLE, Aprendizagem, Vácuo.

Abstract

Vacuum is a controversial theme since ancient Greece, centuries have passed for the domain of experimental techniques and only at this time vacuum pumps could be used in the classroom. In this work we will present a proposal for portable experiments under vacuum for Science teaching that can help in learning Physics, Chemistry and Biology Teaching in different stages of Basic Education and also in High School. The materials used to execute the experiments are easily bought and can be easily replicated, especially with the use of current pneumatic minipumps. The proposal is for students to learn the concepts through experimental discussion in the classroom, with greater emphasis on interactive classes rather than lectures. For this, we were inspired by the ISLE methodology of the Rutgers University group. In experimental practice, there are two main pedagogical moments, the so-called qualitative and quantitative experiments. To evaluate the methodology and use of these portable experiments, we will present a proposal for a didactic sequence to be applied in classes of the third year of high school, involving concepts and experiments related to vacuum.

Keywords: *Portable Experiment, ISLE Methodology and Vacuum*

I. INTRODUÇÃO

A Física é uma ciência que tem como objetivo estudar os fenômenos da natureza. Investiga desde a escala macroscópica, como exemplo a descrição da interação da matéria entre planetas, estrelas e cometas, até o mundo microscópico, como as descrições das ligações químicas em escala nanométrica, também o entendimento da estrutura e o funcionamento do DNA. Devido ao seu caráter de ciência que estuda os fenômenos naturais, a experimentação na Física é parte crucial para o seu desenvolvimento no contexto de ensino e de aprendizagem.

Muitos experimentos necessitam de um ambiente considerado ideal para a sua realização. Isso consiste em um conjunto de condições onde o meio externo não interfira no experimento, uma condição crucial é um ambiente completamente evacuado, isto é, sem partículas de ar ou qualquer outro elemento químico, inclusive até para simular ambientes inóspitos do espaço sideral. Desde o tempo dos antigos gregos que o vácuo era discutido, mas no começo, a ideia pertencia apenas ao campo puramente filosófico. Existia um grupo, os atomistas, que defendiam a existência do vácuo, sendo Demócrito o primeiro a apresentar discussões sobre o tema. Antagonicamente aos atomistas, existiam os aristotélicos que faziam apologia à não existência do vácuo, que afirmavam a natureza tinha horror a vácuo (STEMPNIAK, 2002).

A negação dos aristotélicos estava atrelada principalmente aos aspectos religiosos, em contraponto aos filosóficos (STEMPNIAK, 2002). Esses tipos de abordagem ocorriam, pois naquela época não existiam situações empiristas, ou seja, experimentais, que balizassem a essência de tais discussões. Séculos depois das inquietações movidas por pontos de vista contraditórios, surge o primeiro cientista experimental, o físico italiano Galileu Galilei (1564 - 1642). Com o advento da ciência experimental se tornava crucial para o seu desenvolvimento

a formulação de um ambiente adequado para a realização dos experimentos. Nesse contexto Otto von Guericke apresentou a primeira bomba de vácuo em 1654, quando realizou o famoso experimento dos hemisférios de Magdeburgo (GUERICKE, 1910).

Na sequência histórica, problematizamos o século XVII, contexto em que a compreensão sobre o vácuo se funde com o entendimento do que é pressão atmosférica. Para isso, houve grandes contribuições de Torricelli, Pascal e Boyle. Do ponto de vista da aplicação tecnológica, o grande problema era entender a razão do limite de 10 metros de elevação máxima de uma coluna de água pela bombas hidráulicas (NARDI, 2002).

O vácuo possui uma enorme importância para a sociedade contemporânea, desde terapias com vácuo (ventosa) à conservação de alimentos e produção de aparelhos eletrônicos. Em cada residência, ocorrem muitas aplicações do vácuo, desde uma garrafa térmica até um aspirador de pó, utilizado para retirar poeira, têm-se o vácuo como uma parte indispensável para seu funcionamento.

Mesmo sendo um tema com forte presença no cotidiano, observa-se que há poucos experimentos sobre vácuo nas escolas que possuem laboratórios, fato também corroborado pela quase inexistência de opções de experimentos didáticos sobre o assunto para aquisição dessas escolas. Também é do conhecimento geral as dificuldades enfrentadas no ensino de Ciências Naturais, em especial de Física, situação ainda mais marcante nas escolas públicas. Levando em consideração as atividades experimentais, temos como exemplos a ausência de estruturas adequadas para as práticas (laboratórios, equipamentos, recursos materiais, entre outros), além disso existem lacunas na formação dos docentes com relação à experimentação (BORGES, 2002), considerando certa indiferença dos programas de formação inicial e de formação continuada de professores sobre tais aprendizagens experienciais. Essas situações mencionadas impactam de modo abrupto e continuado na formação dos estudantes e na formação de futuros cientistas.

Um ponto de intersecção sobre aprendizagem a partir campos da neurologia e da pedagogia é que os seus teóricos defendem o uso de ferramentas práticas para a consubstanciação da aprendizagem (DELIZOICOV e ANGOTTI, 1990), em especial, ferramentas pedagógicas que exploram os diferentes sentidos do corpo humano, desde os cinco sentidos tradicionalmente apresentados, desde Aristóteles (visão, audição, olfato, tato e paladar), até os recentes sentidos monitorados pela ciência (equilíbriocepção, cinestesia e cronocepção, entre outros), todos cumprem função estruturante para a internalização da aprendizagem (ANTUNES, 2002). Nesse contexto, a pedagogia do desenvolvimento, a partir da construção do conhecimento, alerta que uma aula será muito mais interessante, quando os alunos forem mobilizados para experienciarem os estímulos sensoriais, por meio de atos práticos a partir de experimentos que concorram para a utilização da visão, do tato, da audição, do olfato, do paladar ou do conjunto de sensações.

Diante desse cenário, apresenta-se neste artigo um trabalho que tem como objetivo geral aproximar teoria e prática no ensino de Física, através da construção de um Produto Educacional Experimental Portátil (ExP), para o melhor entendimento do que é vácuo na atualidade e para relacioná-lo com outros fenômenos que serão demonstrados, através de atividades experimentais para aprendizes do Ensino Fundamental II, Ensino Médio e Ensino Superior de Ciências. Dito de outra forma, a intenção é utilizar experimento pedagógico para que se alcance um efeito no aprendente que colabore para a construção do

entendimento do fenômeno a partir da metodologia pedagógica ISLE (Investigative Science Learning Environment) concebida pelo grupo da Universidade de Rutgers, liderado pela professora Eugenia Etkina (ETKINA, 2007; ETKINA, 2015).

Em linhas gerais, os objetivos específicos deste trabalho é apresentar uma sequência didática sobre vácuo, com o intuito de inspirar docentes na busca pela produção de experimentos, e desta forma, facilitar o processo de aprendizagem dos alunos, mediante o uso de ferramentas interacionais; sendo assim criar um ambiente investigativo no sentido de motivar a busca pela explicação do fenômeno apresentado, além disso o advento dessa sequência didática pretende estimular a formação da consciência dos alunos sobre a importância das Ciências da Natureza, para resolver problemas de caráter experimental para o benefício da humanidade, fazendo com que essas ações possam surtir efeito neste processo de entendimento.

O trabalho foi realizada de acordo com a teoria da aprendizagem ativa ISLE, que tem como base a formação de subsunçores para uma abordagem investigativa sobre o fenômeno analisado, abandonando o designer da aula tradicional em que a atuação central é do docente e, com isso, passando a ter uma participação ativa dos alunos no processo de aprendizagem por meio da estimulação da construção de conhecimento. O experimento socializado neste artigo é compacto, tornando possível tanto a portabilidade do produto didático, aspecto que facilita a mediação dos docentes e dos discentes em relação a distribuição e divisão dos kits durante a aula, bem como a organização do ambiente. Inclusive, é importante destacar que o experimento é relativamente pequeno, cabendo em uma simples mochila.

O trabalho está dividido da seguinte forma: a introdução que apresenta e contextualiza as informações científicas do artigo; a seção 2, que apresenta o histórico sobre o desenvolvimento do vácuo; a seção 3, que mostra os equipamentos que compõem o experimento; a seção 4, que é dedicada à apresentação das sequências didáticas, utilizando a teoria de aprendizagem ativa ISLE, com o experimento sobre vácuo; e, por fim, a seção 5 dedicada às conclusões e perspectivas futuras do estudo apresentado. .

II. UM BREVE HISTÓRICO SOBRE O VÁCUO

A palavra vácuo é uma evocação utilizada rotineiramente no cotidiano das sociedades contemporâneas, mesmo entre as pessoas que não conhecem o seu conceito convencional. Mas, qual seria a significação de vácuo?

De origem latina *vacua*, cujo entendimento é vazio, a palavra deve ser compreendida como uma parcialidade de vazio e não um vazio absoluto em um sistema físico (MARQUARDT, 1999). Em uma exemplificação bem didática, poderia ser entendida como qualquer pressão inferior à pressão atmosférica.

Para se obter o vácuo é necessário retirar o ar de dentro de um ambiente. Tal procedimento para efeito de aplicação em laboratório pode ser desenvolvido com um saco, uma garrafa, ou qualquer outro recipiente. A própria boca do corpo humano pode funcionar como uma pequena bomba de vácuo, executando uma sucção, por exemplo, ao secar um pequeno saco plástico. Uma curiosidade é pertinente aqui: nos estudos iniciais sobre vácuo se narra um grande pavor sobre a sua obtenção, pois se imaginava que tudo seria sugado,

inclusive, o próprio operador do equipamento.

Para Marquardt (1999), em sua definição com um espectro bem mais amplo, o vácuo pode ser entendido como sendo um volume de certa amostra gasosa que tem menos densidade (menos matéria: partículas e átomos) e pressão menor do que a atmosfera que o abriga.

Segundo Stempniak (2002), há vários séculos a definição de vácuo foi trabalhada, indagada e muitas vezes negada diante de contextos e de argumentações que grandes estudiosos da época elaboravam. Analisada primeiramente no campo filosófico e depois no campo propriamente científico, conforme já pontuamos, a compreensão de vácuo esteve submetida a duas correntes filosóficas, os atomistas e os aristotélicos. Essas correntes possuíam concepções antagônicas no que se diz respeito à compreensão do vácuo.

Os atomistas defendiam que toda atividade que ocorria na natureza partia de átomos, elementos muito pequenos e indivisíveis. Demócrito foi o primeiro a se interessar sobre o estudo de vácuo e de átomos. Para ele e seus seguidores, tudo no Universo seria formado por vácuo e átomos. Esses elementos eram tão pequenos a ponto de não serem observados pela visão. Tal reflexão tinha como base a experiência de Empédocles que, ao mergulhar a boca de um vaso virada para baixo, percebia que o ar exercia uma determinada pressão na água por mais que não fosse visto. A relação dos átomos e o vazio entre eles eram regidos por um fator probabilístico (acaso). Em suas concepções, não existiria um ser superior que tivesse qualquer relação com a natureza. O átomo para esse grupo tinha características bem específicas como cheiro, cor, tamanho, gosto, etc. Uma verdadeira leitura de mundo se dava pela relação do intelecto com o sensorial. O Universo seria dividido em ser e não-ser que por sinal estava relacionado, respetivamente, com as ideias de cheio e vazio. Essa relação dava o entendimento, por exemplo, do movimento das coisas. O ser seria os átomos e o não-ser seria o vácuo (SILVA, 2013).

Para os aristotélicos, a concepção de vácuo era totalmente divergente da concepção atomista. Inclusive, as suas ideias eram bem aceitas entre os gregos, devido às influências de Aristóteles no entendimento da impossibilidade de vácuo em um sistema físico até mais ou menos o século XVII. Tal concepção ficou conhecida como a natureza tem horror ao vácuo (GAMA, 2002).

Além de Aristóteles e sua escolástica, Descartes também acreditava na impossibilidade de existir vácuo, local onde existia um vazio absoluto como defendido pelos atomistas. Uma das formas de ele argumentar a inexistência do vácuo foi justamente pensando na extensão dos corpos. Para ele, o corpo existiria de modo independentemente se tivéssemos apenas a consideração de sua extensão, sem que assim perdesse a essência da corporalidade. Partindo desse princípio, o vácuo não existiria, pois não teria possibilidade de se imaginar um corpo sem sua extensão e o contrário seria verdadeiro também (MARTINS, 1993).

De acordo com os escritos de Descartes acerca do vácuo (Descartes apud Silva, 2018).

Quanto ao vazio, no sentido em que os Filósofos tomam esta palavra, ou seja, por um espaço no qual não exista substância, é evidente que não existe nenhum espaço no universo que assim seja, pois, a extensão do espaço ou do local interne não é diferente da extensão do corpo. E como apenas por um corpo ser extenso em comprimento, largura e profundidade podemos concluir que ele é uma substância, pois não concebemos que seja possível

que aquilo que nada é tenha extensão, devemos concluir o mesmo do espaço que se supor vazio: ou seja, que, já que existe nele extensão, existe também necessariamente substância. (SILVA, 2018).

Os aristotélicos estavam inclinados a ver a natureza por um prisma da existência de um ser poderoso no qual dominava o pensamento de como eles viam determinados fenômenos. Já no período medieval, a ideia associada a um Deus que tinha todo o domínio sobre determinadas ações era algo extremamente natural. (MARTINS, 2006).

Há poucos registros históricos sobre vácuo na literatura científica, quando comparado a outros temas científicos. Somente por volta de 1600 é que foi inventada a primeira bomba de vácuo por Otto Von Guericke, quando em 1650 realizou o famoso experimento dos hemisférios de Magdeburg (GUERICKE, 1910). Esses dois hemisférios eram cada um a metade da superfície de uma bola, que após feito o vácuo entre essas superfícies, nem potentes cavalos poderiam separá-las.

Há diversos vídeos, em diversas fontes, que demonstram essa experiência. O vídeo que consideramos mais didático e interessante, produzido em língua alemã, pode ser encontrado no link ¹ abaixo. Um dos acontecimentos do vídeo é a suspensão de um carro com um helicóptero com os hemisférios de Mgdeburg. Tal experimento demonstra que o ar exerce enorme pressão atmosférica sobre estes hemisférios, de forma que eles ficam quase que solidamente unificados, praticamente colados ou soldados.

É interessante registrar que as primeiras bombas de vácuo continham como selante o elemento mercúrio, pois ainda não se utilizavam borrachas e materiais plásticos como selantes.

Na atualidade, existem vários tipos de bombas de vácuo para diversos usos acadêmicos e tecnológicos, bomba mecânica de pistão apresentada em 1654 por Guericke; bomba com coluna de mercúrio alternante, criada em 1855 por Geissler & Topler; bomba por gotejamento de mercúrio inventada por Sprengel em 1865; bomba iônica, elaborada por Schwartz & Herb em 1953; bomba turbomolecular, desenvolvida por Becker nos anos de 1956; bomba por evaporação catódica preparada em 1959 por Gifford & McMahon; bomba criogênica montada por Kippling em 1965 e bomba scroll, arquitetada pela Agilent Tech no ano de 1985, conforme apresentado no link ²

Muitas dessas bombas mencionadas conseguem atingir um vácuo semelhante ao espaço interplanetário, que consiste em uma pressão atmosférica de até 100 bilhões de vezes menor que a da Terra. Essas pressões tão diminutas são necessárias para simular as condições onde ocorrem os fenômenos entre onda e matéria na escala nanoscópica, entre feixes de luz e átomos ou moléculas. Nesses ambientes as partículas podem viajar vários metros sem ocorrer uma única colisão, no entanto se tivessem na pressão atmosférica, um elétron em apenas 60 nanômetros já colidiria com um átomo ou uma molécula (YOSHIMURA, 2008).

¹<https://www.youtube.com/watch?v=qL9viva4fI4>.

²<portal.if.usp.br/tecvac/pt-br/node/332> acessado em 01/01/2022.

III. MATERIAIS DO EXPERIMENTO PORTÁTIL SOBRE VÁCUO

Para a realização experimental sobre vácuo é necessário o manuseio de um conjunto de instrumentos. Propomos a disponibilização da minibomba de vácuo e de outros materiais que estão dentro de um caixote de madeira tipo MDF. O caixote mede 21,0 cm de comprimento, 17,0 cm de largura e 9,0 cm de altura; o seu volume se aproxima das dimensões de um livro. Essa observação é importante, pois o armazenamento dos instrumentos que serão utilizados na experiência foi idealizado para permitir absoluta portabilidade, podendo ser os objetos transportados em mochila ou em bolsa pequena e também serem manuseados pelo aprendiz, mesmo em uma mesa pequena. Nas linhas que seguem, ilustramos o conjunto de instrumentos que integram o Experimento Portátil sobre vácuo para o desenvolvimento do presente estudo autoral.

A fotografia (Figura 01) realça a presença dos seguintes instrumentos:

- 01 Cápsula cilíndrica acrílica, 14 cm de diâmetro por 8 cm de altura.
- 01 Ventosa PET.
- 01 Ventosa PET com válvula.
- 01 Dinamômetro 120 N (12 kg e 0,5 kg). 01 Medidor de pressão 100 kPa.
- 01 Tampa PET com alça.
- 01 Tampa PET com válvula. 01 Garrafinha de vidro 30 ml.
- 01 Mini-esponja (3 x 3 x 2 cm³).
- 03 Bexigas (bolas de encher) tipo canudo.
- 01 Saco (21 cm X 21 cm) ZipLock com válvula.



Figura 1: Fotografia dos materiais que compõem o caixote para a realização das práticas experimentais sobre vácuo. Fonte: os autores

Foi usado um motor compressor pneumático da empresa You Cheeng Co. LTD. construída com diafragma de borracha e com fluxo de 40 litros por minuto, uma fonte de alimentação tipo fonte chaveada, 12 volts e 5 amperes, com alimentação bivolt 110/220 volts. Todos esses componentes foram adquiridos no comércio local ou comprados por meio da internet, com o objetivo de montarmos a minibomba de vácuo em uma caixa plástica com

interruptor frontal liga-desliga com saídas traseiras para vácuo e Ar, conforme ilustramos na fotografia da Figura 02.



Figura 2: Fotografias da minibomba de vácuo, montada com um minimotor- compressor, fonte de alimentação e caixa plástica. Fonte: os autores

Uma das vantagens principais dessas minibombas disponibilizadas para a comercialização, com diafragmas de borracha, é a não dependência de óleo no ambiente da realização da prática experimental em sala de aula. Nas bombas mecânicas, tipo rotatórias, que usam óleo como selante no mecanismo para se obter o vácuo, sempre há óleo expelido para o ambiente, sendo tal substância um poluente extremamente prejudicial à saúde humana, pois esse óleo é sempre composto por diversos elementos químicos pesados, tais como mercúrio, por exemplo. Além do uso de substâncias danosas à saúde respiratória, como o dióxido de enxofre, que após certo tempo necessita de trocas periódicas do fluido da bomba, o que torna seu uso menos prático que as bombas com diafragma de borracha (UMRATH, 1998).

O princípio de funcionamento desse tipo de minibomba por diafragma é fácil de ser entendido. Basta imaginar o movimento de entrada e saída que uma seringa faz com o seu pistão. No movimento de saída do pistão entra a substância e ao empurrar o pistão, a substância é expulsa. Adicionalmente, pode-se colocar um sistema de válvulas para entrada e saída do líquido, conforme Figura 03.

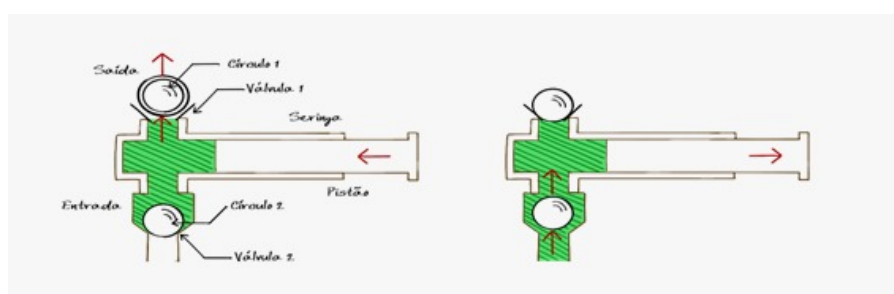


Figura 3: Ilustração de duas seringas com substância interna representada na cor verde, seus pistões e suas válvulas. Fonte: os autores

A Figura 03a está ilustrando a movimentação do círculo superior, que representa uma válvula, com subida, devido ao movimento do pistão ao ser pressionado para entrar no corpo da seringa. Ao mesmo tempo, a entrada do pistão, faz movimento no círculo inferior (que representa outra válvula) devido à substância interna, que pressiona para fazer vedação na parte inferior. Assim, o movimento de entrada do pistão abre a válvula 1 (superior) e

fecha a válvula 2 (inferior). Na Figura 03b, o movimento de saída do pistão faz o círculo superior (válvula 1) vedar a parte de cima e abre a parte de baixo do círculo inferior (válvula 2). Logo o movimento de entrar e sair do pistão faz a circulação da substância da parte inferior para a parte superior, com ciclo que abre e fecha as válvulas. Esse movimento do pistão pode ser feito, acoplado-se um motor com biela e o pistão pode ser substituído por uma membrana de borracha flexível que será o diafragma de plástico (YOSHIMURA, 2014).

Com esse tipo de minibomba de vácuo, sem a necessidade de substância como mercúrio ou dióxido de enxofre, a realização da prática experimental deixa de ser prejudicial à saúde e conseqüentemente aplicável no contexto de sala de aula, sem a necessidade de exaustores, dos tipos que existem nos laboratórios. É importante frisar uma desvantagem desse tipo de aparato: quando comparado aos outros tipos de bombas de vácuo, não se consegue atingir pressões tão baixas. Todavia, os experimentos sugeridos neste trabalho são todos de caráter pedagógico, facilmente reproduzíveis a partir de bomba de vácuo, com dimensões completamente portáteis e com interessante uso pedagógico e cognitivo para a sala de aula.

IV. SEQUENCIA DIDÁTICA PARA A REALIZAÇÃO EXPERIMENTAL

Nesta seção será apresentada a sequência didática voltada para o ensino sobre o vácuo. Esta sequência didática é composta de três (03) etapas de realizações experimentais, alinhadas com aprendizagens sobre vácuo. Na Primeira Etapa apresentamos os materiais e suas finalidades e como se faz o uso de cada elemento. Na segunda etapa (que por sua vez se divide em dois momentos) são executados, no primeiro momento os experimentos qualitativos onde se observa os fenômenos, sem, contudo, realizar qualquer tipo de medição de grandeza física. Já no segundo momento, fazem-se medidas. Aqui serão medidas força e pressão, com instrumentos simples e, por fim, na terceira etapa apresentamos aos alunos diversas aplicações tecnológicas do vácuo como, por exemplo, na Biologia com a prática de embalagem a vácuo de alimentos ou de amostras biológicas. Na Tabela 1, apresentamos um resumo da sequência didática mencionada anteriormente:

Primeira Etapa	Segunda Etapa		Terceira Etapa
Apresentação do material e suas finalidades	Primeiro Momento: Experimentos qualitativos	Segundo Momento: Experimentos quantitativos	Aplicações Tecnológicas

Tabela 1: Resumo da sequência didática que será apresentada na aplicação do produto educacional. Fonte: Os autores.

O método de aprendizagem usado aqui foi o ISLE (Investigative Science Learning Environment), que foi criado pelo grupo da Graduate School of Education, Rutgers University dos Estados Unidos da América, liderados pela professora Eugenia Etkina (ETKINA, 2015; ETKINA, 2007), Uma fonte com mais detalhes dos três componentes deste método pode ser encontrada no artigo de Oliveira (2022).

Cabe ressaltar aqui que a expressão "sequência didática" remonta aos seminários trabalhos no Brasil por M. A. Moreira (MOREIRA, 2011) e nitidamente a metodologia ISLE e as UEPS, fundamentadas na Teoria de Aprendizagem Significativa (MOREIRA, 2011; AUSUBEL,

1982), que dialogam entre si, pois ambas são apoiadas no método científico centrado na observação prática e/ou experimental de um dado fenômeno. Inclusive, as três etapas aqui descritas da sequência didática são semelhantes aos três componentes da ISLE, ou ainda mais, ambos possuem componente do ciclo de raciocínio lógico que se repete a cada novo tópico aprendido.

O ISLE é um jogo epistêmico e cognitivo que emula o método pelo qual os físicos criam seu conhecimento, porém não é um jogo ameaçador com ganho e perda de bônus ou pontos, pois segue como os princípios de uma investigação científica misteriosa. O ciclo ou diagrama de bloco (às vezes também chamado mapa conceitual) do ISLE é mostrado na Figura 04, que segue a seguinte sequência básica:

1. Os alunos encontram algum fenômeno físico interessante que precisa ser explicado. Normalmente, uma atividade experimental.
2. Os alunos reúnem dados sobre o fenômeno, identificam padrões interessantes e apresentam várias explicações sobre o porquê do fenômeno está acontecendo. Inicialmente, todas as ideias são aceitáveis, para incentivar o cognitivo a pensar sobre o problema em questão.
3. Eles então testam suas explicações/previsões conduzindo um ou mais experimentos de teste. O objetivo principal é eliminar as explicações em vez de prová-las. Essa é a chave para a natureza não ameaçadora do processo. No ISLE, prever significa dizer qual seria o resultado do experimento de teste se uma determinada hipótese fosse verdadeira.
4. As ideias que não são eliminadas são mantidas e testadas novamente com mais experimentação.
5. Finalmente, os alunos aplicam as ideias que estabeleceram para resolver problemas do mundo real, por exemplo, com uma aplicação tecnológica.

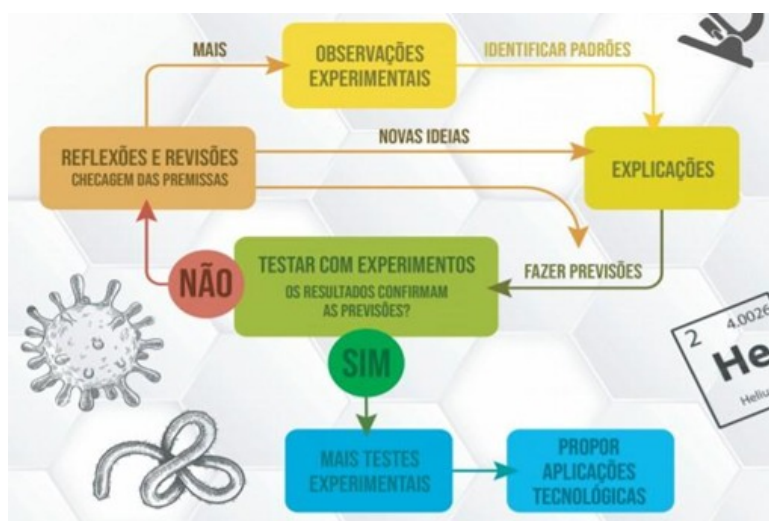


Figura 4: Ciclo ou diagrama de bloco do ISLE, que é centrado em uma observação ou uma experimentação.
 Fonte: Oliveira, 2022

Na Primeira Etapa, o professor apresenta aos estudantes os materiais e o seu uso. Explica o que é uma bomba de vácuo pneumática, como liga e desliga, mostra a ventosas PET com e sem válvula, demonstra como se usa o dinamômetro e o medidor de pressão. Enfim, um momento de contextualização prática com os materiais e equipamentos que serão usados. Com esses diálogos, o passo inicial para se criar as situações-problema, aqui leia-se também por situações-problema os experimentos que serão observados ou ainda, do ponto de vista da teoria da aprendizagem significativa (Ausubel e Moreira, 2011) pode-se falar no momento de criação de subsunçores. O termo criação de subsunçores é usado no sentido de que a experimentação, aqui no caso experimentações assistidas e guiadas pelo professor, levarão os aprendizes a criar conhecimentos específicos. Isso será introduzido na estrutura do pensamento do indivíduo, que permitirá dar significado a um novo conhecimento que lhe é apresentado ou por ele descoberto.

No primeiro momento da segunda etapa, fazem-se experimentos qualitativos, isto é, sem medidas das grandezas envolvidas. A primeira experiência é sensitiva, inicia-se com as perguntas O que é vácuo? e Como se pode sentir o vácuo?. Liga-se à minibomba de vácuo, conectada à mangueira de saída do vácuo dessa bomba na ventosa PET, com válvula, e se aproxima do braço de um dos alunos. Nesse instante ocorrerá uma sucção e parte da pele é puxada para dentro da ventosa, às vezes, até sente-se um pouco de dor causada pelo puxão (veja a Figura 05 (a)). Este é o primeiro sentimento que fará conexão com a memória e a experimentação sobre o que é vácuo, podendo-se ainda colocar essa ventosa em outras partes do corpo, partes mais sensíveis, por exemplo, a bochecha.

Para se demonstrar a força do vácuo se junta à outra ventosa e reproduz-se (Figura 05 (b.1)), em miniescala, o experimento realizado por Guericke, em 1654, chamado de hemisférios de Magdeburgo (vide vídeo e texto da introdução para consulta bibliográfica). Solicita-se ao aprendiz que separe as ventosas (Figura 05 (b.2) e (b.3)) para se introduzir o conceito de força ou ainda se pergunta como explicar a razão disso ocorrer, isto é, como as ventosas colam-se? Como modelar, teorizar, para explicar este fenômeno?

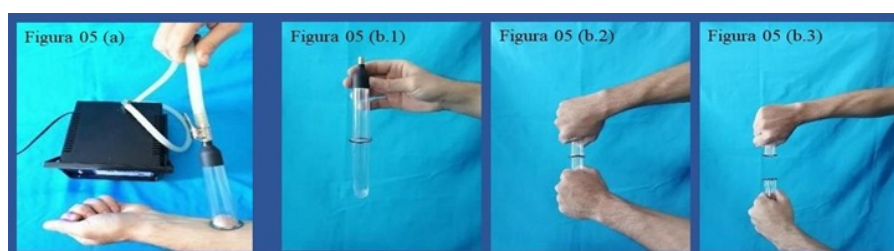


Figura 5: Na Figura (a) observa-se a minibomba de vácuo, a Mangueira e a ventosa PET com válvula, essa última fazendo-se sucção no braço do aprendiz. Nas Figuras (b.1), (b.2) e (b.3) vemos a sequência onde as ventosas foram unidas, coladas, pela sucção da minibomba e em seguida separadas pelas mãos do aprendiz. Fonte: os autores

Outro experimento, ainda no primeiro momento da segunda etapa, é feito com garrafas tipo PET, de água mineral e refrigerante. O uso destes dois tipos de garrafa, pois na garrafa de água mineral a parede do plástico é mais fina do que a garrafa de refrigerante, e assim pode-se observar sucções distintas. Liga-se a minibomba em uma garrafa e a Tampa PET com válvula. Observa-se o que ocorre com o formato dessa garrafa, ouve-se

também o barulho desse plástico sendo contorcido devido à forte sucção e, por fim, seu achatamento entre as suas próprias paredes. Então é motivante olhar e ouvir ao mesmo tempo esse experimento, para a memória do experimento isso é bastante significativo e de fácil realização e visualização na própria sala de aula (Figura 06).



Figura 6: Fotografia de uma garrafa PET conectada à minibomba de vácuo já completamente sugada e com as paredes do plástico bem juntas. Fonte: os autores

Novos experimentos podem ser realizados agora com uso de uma Cápsula plástica, por exemplo, sucção de sabão dentro de uma minigarrafa, miniexplosão de bexigas dentro dessa cápsula, entre outros, aqui deixamos o link ³ da sequência didática (antigo roteiro). Essa sequência didática será usada em turmas do segundo ano do ensino médio como parte do trabalho de dissertação de mestrado a ser defendido no Programa de Mestrado Nacional Profissional de Ensino em Física (MNPEF) Polo 51 da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN).

Agora, no segundo momento da segunda etapa, apresentamos dois experimentos quantitativos, onde medimos duas grandezas físicas, força e pressão. Para medir força usamos uma balança de dedo, que é formada por uma mola e uma escala. Enfim, um dinamômetro calibrado em quilogramas, que pode ser facilmente ajustado para medida força, em unidades do Sistema Internacional (SI), que é o newton (N). Para tanto, basta multiplicar o valor visualizado na escala por dez (10,0), este é o valor prático, que se usa no cotidiano, para a aceleração gravitacional da Terra. Para uma visualização de prática experimental do uso de dinamômetros e as leis de Newton, veja no link ⁴ da internet.

A medida de pressão será feita com um medidor de pressão por diafragma. A ideia do funcionamento deste experimento está bem ilustrada em uma animação no link ⁵, que mostra o movimento de uma membrada e o movimento de um ponteiro. A escala desse medidor está em medida da pressão relativa, isto é, a subtração da pressão absoluta da pressão ambiente, de forma que para valores positivos da pressão relativa indicam pressão maiores que a pressão ambiente, ou também chamada de pressão atmosférica; valores

³https://fractal.ind.br/pdfs/Exp_F08_Maravilhoso_Vacuofinal.pdf.

⁴https://fractal.ind.br/pdfs/Exp_F01_Leis_de_Newton.pdf.

⁵<http://users.telenet.be/instrumentatie/pressure/diaphragm-pressure-gauge.html>

negativos indicam vácuo. O medidor usado aqui tem escala de 0,0 (zero) até 100 kPa (menos cem quilopascal).

Para a medida de força, usa-se a tampa PET com alça, (Figura 07), que mostra o dinamômetro (balança de dedo) acoplada a tampa PET junta com a ventosa PET evacuada. Nos experimentos realizados, o valor medido foi em torno de 5,0 kg, que foi visualizado, fazendo-se um vídeo no modo câmera lenta, com a câmera de um celular. Ajustando-o para fornecer o valor da medida em newtons, teremos cerca de 50,0 N.

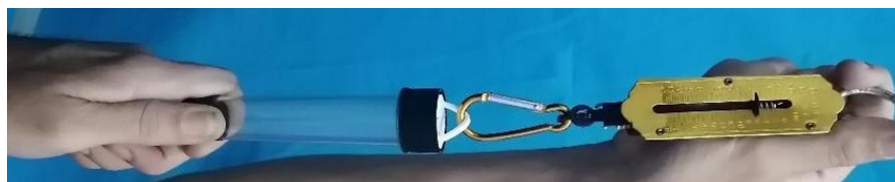


Figura 7: Fotografia do conjunto, ventosa PET, tampa PET e dinamômetro. Fonte: os autores

As medidas de pressão são feitas diretamente no medidor de pressão, no qual foi acoplada uma válvula para conexão diretamente na mangueira de saída da minibomba. O valor medido é de 85,0 kPa, quase vencendo totalmente a pressão atmosférica que é de 100 kPa. Outra medida pode ser executada é quando se desconecta rapidamente a mangueira do medidor, o valor fica em torno de 50,0 kPa. A minibomba e o medidor de pressão usados pode ser visto na Figura 08.



Figura 8: Fotografia do conjunto, ventosa PET, tampa PET e dinamômetro. Fonte: os autores

Durante terceira etapa da sequencia didática, quando se usa o ciclo ISLE refere-se à aplicação dos conhecimentos adquiridos, podemos iniciar com a pergunta comum, Que tipo de equipamentos residências vocês conhecem que usam sucção, ou vácuo? Talvez muitos respondam o aspirador de pó e pouquíssimos o uso para preservação de alimentos,

entretanto precisamos deixar claro que essas são apenas algumas das aplicações do conceito de vácuo, nesse momento o condutor da aula deve apresentar outras diversas aplicações.

Uma das aplicações das aplicações que pode ser explorada é o uso nas cozinhas, seja residencial ou comercial, que consiste no armazenamento em sacos plásticos por vácuo na preservação de alimentos. Usa-se agora o Saco tipo ZipLock com válvula que vem dentro do caixote com os demais materiais. Este tipo de saco é usado para se guardar alimentos e com simples bombas de sucção, muitas delas até bombas manuais, faz-se vácuo dentro do saco.

Para a realização prática, introduz-se a ventosa com válvula na posição azul do saco, que é uma válvula plástica de um único sentido de saída do ar. Observa-se que após ligar a mini-bomba o saco começa a evacuar-se e retirar todo ar de dentro desse. Pode-se aqui perguntar aos alunos quais as vantagens e a necessidade de se fazer esse vácuo para armazenamento dos alimentos. Claro, para esse ponto ser mais interessante é importante que o estudante já possua algum conhecimento sobre bactérias e micro-organismos como o subsunçor, mesmo que esses possam estar no ar atmosférico, ainda podem contaminar o alimento e prejudicar a preservação, para se ter ideias de como responder esse questionamento.

Para avaliar qualitativamente e quantitativamente esse produto educacional os kits experimentais e a sequência didática foram aplicados via questionários de pré-teste e pós-teste em uma turma de segundo ano de uma escolar da rede estadual no Rio Grande do Norte como parte integrante do texto da dissertação (CANDREVA, 2023). Claramente como evidenciado na Figura 09, o percentual de acerto das questões dos alunos antes e depois do uso desse produto educacional foi aumentado, o que evidencia uma aprendizagem significativa com alto grau de participação dos estudantes na atividade prática. Na referida dissertação há outros gráficos, fotografias, análises e discussões que demonstram com mais clareza o potencial de aplicação desse produto educacional.

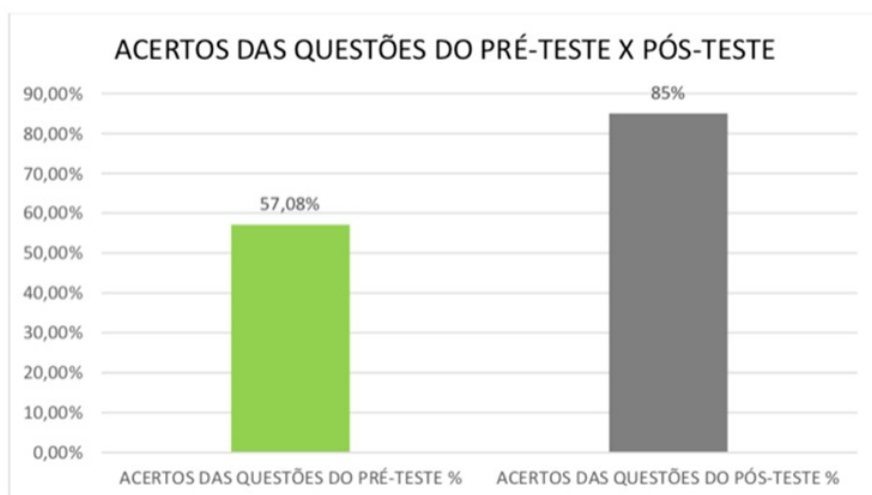


Figura 9: Gráfico de acertos das questões do pré-teste versus pós-teste. Fonte: os autores

V. CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS

Apresentamos uma sequência didática com experimentos portáteis, sob vácuo usando a metodologia ISLE que segue três momentos pedagógicos, analogamente à teoria da

aprendizagem de Delizoicov (DELIZOICOV e ANGOTTI, 1990), onde inicialmente o objetivo é apresentar aos aprendizes o conhecimento de forma prática e dinâmica. Todos os materiais podem ser colocados dentro de um pequeno caixote do tamanho de um livro, tornando todas as realizações portáteis, inclusive, com a prática podendo ser realizada na cadeira do aluno na própria sala de aula, sem a necessidade de uma grande infraestrutura laboratorial. Isto fortalece o protagonismo do estudante na aprendizagem, pois o mesmo poderá realizar todas as práticas experimentais sozinho ou em pequeno grupo, assim como é um dos objetivos das modernas teorias da aprendizagem, inclusive, um dos pontos-chave da nossa BNCC.

Detalhamos ainda como se realizam os diversos experimentos sobre vácuo, qualitativos e quantitativos, com uma minibomba de vácuo com diafragma que não ejeta gases nocivos e pode ser usada na própria sala de aula em ambiente fechado. Nas realizações práticas é nítido o uso de vários sentidos do corpo humano, tais como visão, audição e tato.

Todos os materiais aqui apresentados podem ser adaptados e usados em diversos outros experimentos de Física, Química ou Biologia, pois essa minibomba pode ser usada em ambientes com líquidos ou espécimes biológicos. Experimentos do tipo, observar reações químicas, comportamento de plantas, comportamento de pequenos animais sobre ação do vácuo podem trazer novos e inusitados resultados. Este trabalho é fruto das investigações acadêmicas experimentais de uma dissertação de mestrado do Programa de Mestrado Nacional Profissional de Ensino em Física, Polo 51 da Universidade Federal do Rio Grande do Norte. A montagem dos primeiros protótipos contou com recursos dos próprios autores e também de recursos aprovados pelo CNPq enquanto agência de fomento à pesquisa do Brasil.

REFERÊNCIAS

ANTUNES, Celso; Novas maneiras de ensinar, novas maneiras de aprender. Porto Alegre: Artmed, 2002. p. 50-57.

AUSUBEL, D.P. A aprendizagem significativa: a teoria de David Ausubel. São Paulo: Moraes, 1982.

BORGES, Antônio Tarciso. Novos rumos para o laboratório escolar de ciências. Caderno Brasileiro de ensino de Física, v. 19, n. 3, p. 291-313, 2002.

CANDREVA, R. S., Experimentos Portáteis para Aula sobre Vácuo, Dissertação de Mestrado, MNPEF-51, UFRN, Natal/RN (2023). Dissertação a ser apresentada no final de janeiro de 2023.

DELIZOICOV, D; ANGOTTI, J. A. Metodologia do ensino de ciências. São Paulo: Cortez, 1990.

ETKINA, E. Millikan award lecture: Students of physics Listeners, observers, or collaborative participants in physics scientific practices? *American Journal of Physics*, 83(8), 669-679. 2015.

ETKINA, E. & Van Heuvelen, A. Investigative Science Learning Environment - A Science Process Approach to Learning Physics, in E. F. Redish and P. Cooney, (Eds.), *Research Based Reform of University Physics*, (AAPT), 2007. <http://per-central.org/per_reviews/media/volume1/ISLE-2007.pdf> <<https://aapt.scitation.org/doi/abs/10.1119/1.4923432>>

GAMA, S. *Introdução à Ciência e Tecnologia de vácuo*. Campinas SP: Instituto de Física Gleb Wataghin Universidade de Campinas SP, Agosto 2002

GUERICKE, O. *Encyclopædia Britannica*, 11th Edition. 9. 1910. p. 670

MARQUARDT, N. *Introduction to the Principles of Vacuum Physics*. Institute for Accelerator Physics and Synchrotron Radiation. Dortmund, 1999.

MARTINS, R. A. Em busca do nada, considerações sobre os argumentos a favor do vácuo ou do éter. *Trans/Form/Ação*. São Paulo, 16: 7-2, 1993.

MARTINS, R. A. As concepções grega e moderna sobre o vácuo. Unisinos/IHU on-line. 2006. Disponível em: <<http://www.ihuonline.unisinos.br/artigo/484-roberto-de-andrade-martins>>. Acesso em: 22/09/2021.

MOREIRA M.A. *Teorias de Aprendizagem*. 2 ed. São Paulo: Editora Pedagógica e Universitária Ltda., 2011. 242p. 2011.

NARDI, R; LONGUINI, M.D. Origens históricas e considerações acerca do conceito de pressão atmosférica. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, UFSC, Florianópolis, vol. 19, n.1, p.67-78, abril, (2002).

OLIVEIRA, G. G., et al, Experimentos portáteis para aula sobre indução eletromagnética, geradores e motores. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, vol.. (44) e20210388 (2022) <<https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2021-0388>>.

SILVA, D. M. A natureza tem horror ao vácuo? Uma reflexão sobre o estabelecimento do peso do ar e a definição de pressão atmosférica. 2013. 51 f. Monografia (Graduação) - Curso de Física, Centro de Ciências Exatas, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2013.

SILVA, L. S. Experimentos didáticos utilizando um sistema de obtenção de vácuo. 2018. 68 f. Monografia (Graduação) - Curso de Física, Departamento de Ciências, Exatas, Biológicas e da Terra, Universidade Federal Fluminense, Santo Antônio de Pádua, (2018).

STEMPNIAK, R. *A Ciência e tecnologia do vácuo: resumo histórico e algumas aplicações*. São José dos Campos SP: Sociedade Brasileira de Vácuo SP, 2002.

YOSHIMURA N. Vacuum Technology. Springer Nature, B.V., 2007.

UMRATH, W. Fundamentals of Vacuum Technology, Leybold Vacuum GmbH, 1998.