



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CATALÃO**  
**INSTITUTO DE FÍSICA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MESTRADO**  
**NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA**

**Bruna Lays Felix**

**A arte de experimentar: Física no Palco**

Catalão - GO  
2024



## UNIVERSIDADE FEDERAL DE CATALÃO

### INSTITUTO DE FÍSICA

Av. Dr. Lamartine Pinto de Avelar, número 1120, - Bairro Setor Universitário, Catalão/GO, CEP 75704-020  
Telefone: - - <https://www.ufcat.edu.br>

#### TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO (TECA)

#### **TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO (TECA) PARA DISPONIBILIZAR VERSÕES ELETRÔNICAS DE TESES E DISSERTAÇÕES NA BIBLIOTECA DIGITAL DE TESES E DISSERTAÇÕES DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE CATALÃO (UFCAT)**

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Catalão (UFCAT) a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UFCAT), sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a Lei 9.610/98, o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou download, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

O conteúdo das Teses e Dissertações disponibilizado na BDTD/UFCAT é de responsabilidade exclusiva do autor. Ao encaminhar o produto final, o(a) autor(a) e o(a) orientador(a) Ao encaminhar o produto final, o autor(a) e o(a) orientador(a) firmam o compromisso de que o trabalho não contém nenhuma violação de quaisquer direitos autorais ou outro direito de terceiros.

#### 1. Identificação do material bibliográfico

Dissertação

#### 2. Nome completo do autor:

BRUNA LAYS FELIX

#### 3. Título do trabalho

A arte de experimentar: Física no palco

#### 4. Informações de acesso ao documento (este campo deve ser preenchido pelo orientador)

Concorda com a liberação total do documento: [ X ] SIM [ ] NÃO'

[\*] Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. Após esse período, a possível disponibilização ocorrerá apenas mediante:

a) consulta ao(à) autor(a) e ao(à) orientador(a);

b) novo Termo de Ciência e de Autorização (TECA) assinado e inserido no arquivo da tese ou dissertação.

**O documento não será disponibilizado durante o período de embargo.**

Casos de embargo:

- Solicitação de registro de patente;
- Submissão de artigo em revista científica;
- Publicação como capítulo de livro;
- Publicação da dissertação/tese em livro.

**Obs.: Este termo deverá ser assinado no SEI pelo orientador e pelo autor**



Documento assinado eletronicamente por **Bruna Lays Felix, Usuário Externo**, em 08/03/2024, às 09:43, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **MARCIONILIO TELES DE OLIVEIRA SILVA, Orientador(a)**, em 08/03/2024, às 13:54, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://sei.ufcat.edu.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://sei.ufcat.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **0047428** e o código CRC **85A50B8B**.

**BRUNA LAYS FELIX**

**A arte de experimentar: Física no Palco**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós- Graduação em Ensino de Física no Curso de Mestrado Nacional Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestra em Ensino de Física.

**Orientadores:**

**Professor Doutor Marcionilio Teles de Oliveira**

**Professora Doutora Ana Rita Pereira  
(*IN MEMORIAN*)**

Catalão - GO  
2024

**Ficha de identificação da obra feita pela bibliotecária-documentalista  
Anna Karollina Santos / CRB-1 3545**

F316a Felix, Bruna Lays.  
A arte de experimentar [manuscrito] : Física no Palco / Bruna Lays  
Felix. – 2024.  
84 f.

Orientador: Prof. Dr. Marcionilio Teles de Oliveira; co-orientadora  
Profa. Dra. Ana Rita Pereira.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Catalão, Instituto  
de Física, Catalão, Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física em  
Rede, Catalão, 2024.

1. Ensino de Física. 2. Experimentação. 3. Física no Palco. 4.  
Aprendizagem significativa. I. Oliveira, Marcionilio Teles de, orient. II.  
Título.

CDU: 53



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS  
UNIDADE ACADÊMICA ESPECIAL DE FÍSICA  
**ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO**

Ata nº 04 da sessão de Defesa da Dissertação de **BRUNA LAYS FELIX**, que confere o título de Mestre em Ensino de Física, na área de concentração em Física na Educação Básica.

Aos **dezessete dias de maio de dois mil e vinte três**, a partir das **09:00**, em sala virtual, realizou-se a sessão pública de Defesa da Dissertação intitulada **"A Arte de Experimentar: Física no Palco"** nas dependências da Universidade Federal de Catalão, onde os programas de pós-graduação stricto sensu em funcionamento encontram-se provisoriamente vinculados à Universidade Federal de Goiás, em virtude de procedimentos técnicos relacionados à CAPES, já sendo realizada a transferência da Biblioteca Digital de Dissertações e Teses (BDTD). Assim, justifica-se os nomes das instituições neste documento, uma no cabeçalho (UFG), outra no corpo do texto (UFCAT). Os trabalhos foram instalados pelo Orientador, Professor Doutor **MARCIONILIO TELES DE OLIVEIRA SILVA - IF/UFCAT** com a participação dos demais membros da Banca Examinadora: Professor Doutor **DENIS REZENDE DE JESUS - IF/UFCAT**, membro titular interno; Professor Doutor **WYTLER CORDEIRO DOS SANTOS - IF/UnB**, membro titular externo. Durante a arguição, os membros da banca não houve sugestão de alteração do título do trabalho. A Banca Examinadora reuniu-se em sessão secreta a fim de concluir o julgamento da Dissertação, tendo sido a candidata aprovada pelos seus membros. Proclamados os resultados pelo Professor Doutor **MARCIONILIO TELES DE OLIVEIRA SILVA**, Presidente da Banca Examinadora, foram encerrados os trabalhos e, para constar, lavrou-se a presente ata que é assinada pelos Membros da Banca Examinadora, aos **dezessete dias de maio de dois mil e vinte três**.

TÍTULO SUGERIDO PELA BANCA



Documento assinado eletronicamente por **Marcionilio Teles De Oliveira Silva, Orientador**, em 20/05/2023, às 16:25, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



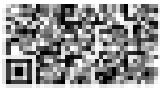
Documento assinado eletronicamente por **Denis Rezende De Jesus, Professor do Magistério Superior**, em 22/05/2023, às 15:36, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Wytler Cordeiro dos Santos, Usuário Externo**, em 23/05/2023, às 09:48, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://sei.ufg.br/sei/controlador\\_externo.php?](https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?)



[acao=documento\\_conferir?id\\_orcao\\_acesso\\_externo=0](#), informando o código verificador **3764779** e o código CRC **33E0D046**.

---

Referência: Processo nº 23070.026792/2023-19

SEI nº 3764779

**A arte de experimentar: Física no Palco**

**Bruna Lays Felix**

**Orientadores:**

**Prof. Dr. Marcionilio Teles de Oliveira**

**Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Ana Rita Pereira (*IN MEMORIAN*)**

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física no Curso de Mestrado Nacional Profissional de Ensino de Física (MNPEF) do Instituto de Física da Universidade Federal de Catalão, Polo Catalão, GO, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestra em Ensino de Física.

Aprovada por:

---

Prof. Dr. Denis Rezende de Jesus

---

Prof. Dr. Domingos Lopes da Silva Jr

---

Prof. Dr. Wytler Cordeiro dos Santos

Catalão - GO  
Abril de 2023

“Dedico este trabalho a minha mãe Ana Maria Felix, minha maior incentivadora, de quem recebi total apoio e a minha orientadora, professora, amiga Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Ana Rita Pereira, IN MEMORIAN.”

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a minha família, por todo o carinho e amor dedicado a mim;

Agradeço a minha mãe Ana Maria Felix por toda uma vida de dedicação, orientando-me e me mostrando que o caminho do sucesso e da realização profissional é através da Educação;

Agradeço a minha Orientadora, Professora Dr<sup>a</sup>. Ana Rita Pereira (IN MEMORIAN), por quem passei a ter admiração e respeito. Por toda sua dedicação e orientação, contribuindo para minha formação acadêmica e profissional;

Agradeço aos professores do MNPEF, que contribuíram para minha formação;

Agradeço aos meus colegas, pela amizade, troca de experiências ao longo do curso;

Agradeço à equipe diretiva da Unidade Integrada SESI SENAI, e supervisão escolar, pelo apoio, carinho e amizade transmitidos a mim durante esse período de estudo.

Agradeço aos alunos que participaram com toda dedicação durante a aplicação deste trabalho, mesmo durante o período controverso que passamos.

Agradeço também à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e à Sociedade Brasileira de Física (SBF) pelo apoio e promoção do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF).

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES - Código de Financiamento 001.)

## RESUMO

### **A arte de experimentar: Relato de Experiência Física no Palco**

**Bruna Lays Felix**

**Orientadores:**

**Prof. Dr. Marcionilio Teles de Oliveira**

**Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Ana Rita Pereira (IN MEMORIAN)**

**Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física no Curso de Mestrado Nacional Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.**

Pesquisadores da área de Ensino de Ciências vêm amplamente discutindo a importância e a relevância da utilização de experimentos como instrumentos pedagógicos para abordagens de conteúdos de forma dialógica e que permita uma interação entre o professor e o aluno, despertando, assim, nos alunos o interesse pela Ciência, especialmente pela Física. Como parte de uma pesquisa de mestrado com foco na experimentação, o propósito deste trabalho é explorar a aplicação dos experimentos do Show Física no Palco em sala de aula, ou seja, após os alunos terem assistido o show, o professor regente, obedecendo o material didático da escola, aborda o conteúdo partindo da experiência do estudante durante a apresentação do show e vai de encontro com o conteúdo do material didático, tendo assim uma melhora no interesse da aula e na compreensão do conteúdo. Para validação do produto educacional, foram feitos comparativos de notas bimestrais de alunos do ano de 2018, os mesmos expostos a aulas tradicionais e 2019 com os mesmos alunos após terem participado do show e o professor regente trazer a memória aquele experimento e assim explicar o conceito envolvido no mesmo durante as aulas. Ao fazer isso notou-se uma melhora percentual nas notas bimestrais dos alunos que passaram por esse processo. Comprovando assim, que utilizar a memória dos experimentos do Show Física no Palco nas aulas, melhora o processo ensino aprendizagem e o interesse dos alunos pela disciplina.

Palavras-chave: Ensino de Física, experimentação, Física no Palco, aprendizagem significativa.

Catalão - GO

Abril de 2023

**ABSTRACT**  
**The Art of Experimenting: Physics on Stage**  
**Bruna Lays Felix**

Advisors:  
Prof. Dr. Marcionilio Teles de Oliveira  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Ana Rita Pereira (*IN MEMORY*)

**Master's dissertation submitted to the Graduate Program in Physics Teaching in the National Professional Master's Course in Physics Teaching (MNPEF), as part of the necessary requirements to obtain the title of Master's in Physics Teaching.**

Researchers in the area of Science Teaching have been widely discussing the importance and relevance of using experiments as pedagogical tools for approaching content in a dialogical way that allows interaction between teacher and student, thus awakening in students an interest in the subject. Science, especially physics. As part of a master's research focused on experimentation, the purpose of this work is to explore the application of the Show Física no Palco experiments in the classroom, that is, after the students have watched the show, the conducting teacher, obeying the material didactic of the school, approaches the content starting from the student's experience during the presentation of the show and goes against the content of the didactic material, thus having an improvement in the interest of the class and in the understanding of the content. For validation of the educational product, comparisons were made of bimonthly grades of students from the year 2018, the same ones exposed to traditional classes and 2019 with the same students after having participated in the show and the regent teacher bringing the memory of that experiment and thus explaining the concept involved in it during classes. By doing so, a percentage improvement was noted in the bimonthly grades of students who went through this process. Thus proving that using the memory of the experiments from Show Física no Palco in classes improves the teaching-learning process and the students' interest in the subject.

Keywords: Physics education, experimentation, Physics on Stage, meaningful learning.

## Sumário

Capítulo 1 Introdução.....	9
Capítulo 2 Referencial teórico.....	12
2.1 Paulo Freire e a prática experimental na sala de aula.....	15
Capítulo 3 Experimentos e seus respectivos conceitos.....	18
3.1 Equilíbrio Humano e aplicações das Leis de Newton.....	19
3.2 Giroscópio, os halteres e a roda: Princípio da conservação da quantidade de movimento angular.....	21
3.3 Satélite e a Gravidade.....	26
3.4 Cama de prego, Banco de pressão e Galão de pressão.....	28
3.4.1 Cama de prego.....	26
3.4.2 Banco de Pressão.....	29
3.4.3 Galão de Pressão.....	30
3.5 Canhão de vórtice e os fluídos.....	32
3.6 Tornado de Fogo: Mecanismo de transferência de calor.....	36
3.7 Chamas dançante e as ondas sonoras.....	38
Capítulo 4 Informações sobre a escola onde o produto foi aplicado.....	42
Capítulo 5 Procedimentos Metodológicos.....	43
Capítulo 6 Resultados e discussões.....	46
Capítulo 7 Considerações Finais .....	51
Referências Bibliográficas.....	53
Apêndice A Produto Educacional.....	55

# Capítulo 1

## Introdução

Como docente da disciplina de Física do Ensino Médio, foi possível perceber a complexidade da aprendizagem de forma efetiva que os estudantes apresentam referentes ao conteúdo desta disciplina, onde o resultado é o baixo desempenho acadêmico.

Perguntas referentes ao processo de ensino-aprendizagem em Física, especialmente em nível médio, tem sido abordada em várias pesquisas nas últimas décadas, as quais tem reconhecido várias causas para tal situação, onde se destaca o quantitativo de estudantes por turma, escassez de professores habilitados para ministrarem a disciplina e a quase inexistência de laboratórios para o desenvolvimento de atividades práticas/experimentais.

A Física é considerada tradicionalmente pelos professores uma disciplina difícil de ser explicada e é comum os estudantes apresentarem dificuldades de aprendizado neste conteúdo. Com isso, faz-se necessário inserir novos métodos de ensino para motivar e aumentar o interesse dos estudantes por esta disciplina.

É trivial os professores de Física alegar que as aulas têm assumido a condição de preparação para a resolução de questões do ENEM, e isto tem sido demonstrado ao observamos o uso excessivo de livros, ricos em questões preparatórias para as provas, que predominam a memorização e soluções algébricas, o que tem acarretado sérias críticas ao ensino.

Com a falta de motivação e dificuldades de aprendizagem dos conteúdos de Física, a carga horária desta disciplina foi reduzida, o que ocasionou outro problema, que é a quantidade de conteúdos que consiste nos livros didáticos. E, com apenas duas aulas por semana, o docente tem a necessidade de selecionar quais conteúdos que serão abordados diante da complexidade dessas obras, onde muitas vezes, percorre temas desconexos, simplesmente porque é necessário contemplar todos os itens do livro.

Com isso em mente, esse trabalho foi desenvolvido com o objetivo de superar partes destas dificuldades até aqui expostas. Busca-se avaliar o uso de atividades experimentais em sala de aula, permitindo, assim, uma aprendizagem significativa por parte dos estudantes nesse nível de ensino.

Com este estudo, procurou-se promover a aproximação prática/teoria no ensino de Física a nível médio, tendo como objetivo aprimorar a compreensão dos conceitos científicos e estimular o interesse pelo trabalho experimental no ensino de Física, bem como o desenvolvimento das competências necessárias para a realização dessa atividade.

De acordo com Thomaz (2000), existem muitos pesquisadores defendendo que a experimentação é uma das ferramentas para oportunizar o desenvolvimento dos estudantes. Alega, também, que para os estudantes estarem motivados a desenvolverem os trabalhos experimentais, é necessário que a atividade experimental seja constituída por um desafio, um problema ou uma questão que o estudante tenha interesse em resolver, ou seja, ele deve estar motivado a encontrar a solução.

O desenvolvimento de atividades experimentais pode ser uma alternativa de mudança dos modelos de aulas tradicionais, para a construção de formas alternativas de ensinar Física. Com a inclusão de experimentos em sala de aula, estaremos frente a um novo comportamento dos estudantes: mais participativos e interessados.

PINHO-ALVES (2000) comenta que a proximidade entre a linguagem científica, as teorias, o conhecimento, ou “senso-comum” do estudante no processo de experimentação, ocasionam o ensino de Física mais eficiente e mais próximo da realidade do estudante.

Neste trabalho, os estudantes foram convidados a participar da apresentação “Física no Placo”, desenvolvido pelos alunos de graduação do curso de Licenciatura em Física, da UFG (Universidade Federal de Goiás), agora Universidade Federal de Catalão, que criaram o grupo de teatro “Física no Palco”, um projeto ligado a Experimentoteca de Física, coordenado pela Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Ana Rita Pereira, *in memorian*. O Física no Palco é um show interativo, que faz uma mistura de Ciência e Arte, e que apresenta diversos experimentos ligados a Física. O mesmo tem como objetivo misturar o entretenimento com o ensino e, desta forma, o público aprende enquanto se diverte. Alguns autores defendem essa proposta, de ligarmos as emoções com o que aprendemos, e isso se torna mais fácil e satisfatório o processo de ensino-aprendizagem (MIURA, 2007). No entanto, (FERRACIOLI, 2006) alerta que atividades desse modelo devem ser direcionadas pela promoção da aprendizagem de qualidade e devidamente planejadas para que a dimensão do entretenimento não supere o objetivo principal. Segundo Miura

(MIURA, 2007), este conceito vem se consolidando em todo o mundo, comprovando os estudos que defendem que, quando o ser humano está relaxado e despreocupado, está mais propenso em absorver uma mensagem. Para complementar essa questão, Vygotsky estabelece que:

“As reações emocionais exercem a influência mais substancial sobre todas as formas do nosso comportamento e os momentos do processo educativo. Queremos atingir uma melhor memorização por parte dos alunos ou um *trabalho melhor sucedido do pensamento, seja como for* devemos nos preocupar com que tanto uma como outra atividade seja estimulada emocionalmente. A experiência e estudos mostraram que o fato emocionalmente colorido é lembrado com mais intensidade e solidez do que um fato indiferente. Sempre que comunicamos alguma coisa a algum aluno devemos procurar atingir o seu sentimento. Isso se faz necessário não só como meio para melhor memorização e apreensão, mas também como objetivo em si” (Vygotsky apud Gaspar, 2007, p. 73).

Após os alunos participarem do show Física no Placo, no momento oportuno do conteúdo é abordado os conceitos dos experimentos, levando-os a reviverem o momento da apresentação, tornando o conteúdo mais interessante e promovendo assim uma aprendizagem significativa.

Com o intuito de promover um ensino mais dinâmico, é de aprovação entre os docentes de Física que a atividade experimental atrai os estudantes. O estudo aqui trabalhado é decorrente dessa evidência e tem por objetivo modificar a dinâmica da sala de aula, adotando experimentos que foram apresentados ao longo do show “Física no Palco”, com a função de envolver os estudantes e promover uma maior participação em sala e, dessa forma, facilitar a aprendizagem significativa dos conteúdos em questão. Assim, foi aplicado um questionário para identificar e verificar a intensidade dos sentimentos que afloraram no decorrer da apresentação do show e, como instrumento de avaliação e análise do produto educacional, foi feito um comparativo das médias bimestrais de cada turma, comparando os valores do ano de 2018, onde os alunos foram expostos a aulas tradicionais sem experimentação, com o ano de 2019, onde os alunos tiveram aulas, relembando os experimentos do Física no Palco, no qual assistiram ao show no primeiro mês do ano de 2019.

## Capítulo 2

### Referencial Teórico

A Física é a ciência que estuda os fenômenos que ocorrem de forma natural no planeta e no universo. Pode -se dizer que a Física no início se deu por meio da Astronomia com a observação do movimento das estrelas e dos planetas que levaram à revolução copernicana, aos estudos de Galileu e de Newton. Logo após, a evolução da mecânica continuou sendo influenciada pela Astronomia, mas a Física seguiu seu próprio caminho. De acordo com Hamburger (1992), as contribuições de Galileu à Física foram bem maiores do que as feitas por Kepler e Copérnico. Enquanto estes se dedicaram ao estudo dos movimentos dos astros do céu, Galileu fez uso de métodos de raciocínio e de comparação, que, adicionados à matemática, foram úteis no estudo dos movimentos dos corpos na Terra e as suas características. Assim, pela primeira vez o método científico surgiu, e é utilizado até os dias atuais. No começo do século XVI, com Galileu Galilei (1564 – 1642), tivemos a presença da experimentação e levantamento de dados para admitir a conclusão da relação entre as variáveis estudadas, propondo, assim, uma lei a partir dos dados experimentais. Com isso, surgiu o método científico, e a observação dos fenômenos seguiria obrigatoriamente uma linha sistematizada e metódica, orientada pela dedução experimental. Assim, evidenciamos que, desde o surgimento da Física, a experimentação teve um destaque e importância crucial para o desenvolvimento dos conceitos que hoje conhecemos.

Nos dias de hoje, o Ensino de Física da forma como é colocado nos livros didáticos e, conseqüentemente, a forma como os conteúdos são aplicados em sala de aula pelo docente, está muito longe de ser o desejável. Esse problema não é recente, e tem sido estudado por muitos grupos de pesquisadores, que buscam compreender as suas causas e suas conseqüências.

As Diretrizes Curriculares encaminham o docente a utilizar o livro didático de maneira consciente, e propõe que o ensino seja contextualizado. Na proposta do documento, a utilização de fórmulas deve ser feita moderadamente, evitando a memorização delas. Desse modo, o livro didático serve como uma ferramenta de auxílio pedagógico a disposição do docente, onde ele tem total controle do conteúdo proposto e, assim, pode incentivar o estudante a elaborar hipóteses além daquelas apresentadas nas questões propostas.

Araújo e Abib (2003), ao realizarem um estudo sobre a utilização de experimentação como estratégia no ensino de Física, classificaram as atividades em três grupos: demonstração, verificação e investigação; os quais podem ser utilizados quando houver um experimento. Na visão dos autores, tais abordagens podem ser utilizadas em qualquer atividade experimental proposta aos estudantes e com grande chance de sucesso. Os autores alegam que essas atividades podem privilegiar, além de demonstrações, a abordagem histórica, o estudo das potencialidades e limitações da instrumentação, o manuseio por parte dos estudantes do instrumento pesquisado, a realização de atividades de pesquisa por parte dos estudantes e, também, motivar a resolução de problemas que tratem do conteúdo a ser ensinado. Apontam que a utilização de atividades experimentais, como estratégia de ensino na disciplina de Física, é considerado por muitos professores como uma das melhores opções para minimizar as dificuldades no ensino aprendizagem de modo significativo e consistente.

Entende-se assim, que a experimentação, na sua essência, visa mudar o que Charlot (2005) denomina de relação com o saber. Segundo o autor, é a relação do saber com o mundo, com o outro e consigo mesmo, ou seja, as relações de um sujeito em confronto com a necessidade de aprender. Na perspectiva do autor, para estudar a relação com o saber é preciso entender esse sujeito confrontado com a necessidade de aprender e com a presença de “saber” no cotidiano. Entende-se que o saber presente no dia-a-dia é a própria Física. Ele destaca a estrita ligação do desejo, interior ao sujeito, com a relação que o mesmo estabelece com o saber, ou seja, é necessário que o sujeito deseje aprender para ter uma boa relação com o saber. Na perspectiva de Charlot, a relação que o estudante tem com a Física passa necessariamente por uma boa relação com o professor e com os demais estudantes e, conseqüentemente, com ele mesmo. Entende-se assim que a mudança do estudante com a Física pode ocorrer através da atividade experimental, isso porque pode ter uma boa relação com o docente e com os demais estudantes.

Mas, pensando no que o estudante venha aprender de modo efetivo com a atividade experimental, Moreira (2003) diz que a aprendizagem só é significativa a partir do momento em que o estudante entenda e possa explicar o que aparentemente diz ter aprendido:

“Aprendizagem significativa, obviamente, aprendizagem com significado. Mas isso não ajuda muito, é redundante. É preciso entender que a aprendizagem é significativa quando novos conhecimentos (conceitos, ideias, proposições,

modelos, fórmulas) passam a significar algo para o aprendiz, quando ele ou ela é capaz de resolver problemas novos, enfim, quando compreende”. (MOREIRA, 2003, p.2).

Assim como faz Charlot, o autor defende que o fator de máxima relevância para a aprendizagem significativa é que o estudante precisa ter vontade de aprender e apresentar determinação. Em uma atividade experimental, a perspectiva é que se tenha possibilidades para uma aprendizagem significativa dos estudantes. Para Laburú (2006), a motivação dos estudantes para aprender está conectada ao formato da atividade proposta pelo professor. Segundo ele:

“À vista disso, poderíamos questionar se o problema da motivação encontra-se no aluno que não demonstra interesse e ou no professor que não utiliza estratégias eficientes para provocar a motivação. Certamente que uma parte importante da resposta para essa questão está situada numa certa dependência entre estratégias eficientes e a capacidade das mesmas em potencializar a motivação de grande parte dos alunos”. (LABURÚ, 2006, p.384).

No seguimento, Laburú (2006) destaca que é certo que a motivação escolar é algo complexo, que leva em conta vários fatores subjetivos e não se pode mudar o fato de que o estudante é um ser em movimento por motivos e intensidades diferentes nas tarefas ou nas disciplinas que realiza. Assim, entendemos que, para existir motivação para o aprendizado, é necessário que seja ofertado os experimentos estimulantes e que seja lançado desafios no decorrer do processo.

Este desafio é caracterizado pela oferta de uma situação com certa complexidade, em que as habilidades ou conhecimentos dos estudantes sejam provocados, mas num nível intermediário de dificuldade, de forma passível de ser vencido com um esforço razoável empregado.

“A curiosidade manifesta na conduta exploratória é ativada por situações ambíguas, incongruentes, surpreendentes, inesperadas, de novidade, que despertem a atenção dos alunos pelo fato de estarem em desacordo com suas crenças ou conhecimentos anteriores, além de incentivá-los a buscar a informação necessária para sua explicação”. (LABURÚ, 2006, p.392)

Borges (2002) também valorizou a importância das atividades experimentais para o ensino de Física, por acreditar que esse método permite a mobilização do aprendiz, tirando-o da omissão. A riqueza das atividades experimentais proporciona aos estudantes o manuseio de coisas e objetos num exercício de simbolizar ou representar, para se atingir a conexão dos símbolos.

“Outro aspecto a considerar é que uma experiência que permite a manipulação de materiais pelos estudantes ou uma demonstração experimental pelo professor, nem sempre precisa estar associada a um aparato sofisticado”.  
(PARANÁ, 2008, p.74)

Enfim, está claro nas diretrizes que não há necessidade alguma de materiais dispendiosos para que os alunos consigam chegar a uma verdade estabelecida. Isso porque a experimentação será apenas mais um componente dentro da proposta de ensino concentrada no conhecimento.

## **2.1 Paulo Freire e a prática experimental na sala de aula**

O educador Paulo Freire concebeu uma epistemologia inovadora da educação em termos mundiais e foi reconhecido como o Patrono da Educação Brasileira em 2012 (Lei no 12.612, de 13 de abril de 2012) (ROMÃO, 2013). A proposta de Paulo Freire da educação da libertação (ou educação problematizadora) se baseia na indissociabilidade dos contextos e das histórias de vida na formação de sujeitos, que ocorre por meio do diálogo e da relação entre alunos e professores. Freire enfatiza que ambos, professores e alunos, são transformados no processo da ação educativa e aprendem ao mesmo tempo em que ensinam, sendo que o reconhecimento dos contextos e histórias de vida neste diálogo se desdobra em ação emancipadora. A educação problematizadora busca estimular a consciência crítica da realidade e a postura ativa de alunos e professores no processo ensino-aprendizagem, de forma que não haja uma negação ou desvalorização do mundo que os influencia. Sendo assim, a educação é encarada como um ato político, e as relações estabelecidas entre alunos e professores devem ser embasadas em interações de respeito entre sujeitos e cidadãos, de modo a construir conhecimento crítico e centrado na busca pela autonomia. No entanto, Freire ressalta que: “Ninguém é sujeito da autonomia de ninguém” (p.67), uma vez que a autonomia é sempre resultado de um esforço individual que gera o próprio amadurecimento e se constrói nas relações entre seres humanos e, somente nestas interações, ela se consolida (FREIRE, 2005) .

A ideia de que o professor deve transmitir conhecimentos ao aluno e que este deve memorizá-los, internalizá-los e repeti-los mecanicamente é denominada “concepção bancária” da educação, segundo Freire. A concepção bancária parte do pressuposto de que o professor é detentor de conhecimentos legítimos e que o aluno é um mero receptáculo de informações. Neste tipo de relação, existe uma desigualdade importante quanto ao poder e à autonomia, pois o professor é o sujeito da ação, ele

ensina e toma o aluno como um objeto, passivo, receptivo e ingênuo. Além disso, o contexto é desvalorizado, a história de vida dos indivíduos é secundária e a ação educativa é uma forma de opressão e subjugação (FREIRE, 2005).

Em busca da autonomia na educação, Freire preconiza a estratégia da ação-reflexão-ação, utilizando como ferramentas o estímulo à curiosidade, à postura ativa e à experimentação do aluno, fomentando a análise crítica da realidade durante a formação. Na concepção freireana, o professor deve atuar de forma problematizadora, questionadora, mas com postura respeitosa e gentil, desestimulando qualquer forma de discriminação e respeitando a diversidade entre os alunos. Para Freire, como ensinar é uma especificidade humana, ele prioriza a necessidade de o professor saber escutar o educando, sendo o diálogo a sua principal ferramenta de ensino (FREIRE, 2011)

Paulo Freire (2016) com sua concepção educacional dialógico apresenta a atividade experimental em sala de aula como um processo coletivo e colaborativo, de crítica e criatividade. É baseado na formação crítica proposta por Freire que a atividade experimental em sala de aula atingirá o caráter emancipatório da educação através da ação dialógica, recuperando o sentido comunicacional da educação.

Esta relação vertical e unilateral faz com que Paulo Freire não só critique, mas também compare com a educação que ele mesmo chama de libertadora. A educação libertadora propõe que aluno construa seu conhecimento através da investigação, da pesquisa, da discussão e do confronto de ideias. Segundo Freire, “quanto mais criticamente se exerça a capacidade de aprender, tanto mais se constrói e desenvolve o que venho chamando de curiosidade epistemológica” (FREIRE, 2011, p. 27),

O professor precisa saber ouvir o que cada educando apresenta como pré-requisito em relação ao conteúdo a ser desenvolvido em sala de aula, o meio em que o educando está inserido e qual sua vivência em relação a escola, aprendizagem e estudo. Nesse aspecto, Freire (2016, p. 69) cita que “aprender para nós é construir, reconstruir, constatar para mudar, o que se faz sem abertura ao risco e à aventura do espírito” e “a curiosidade como desafio para provocar algum conhecimento provisório de algo” (FREIRE, 2016, p. 87).

É importante que o professor utilize metodologias como recursos didáticos em sala de aula, de forma que os alunos possam aprender e tenham autonomia para isso, visto que Freire (2010) descreve que nenhum educador deve cruzar os braços diante das

fatalidades, mesmo diante da impossibilidade de mudar a sua realidade.

A proposta do estudo é que a inclusão da experimentação explique fenômenos físicos de forma satisfatória, uma vez que se espera que os alunos assimilem o conteúdo teórico de forma mais positiva e tenham interesse por assuntos relacionados a seu cotidiano, como esta presente no currículo do ensino médio.

A seguir, será apresentado os experimentos apresentados no show Física no Palco e abordados em sala de aula, assim como a teoria trabalhada com os mesmos.

## Capítulo 3

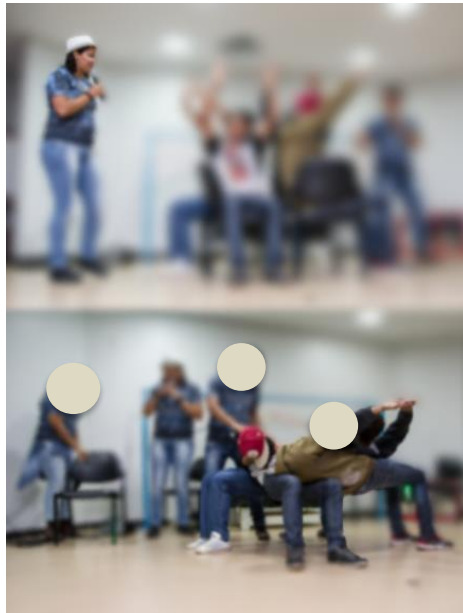
### Experimentos e seus respectivos conceitos

Sabe-se que a experimentação tem a capacidade de despertar o interesse dos alunos e é comum ouvir de professores que ela promove o aumento da capacidade de aprendizagem, pois a construção do conhecimento científico na formação do pensamento é dependente de uma abordagem experimental e se dá majoritariamente no desenvolvimento de atividades investigativas (GIORDAN, 1999).

Indubitavelmente, a educação figura entre os mais importantes, senão o mais importante, parâmetro necessário para o desenvolvimento e crescimento de uma nação. O fato do crescente desinteresse por parte dos alunos em relação aos estudos, bem como a presença de salas de aulas cada vez mais massificadas e heterogêneas, forçou a busca por metodologias de ensino-aprendizagem mais atraentes. Portanto, o uso da Experimentação no ensino de Física se tornou uma forma de despertar no aluno um maior interesse, desde que vinculadas à construção de um conhecimento científico em grupo, à possibilidade de promover discussões e investigações que permitam um enriquecimento do conhecimento a partir dos conhecimentos prévios do aluno.

A seguir, serão descritos os conceitos dos experimentos utilizados em sala de aula, os quais foram utilizados na apresentação do show Física no Palco.

### 3.1 Equilíbrio Humano e aplicações das Leis de Newton



**Figura 3.1.** Fotos do Equilíbrio Humano. (Equipe Show Física no Palco).

Este experimento tem como finalidade apresentar a ação das forças sobre um corpo de modo a mantê-lo em equilíbrio, ou seja, mostrar uma situação onde a força resultante será igual a zero. Sendo assim, o objetivo dos engenheiros civis é construir obras que, mesmo na presença de forças as quais são submetidas, estas devem permanecer estáveis. Neste experimento, trabalhamos com o equilíbrio das forças. Para isso, considere os seguintes objetos (1) cadeira e (2) as pessoas sentadas na cadeira, dispostas conforme mostra a figura 3.1. Quando se retira as cadeiras para as pessoas, sabe-se que, de acordo com (RESNICK, 2012):

1. A Quantidade de Movimento Linear (ou Momento Linear)  $P$  do Centro de Massa é constante;
2. A Quantidade de Movimento Angular (ou Momento Angular)  $L$ , em relação ao Centro de Massa ou em relação a qualquer outro ponto, também é constante.

Assim, essas pessoas estão em equilíbrio. Logo, os requisitos para que o equilíbrio ocorra são:

$$\mathbf{P} = \text{Constante e } \mathbf{L} = \text{Constante}$$

Portanto, podemos dizer que as pessoas permanecem em equilíbrio estático

instável, pois uma pequena força será suficiente para deslocar o corpo de forma permanente.

O movimento de translação de um corpo é descrito pela Segunda Lei de Newton (Lei Fundamental da Dinâmica), dada pela equação

$$\mathbf{F}_{RES} = \frac{d\mathbf{P}}{dt} \quad (1)$$

onde  $F_{RES}$  é a força resultante (ou resultante das forças) que atua sobre o corpo em consideração. Se  $P$  é constante,  $dP/dt = 0$ , o corpo está em equilíbrio para translações. Então:

$$d\mathbf{P}/dt = 0 \quad \rightarrow \quad \mathbf{F}_{RES} = 0 \quad (2)$$

$$\mathbf{F}_{RES} = 0 \quad (\text{equilíbrio das forças}) \quad (3)$$

O movimento de rotação de um corpo é descrito pela Segunda Lei Newton para Rotações, ou seja:

$$\boldsymbol{\tau}_{RES} = \frac{d\mathbf{L}}{dt} \quad (4)$$

onde  $\tau_{RES}$  é o torque resultante (ou Resultante dos Torques) que atuam sobre o corpo em questão. Se  $L$  é constante,  $dL/dt = 0$ , o corpo está em equilíbrio para translações. Então:

$$\boldsymbol{\tau}_{RES} = 0 \quad (\text{equilíbrio das forças}) \quad (5)$$

Os requisitos para que um corpo esteja em equilíbrio são os seguintes:

- i. A soma vetorial das forças externas que agem sobre o corpo deve ser nula (Equação 2);
- ii. A soma vetorial dos torques externos que agem sobre o corpo, medidos em relação a qualquer ponto, deve ser nula (Equação 5).

Considerando apenas as forças que agem no plano  $xy$ , as componentes  $x$  e  $y$  da força resultante, e a componente  $z$  do torque resultante, são dadas por:

$$\mathbf{F}_{RES,x} = 0 \quad (\text{equilíbrio das forças}) \quad (6)$$

$$\mathbf{F}_{RES,y} = 0 \quad (\text{equilíbrio das forças}) \quad (7)$$

$$\boldsymbol{\tau}_{RES,z} = 0 \quad (\text{equilíbrio dos Torques}) \quad (8)$$

Para que o equilíbrio seja estático, a Quantidade de Movimento Linear (ou Momento Linear)  $\mathbf{P}$  do sistema deve ser zero, os corpos do sistema devem estar em repouso em relação ao solo. Assim existe outro requisito para o equilíbrio estático, a saber:

- i. A Quantidade de Movimento Linear  $\mathbf{P}$  do corpo deve ser nula.

### 3.2 Giroscópio, os halteres e a roda: Princípio da Conservação da Quantidade do Movimento Angular



**Figura 3.2.** Fotos do Giroscópio e os halteres (a) e Giroscópio e a roda (b). (Equipe Show Física no Palco).

Nesse momento do show, apresentamos a nossa plataforma giratória e os halteres, sugerindo assim que iremos praticar atividades físicas no palco, misturando a Física e a Educação Física. Convidamos dois professores que atuam nas salas de aula das turmas que estão participando do show para realizarem esse experimento. Um dos participantes sobe na plataforma giratória e lhe entregamos os alteres, pedindo que ele faça os movimentos de abrir e fechar os braços. Então, rodamos a plataforma, como pode ser visto na Figura 3.2a. O que se observa é que ao abrir os braços a plataforma

gira lentamente e que quando o professor fecha os braços ele gira mais rápido. Logo depois, o segundo professor é convidado a tomar o lugar do primeiro professor, só que desta vez apresentamos a roda de bicicleta, e sugerimos que vamos andar de moto, conforme Figura 3.2b. Nesse momento, os comandos são alterados, pois usaremos a roda para impulsionar a plataforma giratória por meio dos comandos virar à direita ou à esquerda. Assim, damos impulso na roda para que ela ganhe velocidade, ao dar os comando ao professor é observado que a plataforma gira no sentido em que vira-se a roda.

Com este experimento, trabalha-se com o conceito de Conservação da Quantidade de Movimento Angular  $L$  (ou Momento Angular  $L$ ). A segunda lei de Newton Equação 1, expressa a relação entre força e momento linear para uma partícula isolada, Temos um suficiente paralelismo entre grandezas lineares e angulares para estar seguros que existe também uma relação entre torque e momento angular. Guiados pela Equação 1, podemos supor que essa relação seja a seguinte:

$$\boldsymbol{\tau}_{RES} = d\mathbf{L}/dt \quad (\text{sistema isolado}) \quad (9)$$

Este equação é, de fato, uma forma da segunda lei de Newton que se aplica ao movimento de rotação de uma partícula isolada, ou seja, a soma vetorial dos torques que agem sobre uma partícula igual à taxa de variação no tempo do momento angular da partícula.

A Equação 9 não faz sentido a menos que o torque  $\boldsymbol{\tau}_{RES}$  e o momento angular  $L$  sejam definidos em relação ao mesmo ponto, que, em geral, é a origem do sistema de coordenadas escolhido.

Sendo assim, a demonstração da Equação 9 é

$$\mathbf{L} = m (\mathbf{r} \times \mathbf{v}) \quad (10)$$

em que  $\mathbf{r}$  é o vetor posição da partícula e  $\mathbf{v}$  é a velocidade da partícula. Derivando ambos os membros em relação ao tempo  $t$ , obtemos:

$$\frac{d\mathbf{L}}{dt} = m \left( \mathbf{r} \times \frac{d\mathbf{v}}{dt} + \frac{d\mathbf{r}}{dt} \times \mathbf{v} \right) \quad (11)$$

Entretanto,  $d\mathbf{v}/dt$  é a aceleração  $\mathbf{a}$  da partícula e  $d\mathbf{r}/dt$  é a velocidade  $\mathbf{v}$ . Assim, podemos escrever a Equação 11 na forma

$$\frac{d\mathbf{L}}{dt} = m (\mathbf{r} \times \mathbf{a} + \mathbf{v} \times \mathbf{v})$$

Acontece que  $\mathbf{v} \times \mathbf{v} = 0$  (o produto vetorial de qualquer vetor por si próprio é zero,

pois o ângulo entre os dois vetores é necessariamente zero). Assim, temos:

$$\frac{d\mathbf{L}}{dt} = m (\mathbf{r} \times \mathbf{a}) = \mathbf{r} \times m \mathbf{a}$$

Podemos usar a segunda lei de Newton ( $\mathbf{F}_{RES} = m\mathbf{a}$ ) para substituir  $m\mathbf{a}$  pela soma das forças que atuam sobre a partícula, obtendo

$$\frac{d\mathbf{L}}{dt} = \mathbf{r} \times \mathbf{F}_{RES} = \sum(\mathbf{r} \times \mathbf{F}). \quad (12)$$

Em que o símbolo  $\Sigma$  indica que devemos somar os produtos vetoriais  $\mathbf{r} \times \mathbf{F}$  para todas as forças. Entretanto, de acordo com a Equação  $\boldsymbol{\tau} = \mathbf{r} \times \mathbf{F}$ , cada um desses produtos vetoriais é o torque associado à força correspondente. Assim a equação 12 nos diz que

$$\boldsymbol{\tau}_{RES} = \frac{d\mathbf{L}}{dt}$$

Esta é a Equação 9, a relação que queríamos demonstrar (RESNICK, 2012).

Partindo da Equação 9, que é a segunda lei de Newton para rotações. Se nenhum torque externo resultante age sobre o sistema, a equação se torna  $(d\mathbf{L}/dt)=0$ , ou seja,

$$\mathbf{L} = \text{Constante} \quad (\text{sistema isolado}) \quad (13)$$

Este resultado é conhecido como Lei de Conservação da Quantidade de Movimento Angular, também pode ser escrito na forma

(momento angular total em um instante inicial  $t_i$ ) = (momento angular total em um instante posterior  $t_f$ )

ou

$$\mathbf{L}_i = \mathbf{L}_f \quad (\text{sistema isolado}) \quad (14)$$

Em outras palavras, se o torque externo resultante que age sobre um sistema é nulo, o Momento Angular  $L$  do sistema permanece constante, sejam quais forem as mudanças que ocorrem dentro do sistema.

As Equações 13 e 14 são vetoriais e, portanto, são equivalentes a três equações para as componentes, e correspondem à conservação do momento angular em três direções mutuamente perpendiculares. Dependendo dos torques externos que agem sobre o sistema, o momento angular é conservado apenas em umas ou duas direções.

Assim, se a componente do torque externo resultante que age sobre um sistema ao longo de um eixo é nula, a componente do momento angular do sistema ao longo desse eixo permanece constante, seja qual for as mudanças que ocorrerem dentro do sistema.

Sendo assim, a Figura 3.3 mostra o professor em pé na plataforma que gira

livremente em torno de um eixo vertical. O mesmo foi posto em rotação com uma pequena velocidade angular inicial  $\omega_i$ , segurando dois halteres com os braços abertos. O vetor Momento Angular  $\mathbf{L}$  do professor coincide com o eixo de rotação e aponta para cima.



**Figura 3.3.** Fotos do Giroscópio e os halteres. (Equipe Show Física no Palco).

Em seguida, o professor é orientado a fechar os braços. Ao fazer isso, esse movimento reduz a Inércia à Rotação (ou Momento de Inércia)  $I$  do valor inicial  $I_i$  para um menor valor  $I_f$ , pois a massa dos halteres fica mais próxima do eixo de rotação. A velocidade angular do professor aumenta consideravelmente, de  $\omega_i$  para  $\omega_f$ . O professor controla a velocidade abrindo os braços novamente para afastar os halteres do eixo de rotação.

Como nenhum torque externo age sobre o sistema, o momento angular do sistema em relação ao eixo de rotação permanece constante, independentemente de como o professor segura os halteres. Logo, com os halteres longe do eixo de rotação, a velocidade angular  $\omega_i$  é relativamente baixa e o momento de inércia  $I_i$  é relativamente alto.

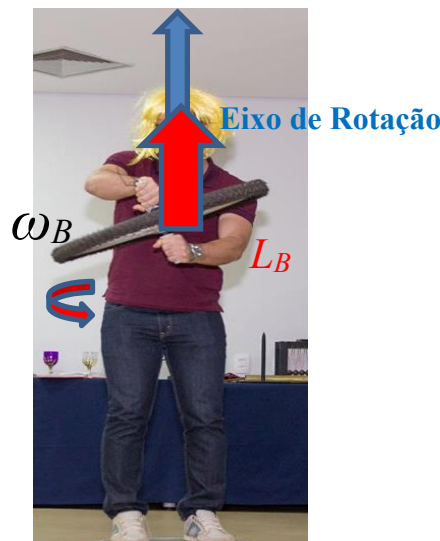
Podemos aplicar esta lei ao corpo isolado da Figura 3.3, que está girando em torno do eixo Z (RESNICK, 2012). Suponha que em um certo instante a massa do corpo é redistribuída de tal forma que o momento de inércia em relação ao eixo z muda de valor. De acordo com as Equações 13 e 14, o momento angular do corpo não pode

mudar. Substituindo a Equação 16 (para o momento angular ao longo do eixo de rotação) na Equação 14, esta lei de conservação se torna

$$I_i \omega_i = I_f \omega_f \quad (15)$$

De acordo com a Equação 15, a velocidade angular no momento em que o professor fecha os braços deve ser maior para compensar a redução de  $I_f$ .

Na segunda parte do experimento, o professor continua em pé na plataforma que pode girar livremente em torno de um eixo vertical. É entregue a ele uma roda de bicicleta, cujo momento de inércia é  $I_r$ . A roda então é impulsionada a girar no sentido vertical com uma velocidade angular  $\omega_r$ . Em seguida, é solicitado que o professor a coloque na horizontal e, assim, o eixo da roda fica na vertical e o momento angular  $L_r$  aponta verticalmente para cima. Quando o professor inverte a roda, esta passa a girar no sentido contrário. Esta inversão faz com que o professor e o centro da roda girem juntos, como um corpo rígido composto, em torno do eixo de rotação da plataforma, com um momento de inércia  $I_c$ .



**Figura 3.4.** Fotos do Giroscópio e a roda. (Equipe Show Física no Palco).

A velocidade angular  $\omega_c$  está relacionada ao momento angular final  $L_c$  do corpo composto em relação ao eixo de rotação da plataforma giratória pela Equação 16, como ilustrado na Figura 3.4.

$$L = I \omega \quad (16)$$

A velocidade angular inicial  $\omega_r$  da roda está relacionada ao momento angular  $L_r$  da roda em relação ao centro pela mesma Equação 16.

A soma dos vetores  $L_c$  e  $L_r$  fornece o momento angular total  $L_{tot}$  do sistema formado pelo estudante, o banco e a roda.

Quando a roda é invertida, nenhum torque externo resultante age sobre o sistema para mudar  $L_{tot}$  em relação a qualquer eixo vertical. (Os torques produzidos por forças entre o professor e a roda e a roda e o professor quando o professor inverte a roda são internos ao sistema). Assim, o momento angular do sistema é conservado em relação a qualquer eixo vertical.

### 3.3 Satélite e a Gravidade



**Figura 3.5.** Fotos do Satélite. (Equipe Show Física no Palco).

No início desta apresentação, os apresentadores questionam como funciona a força de atração entre os objetos, entre as pessoas, entre a Terra e a Lua. Diante das discussões, eles resolvem fazer um experimento para que eles possam visualizar a força de gravidade. De posse do experimento que é composto por um copo com água posicionado numa base de papelão e amarrados por barbantes que estão sendo segurados pela estudante Figura 3.5.

Os físicos adoram estudar fenômenos aparentemente desconexos e mostrar que, na verdade, existe uma relação entre eles. Esse ideal de unificação vem sendo perseguido há séculos. Isaac Newton, em 1665, demonstrou que não existe diferença entre a força que mantém a Lua em órbita e a força responsável pela queda de uma maçã. Ele chegou a conclusão de que não só a Terra atrai as maçãs e a Lua, mas todo corpo do universo atrai todos os demais. Essa tendência dos corpos de se atraírem mutuamente é chamada de gravitação. A universalidade da gravitação não é óbvia para nós porque a força de atração que a Terra exerce sobre os corpos próximos é muito maior que a força de atração que os corpos exercem uns sobre os outros. Assim,

Newton propôs uma lei para a força de gravitação, que é chamada de Lei da Gravitação de Newton, pela qual toda partícula do universo atrai as outras partículas com uma força gravitacional cujo módulo é dado por (RESNICK, 2012):

$$\mathbf{F} = G \frac{m_1 m_2}{r^2} \quad (\text{Lei da Gravitação de Newton}) \quad (17)$$

onde  $m_1$  e  $m_2$  são as massas das partículas 1 e 2, respectivamente,  $r$  a distância entre elas e  $G$  uma constante, conhecida como Constante Gravitacional, cujo valor é  $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ N.m}^2/\text{kg}^2$ .

Na Figura 3.6, considerando a mão como a partícula 1 e a partícula 2 sendo o copo com a água,  $\mathbf{F}$  é a força gravitacional exercida sobre a partícula 1 (de massa  $m_1$ ) pela partícula 2 (de massa  $m_2$ ). A força aponta para a partícula 2 para dizer que ela é uma força atrativa porque tende a aproximar a partícula 1 da partícula 2, cujo módulo é dado pela Equação 17.



**Figura 3.6.** Fotos do Satélite. (Equipe Show Física no Palco).

A força gravitacional que a partícula 1 exerce sobre a 2 tem o mesmo módulo que a força que a partícula 2 exerce sobre a partícula 1, mas no sentido oposto. Essas duas forças formam um par de forças da Terceira Lei de Newton e pode-se falar da força gravitacional entre as duas partículas cujo módulo é dado pela Equação 17. A força entre essas duas partículas não é alterada pela presença de outras partículas, mesmo que estejam situados entre elas. Em outras palavras, nenhum objeto pode blindar uma das partículas da força gravitacional exercida pela outra partícula.

### 3.4 Cama de prego, Banco de pressão e Galão de pressão

#### 3.4.1 Cama de prego



**Figura 3.7.** Fotos da Cama de Pregos. (Equipe Show Física no Palco).

A cama de pregos é um experimento que trabalha os conceitos de Pressão, Força e Área. É constituído por vários pregos espetados e distribuídos uniformemente sobre uma superfície, de forma que quanto maior for a área com pregos menor será a pressão de uma força aplicada nessa superfície.

Quando uma pessoa se senta em uma cama de pregos, seu peso é dividido em cada ponta de prego. Dessa forma, a pressão sentida pela pessoa é fracionada, ou seja, menor.

Por outro lado, se essa pessoa pressionar apenas o indicador em um dos pregos sentirá dor, pois nesse caso a área será muito menor e conseqüentemente a pressão aumentará muito (RESNICK, 2012). Esta relação entre força aplicada  $F$ , área  $A$  e pressão  $P$  é dada pela equação:

$$p = \frac{\Delta F}{\Delta A} \quad (\text{pressão de uma força uniforme em uma superfície plana)} \quad (18)$$

A unidade de pressão no SI é o newton por metro quadrado. Que recebe um nome especial, o pascal (Pa), de força é Newton (N) e area é metro ao quadrado (m<sup>2</sup>).

### 3.4.2 Banco de pressão



**Figura 3.8.** Fotos do Banco de Pressão. (Equipe Show Física no Palco).

Um dos mais célebres experimentos para demonstrar a pressão atmosférica foi realizado em 1654 por Otto Von Guericke, burgomestre da cidade de Magdeburg e inventor da bomba de vácuo. O experimento denominado banco de pressão, que é realizado durante a apresentação, se assemelha ao do Otto, ou seja, Von Guericke juntou dois hemisférios de cobre de aproximadamente 50 cm de diâmetro, vedados com uma junta impermeável ao ar com um anel de couro embebido em óleo.

Com a sua bomba de vácuo, ele diminuiu o ar do interior da esfera produzindo um semi-vácuo. Oito cavalos puxando de cada lado da esfera foram incapazes de separar o hemisfério.

Nesse caso, ou o ar exerce uma pressão, ou existe uma força de sucção atuando. Como foi feito vácuo com a bomba, ou seja, “ausência de matéria”, descarta-se a segunda possibilidade, já que o nada não é capaz de exercer força. Concluímos então que o que mantém os hemisférios unidos é o peso do ar, ou seja, a pressão atmosférica.

A pressão atmosférica é a força exercida pela massa de gases da atmosfera sobre uma determinada superfície. O valor da pressão atmosférica não é constante. Varia em função da altitude do local, sendo menor a medida que a altitude aumenta. Além da variação com relação a altitude, seu valor também sofre alterações ao longo do tempo e em locais de mesma altitude. Isto se deve ao fato da pressão atmosférica estar intimamente relacionada com a temperatura, a densidade e o volume da massa de ar.

Logo (RESNICK, 2012), a pressão é dada pela razão entre a força e a área da superfície (Equação 18).

No caso da pressão atmosférica, a força ( $F$ ) representa o peso da coluna de ar sobre uma determinada superfície. A unidade de pressão no sistema internacional é o  $N/m^2$ , sendo também chamada de Pa (pascal).

Desse modo, quando soltamos uma placa de acrílico retangular sobre a placa de acrílico que está colada ao banco como mostra a Figura 3.8, criamos um semi-vácuo. Como na ausência de matéria não temos força entre as placas, assim conseguimos transportar o banco de um ponto a outro, pois o peso do ar mantém as placas unidas.

### 3.4.3 Galão de pressão



**Figura 3.9.** Fotos do Galão de Pressão. (Equipe Show Física no Palco).

Neste experimento, realiza-se a seguinte manipulação: uma pequena quantidade de álcool é colocada dentro de um galão e, em seguida, é provocado um incêndio em seu interior. Posteriormente, a boca do galão é vedada, resultando na deformação do mesmo, como ilustrado na Figura 3.9. Esse fenômeno pode ser explicado pela influência da pressão atmosférica. Ao iniciar o fogo dentro do galão, o oxigênio presente em seu interior é consumido. Ao vedar a boca do galão, impede-se a reposição de oxigênio. Como resultado, a pressão interna do galão torna-se menor do que a pressão atmosférica, o que causa a deformação do galão pela força exercida pela pressão atmosférica.

Ao se pensar (RESNICK, 2012) nas propriedades macroscópicas de um gás (pressão e temperatura) em termos das moléculas que o constituem, podemos dizer que se colocamos  $n$  mol de vários gases em recipientes de mesmo volume e os mantemos à mesma temperatura, as pressões são quase iguais. Se isso for repetido com

concentrações dos gases cada vez menores, as pequenas diferenças de pressão tendem a desaparecer e, assim, em medidas muito precisas, em baixas concentrações, todos os gases reais obedecem à relação

$$PV = nRT \text{ (Lei dos Gases Ideais)} \quad (19)$$

onde P é a pressão absoluta, n o número de mol do gás e T a temperatura em Kelvins. O fator R é chamado de Constante dos Gases Ideais e possui o mesmo valor para todos os gases, a saber:

$$R = 8,31 \text{ J/mol} \cdot \text{K} \quad (20)$$

A Equação 19 é a chamada Lei dos Gases Ideais. Contudo que a concentração dos gás seja baixa, a lei (Equação 19) se aplica a qualquer gás ou mistura dos gases. Dessa forma, podemos reescrever a Equação 19 em termos da constante k (Constante de Boltzmann):

$$k = \frac{R}{N_A} = \frac{8,31 \frac{\text{J}}{\text{mol}} \cdot \text{K}}{6,02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}} = 1,38 \times 10^{-23} \text{ J/K} \quad (21)$$

De acordo com a Equação 21,  $R = kN_A$ . Assim, como  $n = N/N_A$ , então

$$nR = Nk \quad (22)$$

Substituindo a Equação 22 na Equação 19, obtem-se uma segunda expressão para a Lei dos Gases Ideais, a saber:

$$PV = NKT \quad (23)$$

A Equação 23 oferece uma explicação para o fenômeno observado no galão de pressão. No início do experimento, a pressão interna do galão é igual à pressão atmosférica. Ao adicionar álcool e acender o fogo, o galão aquece e as moléculas de álcool se tornam mais agitadas. Quando fechamos a boca do galão, impedimos a entrada de ar, resultando em uma diminuição no número de moléculas de gás (N) devido à redução da temperatura do gás. Isso causa uma diferença de pressão entre o interior e o exterior do galão, resultando em uma diminuição do lado direito da Equação 23. Como o volume (V) é constante, a pressão (p) diminui. Como consequência, a pressão atmosférica é suficiente para deformar as paredes do galão.

### 3.5 Canhão de vórtice e os fluídos



**Figura 3.10.** Fotos do Canhão de Vórtice. (Equipe Show Física no Palco).

Provavelmente anéis de vórtice têm sido observados desde a antiguidade, pois podem ser facilmente criados, como por exemplo, assoprando o ar com a boca cheia de fumaça. Anéis de vórtice foram estudados matematicamente pelo Físico Alemão Von Helmholtz. Ele mostra as integrais hidrodinâmicas que regem tais anéis de fumaça, os vórtices em movimento. Em mecânica dos fluidos, os Teoremas de Helmholtz descrevem o movimento tridimensional do fluxo de ar em formato de rosquinhas (um toroide), quando este sai do seu ponto de origem. Pode-se considerar um vórtice *qualquer movimento em espiral ao redor de um centro de rotação*. O anel de vórtice ou vórtice toroidal é simplesmente uma região do fluido em rotação que se desloca.

Esse estudo pode ser sintetizado e o experimento pode ser trabalhado no tópico de hidrodinâmica (escoamento de fluidos e gases) de uma forma demonstrativa.

Quando se atinge a boca do balde que está coberto com um saco plástico, o balde fica um pouco menor, o que faz com que um pequeno sopro de ar saia pelo orifício do fundo. Quando esse ar em movimento rápido encontra o ar estacionário externo, ele diminui a velocidade em seus lados. Como o ar no centro ainda está se movendo rapidamente, isso tende a fazer com que o ar em movimento se curve em direção ao ar estacionário e comece a girar. Este é o mesmo efeito que você vê quando a água em movimento rápido encontra a água lenta em um riacho e pequenos redemoinhos de água, chamados redemoinhos (ou vórtices), são formados.

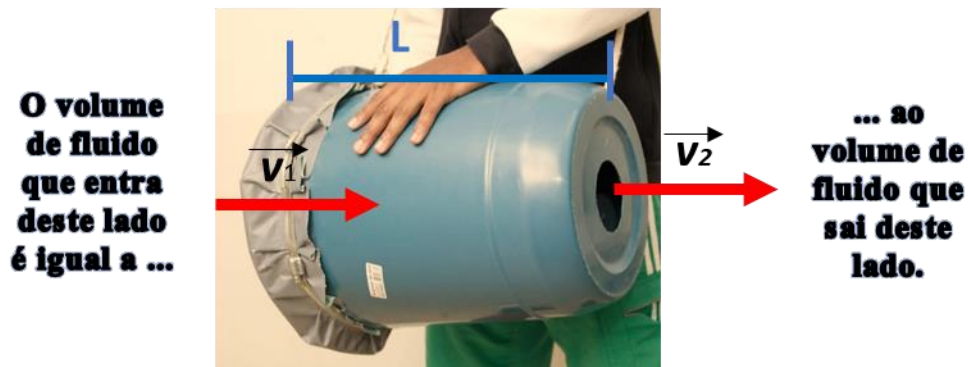
Esse experimento traz a aplicação dos conceitos dos fluidos em movimento (TIPLER, 2009). Considerando o ar como um fluido ideal, podemos analisar matematicamente o seu movimento. Um fluido ideal satisfaz três requisitos em relação ao escoamento:

- i. O escoamento é laminar: a velocidade do fluido em um ponto fixo qualquer não varia com o tempo, nem em módulo nem em orientação;
- ii. O escoamento é incompressível: No caso de fluidos em repouso, o fluido é incompressível, ou seja, que a massa específica tem um valor uniforme e constante;
- iii. O escoamento não viscoso: A viscosidade de um fluido é uma medida da resistência que o fluido oferece ao escoamento. A viscosidade dos fluidos é análoga ao atrito entre os sólidos, ambos são mecanismos através dos quais a energia cinética de objetos em movimento é transferida para energia térmica.

Para observarmos o escoamento de um fluido, usamos indicadores. No caso do canhão de vórtice, usamos fumaça misturada com o ar contido no balde. Assim, a linha de fluxo se torna visível e conseguimos determinar a trajetória desse fluido.

É possível aumentar a velocidade de um gás que sai de um tubo, fechando parcialmente a boca desse tubo. Consegue-se fazer isso experimentalmente ao recortando uma pequena abertura no fundo do balde. Essa é uma demonstração prática do fato de que a velocidade  $v$  do gás depende da área da seção reta  $A$ , através da qual o gás escoar.

É possível deduzir uma expressão que relaciona  $v$  e  $A$  no caso do escoamento laminar de um fluido ideal no canhão de vórtice (Figura 3.11). De acordo com a Figura 3.11, o escoamento é para direita e o segmento do canhão tem comprimento  $L$ . A velocidade do fluido é  $v_1$  na extremidade esquerda e  $v_2$  na extremidade direita. A área da seção do canhão é  $A_1$  na extremidade esquerda e  $A_2$  na extremidade direita. Em um intervalo de tempo  $\Delta t$ , um volume  $\Delta V$  do fluido entra no segmento de tubo pela extremidade da esquerda (impulso dado na boca do balde). Como o fluido é incompressível, um volume igual  $\Delta V$  do fluido deve sair pela extremidade direita.



**Figura 3.11.** Funcionamento do Canhão de Vórtice. (Equipe Show Física no Palco).

Este volume, que é comum às duas extremidades, é usado para relacionar as velocidades  $v$  e áreas  $A$ . Para isso, considere primeiramente a Figura 3.12, quando um elemento  $e$  do fluido está prestes a passar pela reta tracejada perpendicular ao eixo do tubo. Se a velocidade do elemento é  $v$ , durante um intervalo de tempo  $\Delta t$  o elemento percorre uma distância  $\Delta x = v\Delta t$  ao longo do tubo. O volume  $\Delta V$  do fluido que passa pela reta tracejada durante o intervalo de tempo  $\Delta t$  é

$$\Delta V = A \Delta x = Av \Delta t \quad (24)$$

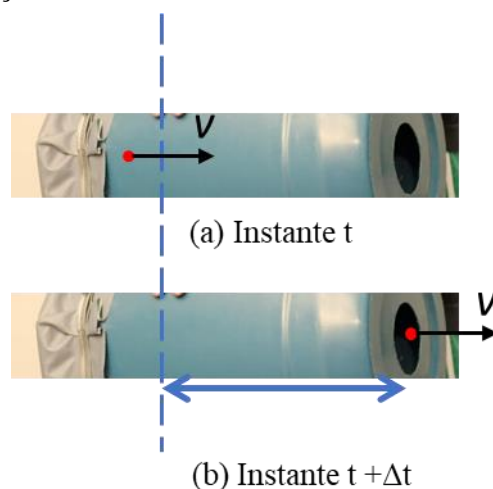
Aplicando a Equação 24 às duas extremidades do segmento do canhão da Figura 3.11, obtém-se:

$$\Delta V = A_1 v_1 \Delta t = A_2 v_2 \Delta t$$

ou

$$A_1 v_1 = A_2 v_2 \quad (25)$$

conhecida como Equação da Continuidade.



**Figura 3.12.** Fluido escoá com velocidade  $v$ . (Equipe Show Física no Palco).

Esta relação entre velocidade e área da seção da reta é chamada de Equação da Continuidade para o escoamento de um fluido ideal. De acordo com a Equação 25, a velocidade do escoamento aumenta quando a área da seção reta através da qual o fluido escoar é reduzida, e vice-versa, podendo ser aplicada a qualquer tipo de fluxo.

A Equação 25 pode ser reescrita na forma:

$$Rv = Av = \text{Constante} \quad (\text{Vazão, Equação de Continuidade}) \quad (26)$$

onde  $R_v$  é a vazão do fluido (volume que passa por uma seção reta por unidade de tempo). A unidade de vazão no SI é o metro cúbico por segundo ( $\text{m}^3/\text{s}$ ). Se a massa específica  $\rho$  do fluido é uniforme, podemos multiplicar a Equação 26 pela massa específica para obter a vazão mássica  $R_m$  (massa por unidade de tempo), isto é:

$$Rm = \rho Rv = \rho Av = \text{Constante} \quad (\text{Vazão Mássica}) \quad (27)$$

A unidade de Vazão Mássica no SI é o quilograma por segundo ( $\text{kg/s}$ ). De acordo com a Equação 27, a massa que entra no canhão por segundo é igual a massa que sai do segmento por segundo.

Considerando o canhão da Figura 3.11, sejam  $y_1$ ,  $v_1$  e  $p_1$  a altura, a velocidade e a pressão do fluido que entra do lado esquerdo e  $y_2$ ,  $v_2$  e  $p_2$  os valores correspondentes do fluido que sai do lado direito. Com isso em mente, de acordo com a Lei da Conservação da Energia, aplicada ao fluido em consideração, essas grandezas ( $y$ ,  $v$  e  $p$ ) se relacionam através da equação:

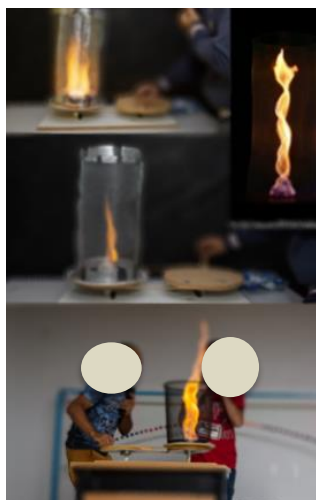
$$p_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho g y_1 = p_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho g y_2 \quad (28)$$

onde o termo  $\frac{1}{2}\rho v^2$  é chamado de Energia Cinética Específica (energia cinética por unidade de volume) do fluido. A Equação 28 pode ser reescrita na forma:

$$p + \frac{1}{2}\rho v^2 + \rho g y = \text{Constante} \quad (\text{Equação de Bernoulli}) \quad (29)$$

Se a velocidade de um fluido aumenta, enquanto o fluido se move horizontalmente ao longo de uma linha de fluxo, a pressão do fluido diminui e vice-versa.

### 3.6 Tornado de Fogo: Mecanismo de transferência de calor



**Figura 3.12.** Fotos do Tornado de Fogo. (Equipe Show Física no Palco)

Nesta apresentação, discute-se a formação dos redemoinhos, que são vistos frequentemente nas fazendas. É proposto ao público fazer um tornado no palco, usando como elemento principal o fogo, o denominado tornado de fogo.

Neste experimento, trabalha-se com os fenômenos termodinâmicos e como ocorrem na natureza os processos de transferência de calor, como a interação do fogo e o ar e os efeitos de convecção, pois no experimento sabe-se que o ar quente sobe enquanto que o ar frio desce, ajudando na formação do vórtice, basicamente o que acontece na formação dos redemoinhos e tornados no “mundo real”.

Além disso, sabe-se que Calor é a energia trocada entre um sistema e o ambiente devido a uma diferença de temperatura, ou seja, a diferença do grau de agitação das moléculas (RESNICK, 2012). Esta transferência de energia na forma de calor ocorre por três mecanismos, a saber: i) Condução; ii) Convecção; iii) Radiação.

Se colocarmos uma frigideira com cabo de metal no fogo por algum tempo, o cabo ficará tão quente que se encostarmos poderemos queimar a mão. A energia é transferida da frigideira para o cabo pelo mecanismo de condução. Os elétrons e átomos da frigideira vibram intensamente por conta da alta temperatura a que estão expostos. Essas vibrações e a energia associada são transferidas para o cabo através de colisões entre os átomos e, assim, uma região de alta temperatura crescente se propaga em direção ao cabo (RESNICK, 2012).

Considerando uma placa de área  $A$  e de espessura  $L$ , cujas faces são mantidas a

temperaturas  $T_Q$  e  $T_F$  por uma fonte quente e uma fonte fria, respectivamente, a energia é transferida na forma de calor através da placa, da face quente para a fria, em um intervalo tempo  $t$ . A taxa de condução  $P_{cond}$  (energia transferida por unidade de tempo) é dada por:

$$P_{Cond} = \frac{Q}{t} = kA \frac{T_Q - T_F}{L} \quad (30)$$

onde  $k$ , conhecida como Condutividade Térmica, é uma constante que depende do material de que é feita a placa.

Todavia, quando falamos de chamas, ou seja, do nosso tornado de fogo, a energia térmica é transportada para cima por meio do fenômeno da convecção. Esse tipo de transferência de energia acontece quando um fluido, como o ar, entra em contato com um objeto cuja temperatura é maior que a do fluido. A temperatura parte do fluido que está em contato com o objeto quente, no caso do tornado, as chamas provocadas pelo algodão embebido com álcool. Essa parte do fluido se expande, ficando menos densa, pois como a plataforma do tornado gira, aumenta a quantidade de  $O_2$  no centro, alimentando o fogo. Como o fluido expandido é mais leve do que o fluido que o cerca, mais frio, a força de empuxo o faz subir. O fluido mais frio escoar para tomar o lugar do fluido mais quente que sobe e o processo pode continuar indefinidamente (TIPLER, 2009). Assim, a convecção é uma transferência de energia, na forma de calor, associada ao movimento em um fluido produzido por diferenças de temperatura.

E, por fim, temos a radiação. Na radiação, a transferência de energia ocorre através de ondas eletromagnéticas, ou seja, o “calor” que sentimos quando nos aproximamos do tornado de fogo (RESNICK, 2012). A taxa  $P_{rad}$  com a qual um objeto emite energia por radiação térmica é dada por:

$$P_{RAD} = \sigma \epsilon A T^4 \quad (31)$$

onde  $\sigma$  ( $= 5,6704 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$ ) é a Constante de Stefan-Boltzmann,  $\epsilon$  a emissividade da superfície do objeto,  $A$  a área da superfície e  $T$  a temperatura de sua superfície (em Kelvins). A taxa  $P_{abs}$  com a qual um objeto absorve energia de radiação térmica do ambiente, quando este se encontra a uma temperatura uniforme  $T_{amb}$  (em

Kelvins), é dada por:

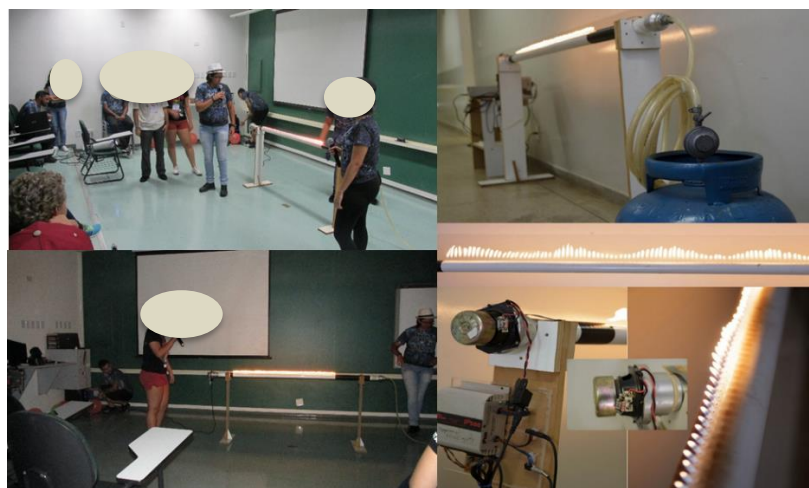
$$P_{abs} = \sigma \varepsilon A T_{amb}^4 \quad (32)$$

O transporte de calor por convecção é regido pela lei de resfriamento de Newton,

$$q = \bar{h}A (T_{\infty} - T_s), \quad (33)$$

onde  $q$  é a taxa de calor transferido,  $\bar{h}$  é o coeficiente médio de troca de calor por convecção,  $A$  é a área da superfície onde ocorre a transferência de calor,  $T_{\infty}$  é a temperatura do fluido longe da superfície e  $T_s$  é a temperatura da superfície. O grande desafio da convecção está na determinação de  $\bar{h}$ , já que esta quantidade depende das propriedades do fluido e do escoamento. Portanto, varia com a geometria do corpo e com as condições do escoamento, especialmente com o nível de turbulência do mesmo. A determinação do coeficiente de troca de calor por convecção usando técnicas analíticas só é possível em pouquíssimos casos. Na grande maioria das aplicações, é preciso lançar mão de correlações empíricas para a obtenção de  $\bar{h}$ .

### 3.7 Chamas dançantes e as ondas sonoras



**Figura 3.13.** Fotos do Chamas Dançantes. (Equipe Show Física no Palco)

O objetivo da apresentação deste experimento é a observação do comportamento

das ondas sonoras. Nossos sentidos nem sempre conseguem captar, ao observar a natureza, o quão rápido e/ou como se propagam as ondas. Para o aluno, muitas vezes é complicado visualizar o comportamento de uma onda longitudinal ou de uma onda transversal. Para mostrar esse comportamento no Física no Palco, duas pessoas são convidadas a subir ao palco e cantar qualquer música no microfone, observando o comportamento das chamas no TUBO DE RUBENS, que torna visível o comportamento das ondas sonoras.

A onda sonora é definida genericamente como qualquer onda longitudinal. O som é uma onda mecânica que necessita de um meio material para se propagar. Existem dois tipos de ondas mecânica: ondas transversais, como as que existem em uma corda esticada, nas quais as oscilações acontecem com direção perpendicular à direção de propagação da onda, e ondas longitudinais, nas quais as oscilações acontecem na direção de propagação da onda (RESNICK, 2012).

A velocidade de uma onda mecânica depende tanto das propriedades inerciais do meio (para armazenar energia cinética) como das propriedades elásticas do meio (para armazenar energia potencial). Assim, sabe-se que a velocidade de uma onda transversal em uma corda é dada por:

$$v = \sqrt{\frac{\tau}{\mu}} = \sqrt{\frac{\text{propriedade elástica}}{\text{propriedade inercial}}} \quad (34)$$

onde, para ondas transversais,  $\tau$  é a tensão da corda e  $\mu$  é a Massa Específica Linear da corda. Assim, se o meio de propagação é o gás contido no TUBO DE RUBENS, pode-se deduzir que a propriedade inercial que corresponde a  $\mu$  é a massa específica  $\rho$  do gás. A propriedade elástica que no caso de uma corda esticada está associada à deformação periódica dos elementos da corda, quando a onda passa por esses elementos, para uma onda sonora que se propaga no gás, a energia potencial está associada à compressão e expansão de pequenos elementos de volume de gás. A propriedade que determina o quanto um elemento de um meio muda de volume quando é submetido a uma pressão (força por unidade de área) é o Módulo da Elasticidade Volumétrico  $B$ , definido como:

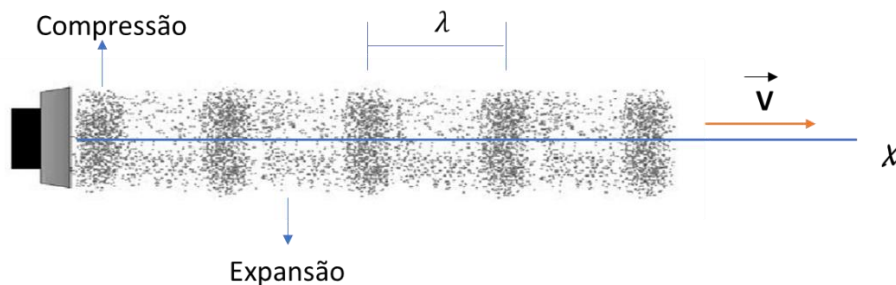
$$B = -\frac{\Delta P}{\Delta v/v} \quad (35)$$

onde  $\Delta v / v$  é a variação relativa de volume produzida por uma variação de pressão  $\Delta p$  (no Sistema Internacional de Medidas recebe o nome de Pascal). Assim, a grandeza B também é o Pascal (Pa). Os sinais de  $\Delta v$  e  $\Delta p$  são opostos: quando aumentamos a pressão sobre um elemento (ou seja,  $\Delta p$  é positivo), o volume diminui ( $\Delta v$  é negativo), justificando, assim, o sinal negativo na Equação 30 para que B seja um número positivo.

Substituindo  $\tau$  por B e  $\mu$  por  $\rho$ , obtém-se:

$$v = \sqrt{\frac{B}{\rho}} \quad (\text{Velocidade do Som}) \quad (36)$$

Pode-se examinar através deste experimento o deslocamento e variações de pressão associados a onda sonora senoidal que se propaga no gás (Figura 3.14).



**Figura 3.14.** Esquema de propagação de ondas no Chamas Dançantes.

De acordo com a Figura 3.14, o som emitido pelo alto falante, acoplado em uma das extremidades do tubo, produz uma onda sonora que desloca o elemento de gás mais próximo e comprime o gás; assim, como cada elemento de gás afeta o elemento que está ao lado, os movimentos do gás e as variações de pressão se propagam ao longo do tubo na forma de uma onda sonora e esse movimento pode ser visto através das chamas que estão na parte externa do tubo, provocadas pela saída de gás através dos pequenos furos dispostos ao longo do tubo. O elemento de gás de espessura  $\Delta x$ , quando a onda de pressão atravessa o tubo em um movimento harmônico simples, as oscilações de gás produzidas pela onda sonora são semelhantes as oscilações dos elementos de uma corda produzidas por uma onda transversal, exceto pelo fato que as oscilações do gás é longitudinal. Como os elementos da corda oscilam na forma  $y(x,t)$ , por analogia, como os elementos de gás oscilam paralelamente ao eixo  $x$ , podemos escrever os deslocamentos na forma  $s(x,t)$  (TIPLER, 2009).

Os deslocamentos  $s(x,t)$ , que são funções senoidais de  $x$  e de  $t$ , são descritos pela equação:

$$S(x,t) = S_m \cos(kx - \omega t) \quad (37)$$

onde  $S_m$  é a amplitude do deslocamento, ou seja, o deslocamento máximo do elemento de ar em qualquer sentido a partir da posição de equilíbrio,  $k$  o número de onda,  $\omega$  a frequência angular. A frequência  $f$  e o comprimento  $\lambda$ , a velocidade  $v$  e o período  $T$  de uma onda sonora longitudinal são definidos do mesmo modo e obedecem às mesmas relações que para uma onda transversal, exceto que agora  $\lambda$  é a distância para qual o padrão de compressões e expansões associados à onda se repetem.

Quando a onda se propaga no chamam dançantes, a pressão do ar em qualquer posição  $x$  varia senoidalmente. Essa variação é descrita pela equação:

$$\Delta p(x,t) = \Delta p_m \text{sen}(kx - \omega t) \quad (38)$$

O fator  $\Delta p_m$  é a amplitude da pressão, ou seja, o máximo aumento ou diminuição de pressão associado à onda. Esse fator está relacionado à amplitude do deslocamento através da equação :

$$\Delta p_m = (v\rho\omega S_m) \quad (39)$$

A intensidade  $I$  de uma onda sonora em uma superfície é a taxa média por unidade de área com a qual a energia contida na onda atravessa a superfície ou é absorvida pela superfície. Matematicamente:

$$I = \frac{P}{A} \quad (40)$$

onde  $P$  é ataxa de variação com o tempo da transferência de energia da onda sonora e  $A$  a área da superfície que intercepta o som. Logo, a intensidade  $I$  está relacionada a amplitude do deslocamento  $S_m$  da onda sonora através da equação:

## Capítulo 4

### Informações sobre a escola onde o produto foi aplicado

O presente produto foi aplicado nas turmas de 1º, 2º e 3º ano de Ensino Médio com itinerário técnico, na Unidade Integrada Sesi Senai, na cidade de Catalão, Goiás, situada na Avenida Dr. Lamartine Pinto de Avelar, nº 1400, Setor Universitário. O Senai foi criado em 22 de janeiro de 1942 pelo decreto de lei 4.048 e possui diversas unidades espalhadas por todo território nacional, como o Senai Catalão, oferecendo diversos cursos para a população, dando uma bela ajuda profissional pra quem participa dos cursos do Senai Catalão, visto que diversas empresas da região da cidade vê com bons olhos quem possui cursos do Senai em seu currículo. Atende cerca de 1000 alunos em três turnos, Ensino Médio e Técnico no turno da manhã, e Cursos Técnicos no período noturno.

Escola:	Unidade Integrada SESI SENAI Catalão
Nível escolar:	Ensino Médio com Itinerários e Ensino Técnico.
Coordenadoria de educação:	
Endereço:	Avenida Dr. Lamartine Pinto de Avelar, 1400, Setor Universitário, Cep: 75704-020, Catalão, Goiás.
Equipe Diretiva:	Diretora: Aliana Dias Calaça; Vice-Diretor: Deusivan Silva de Lima; Supervisor: Danilo Corinto de Mesquita; Coordenadoras: Fabiana Coelho de Mesquita e Valéria Divina da Silva Costa.
Número de alunos em toda a escola:	1000 Alunos.
Número de alunos no ensino médio:	300 alunos.
Estruturas de apoio:	17 salas de aula ; 1 Laboratório de Química; 1 Laboratório de Mineração; 1 Laboratório de Mecânica; 1 Laboratório de Automação; 1 Espaço Maker; 1 Espaço Tecnológico; 1 Biblioteca; 4 Laboratórios de Informática.

**Tabela 4.1.** Dados da Escola.

## Capítulo 5

### Procedimentos Metodológicos

A proposta deste produto educacional foi elaborar um livro com uma descrição dos experimentos apresentados no Show Física no Palco, bem como os conceitos envolvidos nos mesmos. Sendo assim, os professores teriam material para as aulas que possibilitassem melhor compreensão dos fenômenos apresentados durante o Show, conectados com o conteúdo abordado na disciplina de Física discutidos em sala de aula, ou seja, utilizando dos experimentos apresentados no Show “Física no Palco” para discutir os assuntos de Física em sala de aula, fornecendo assim, uma ferramenta com o modo de usar, de como os conceitos físicos estão articulados com os experimentos do Show Física no Palco e qual seria o conteúdo abordado, (MIURA, 2007) defende a proposta de ligarmos as emoções que sentimos com o que estamos aprendendo, assim os alunos ao lembrarem do que viram no show Física no Palco, teriam mais interesse em aprender, tornando assim o processo de ensino-aprendizagem, fácil e satisfatório.

Para colocar isso em prática, inicialmente, os alunos foram levados até o auditório da UFG (Universidade Federal de Goiás – Regional Catalão), cujo objetivo era assistir a apresentação do Show Física no Palco, projeto da Experimentoteca de Física sob a responsabilidade da Prof<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Ana Rita Pereira (*In Memoriam*), o professor responsável pela turma agendou uma data para que os alunos pudessem assistir ao show e os acompanhou nesse momento, após a apresentação, o professor, no momento em que o conteúdo que envolvia determinado experimento do show foi abordado em sala de aula, ou seja, obedecendo o material didático da escola, conforme o cronograma da tabela 5.2, retomou a lembrança do show apresentando a descrição do experimento bem como o conceito envolvido no mesmo, cujo conceito está detalhado no produto educacional, facilitando a compreensão do experimento e o conceito abordado naquele momento, tornando o aprendizado por parte do aluno mais efetivo. Moreira (2003) diz que a aprendizagem só é significativa a partir do momento em que o estudante entenda e possa explicar o que aparentemente diz ter aprendido, assim o professor retomando o experimento visto pelo aluno e detalhando o conceito envolvido, torna a aprendizagem mais significativa, ou seja, o experimento passa a significar algo para o estudante e assim o mesmo consegue resolver novos problemas.

Isto torna o trabalho aplicável em qualquer outra escola que tenha assistido o

show, podendo, assim, ampliá-lo através da produção de um livro, produto educacional desta dissertação, que será disponibilizado no site da Experimentoteca de Física do Instituto de Física da recém criada Universidade Federal de Catalão (IF-UFCAT), facilitando para o professor regente a compreensão do experimento e a aplicação dele em sala de aula.

A Tabela 5.2 mostra o cronograma de aplicação e validação do Produto Educacional, principalmente para que outros professores que desejem aplicar o produto tenham uma ideia do tempo necessário para organização e desenvolvimento das atividades.

<b>EXPERIMENTO</b>	<b>OBJETIVO/ CONCEITO</b>	<b>DATA DE APLICAÇÃO</b>
<b>Física no Palco</b>	Assistir à apresentação	28/01/19
<b>Chamas Dançantes</b>	Ondas Sonoras	11/03/19
<b>Cama de Prego</b> <b>Banco de Pressão</b> <b>Galão de Pressão</b>	Pressão	12/08/19
<b>Canhão de Vórtice</b>	Fluidos	13/09/19
<b>Tornado de Fogo</b>	Termodinâmica	19/03 – 15/04/19
<b>Equilíbrio Humano</b>	Aplicações das Leis de Newton	08/04/19
<b>Giroscópio os halteres e a Roda</b>	Princípio da conservação da quantidade de movimento angular	17/05/19
<b>Satélite</b>	Gravidade	11/11/19

**Tabela 5.2.** Cronograma de aplicação do Produto Educacional.

A característica principal deste produto é fazer uso dos experimentos que são

apresentados durante o show, o qual atrai a atenção dos alunos, no momento oportuno das aulas na escola, trazendo a memória as reações emocionais as quais foram expostos (Vygotsky apud Gaspar, 2007) e aumentando a curiosidade a medida que os conteúdos fossem aplicados de acordo com cada turma, ou seja, trazer a memória dos alunos a experiência que tiveram durante o show e, assim, os mesmos se interessarem pelos conceitos envolvidos em cada um deles, Laburú (2006) diz que a motivação dos estudantes para aprender está conectada ao formato da atividade proposta pelo professor, sendo assim, essa forma de abordar os conceitos de Física levando-os para assistirem ao show e em aulas seguintes trazer o conceito juntamente com o que o material didático se torna mais atrativo para o aluno.

Abordou-se neste Produto Educacional nove (09) experimentos, onde o nome e o conteúdo de cada um está descrito na Tabela 5.2.

## Capítulo 6

### Resultados e discussões

Para validação do Produto Educacional, em relação ao interesse dos alunos, procurou-se identificar e verificar a intensidade dos sentimentos que afloraram no decorrer da apresentação (Vygotsky apud Gaspar, 2007), através do seguinte questionamento: “o que você sentiu durante o Show Física no Palco”. Dentre as respostas, verificou-se que 60% se sentiram bastante curiosos e interessados, 43% ficaram surpresos, 22% deles se sentiram alegres e satisfeitos; já 9% manifestaram outros sentimentos positivos, e não houve nenhum participante que manifestou medo ou dúvida. Em relação aos experimentos que mais despertava a curiosidade dos presentes, a Tabela 6.1 apresenta alguns dos comentários mais frequentes.

Aluno	Resposta
A	<i>“Cama de pregos, pois envolve suspense, e também o de equilíbrio, pois envolve força e trabalho em equipe”.</i>
B	<i>“Cama de pregos já tinha acompanhado por mídias em geral, a surpresa foi grande com a vista tão próxima deste”.</i>
C	<i>“Ondas (Chamas dançantes), onde coloca o gás no cano e quando se fala no microfone, percebe as ondas sonoras, e o redemoinho de fogo”.</i>
D	<i>“O experimento com o fogo e as ondas sonoras”.</i>
E	<i>“Cama de pregos, pois envolve suspense”.</i>
F	<i>“Da “construção civil”” (Equilíbrio humano)</i>
G	<i>“A “construção civil” (cadeira humana), pois foi uma de interação muito interessante.”</i>
H	<i>“Difícil escolher apenas um, pois todos são fascinantes, mas a “construção humana” é bem legal.”</i>
I	<i>“Furacão de fogo dentro da lixeira, interessante e bonito”.</i>
J	<i>“Rotação de corpos. E interessante controlar a velocidade pela altura dos braços”</i>

**Tabela 6.1.** Respostas dos participantes a questão: “Quais dos experimentos você mais gostou? Por quê?”.

Através dos comentários acima (Tabela 6.1), verifica-se que a surpresa ao comprovar a veracidade de alguma teoria falada pelo professor na sala, ou mesmo algo já visto na internet, torna muito mais significativo o entendimento daquele conceito quando presenciado “ao vivo”. Por isso, a “Cama de Pregos”, o “Chama Dançantes” e o “Equilíbrio Humano” são tão chamativos, pois

envolve conceitos que são discutidos, mas que nem sempre são assimilados. A forma como os experimentos são apresentados, usando a interatividade com o público, além dos efeitos sonoros, proporciona descontração e humor o que motiva a aceitação da Física pelos estudantes e isso contribui para engajamento destes em atividades relacionadas à Física, como já foi relatado por Tamiasso e colaboradores (TAMIASSO, et. al.,2012).

Outro questionamento feito foi se participar do “Show Física no Palco” motivou o interesse dos estudantes pela Física. A Tabela 6.2 apresenta alguns comentários.

Aluno	Resposta
A	<i>“É possível, de forma criativa e dinâmica, aprender os conceitos de física de maneira divertida, ainda aprendendo a como utilizar esses conceitos no nosso Cotidiano”.</i>
B	<i>“O show mostra como a física se aplica em coisas do nosso dia-a-dia, causando mais interesse no estudo de física.”</i>
C	<i>“A aula dinâmica e demonstrativa, que possibilita você tentar compreender o experimento e com base nele e seus conhecimentos, avaliar e explicar o porquê.”</i>
D	<i>“Foi algo interessante e diferente, em que vimos a física por um lado mais divertido.”</i>
E	<i>“Foi essencial, pois desperta um interesse no aluno em aprender física, visando que além de estar no seu cotidiano, tem experimentos e aplicações que deixam os alunos fascinados.”</i>
F	<i>“Contribui grandemente por tornar a Física uma coisa divertida, atraente e interessante.”</i>
G	<i>“Com o show de Física é possível ver na prática que escolares possuem aplicação e que não se resume apenas em teoria.”</i>
H	<i>“Como já disse, ver na prática o que é mostrado na teoria, que instiga a querer saber mais sobre o que é estudado.”</i>
I	<i>“O interesse em relação do conteúdo, por que estudar pode ser divertido como ocorreu no show”</i>
J	<i>“Me levou a indagação e a curiosidade de saber algumas práticas e aplicações de conteúdos complexos como por exemplo eletromagnetismo”.</i>

**Tabela 6.2.** Respostas a questão: “Qual a contribuição do Show Física no Palco para aumentar o interesse durante as aulas de Física”.

De acordo com os relatos da Tabela 6.2, verifica-se que o objetivo primordial do “Show Física no Palco” vem sendo atingido, tanto pela reação e

interesse da plateia durante a apresentação quanto pela fala dos professores e alunos após a mesma, pois afirmam que gostaram bastante de ver a Física sendo mostrada de forma divertida, interessante, criativa e dinâmica. Este comportamento mostra que a utilização de diferentes estratégias e metodologias são ferramentas bastante eficazes, fugindo da rotina das aulas tradicionais, com quadro e giz, e contribuindo para estimular o envolvimento e o interesse dos alunos pelo aprendizado da Física.

A Figura 6.1 mostra algumas das fotos das apresentações realizadas para os alunos da Unidade Integrada SESI SENAI-GO, onde foi aplicado e validado o produto educacional.

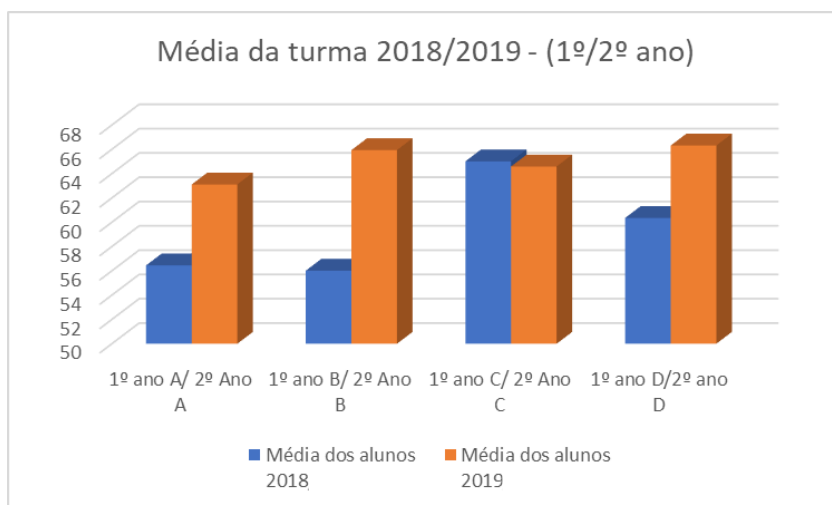


**Figura 6.1.** Fotos de apresentação do show Física no Palco realizado para o SENAI-Catalão GO.

Ainda, como instrumento de avaliação e análise do Produto Educacional, realizou-se um comparativo das médias anual de cada turma, ou seja, as notas obtidas em avaliações aplicadas durante os 4 Bimestres do ano, comparando os valores do ano de 2018, onde os alunos foram expostos a aulas tradicionais sem experimentação, ou seja, os alunos não tinham aulas utilizando os experimentos vistos no Show Física no Palco, com o ano de 2019, onde os alunos tiveram aulas, lembrando os experimentos do Física no Palco, no qual assistiram no primeiro mês do ano de 2019.

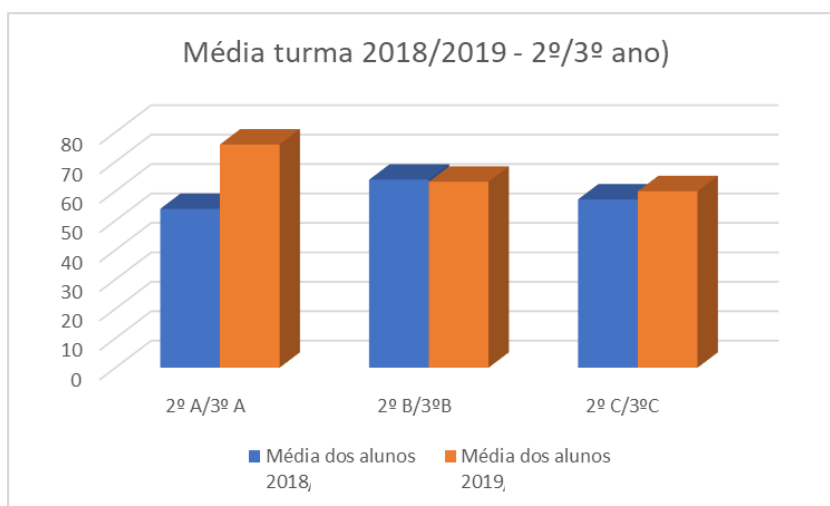
Observa-se, de acordo com os dados apresentados no Gráfico 6.1, a diferença dos resultados da média anual da turma de 2018 dos dois primeiros anos, comparando com os resultados da mesma turma no ano de 2019, onde os alunos estavam no segundo ano. Essas médias tiveram um aumento de 20%, mostrando, assim, que os alunos compreenderam melhor os conceitos físicos envolvidos e ficaram mais

motivados em estudar os conteúdos trabalhados.



**Gráfico 6.1.** Média anual da turma de 2018 no primeiro, e Média anual da turma no segundo ano de 2019.

O Gráfico 6.2 apresenta a média anual das notas do 2º ano de 2018 e os valores das médias dos mesmos alunos agora no 3º ano do Ensino Médio no ano de 2019. Observa-se que, à medida que os alunos foram sendo avaliados, as notas e o interesse pela disciplina aumentaram.



**Gráfico 6.2.** Média anual da turma de 2018 no segundo ano e Média anual da turma no terceiro ano de 2019.

Essa melhoria nos resultados leva em consideração o processo de aprendizagem dos estudantes, que se sentem estimulados a compreender cada fenômeno apresentado, Freire (2010) e vai de encontro com (FREIRE, 2005), onde o estímulo à curiosidade, à postura ativa e à experimentação do aluno, fomentando a análise crítica da realidade

durante a formação, a atividade experimental em sala de aula como um processo coletivo e colaborativo, de crítica e criatividade.

## Capítulo 7

### Considerações finais

Em relação a avaliação das atividades por parte dos alunos, verifica-se que existe sim uma aumento do interesse pela Física. Constata-se por meio da análise dos questionários que os seus sentimentos foram atingidos e despertados, melhorando a aceitação destes, o que parece indicar que esse tipo de atividade provoca reações emotivas que poderia aumentar o interesse dos estudantes pela Ciência, especialmente a Física, inclusive no que é depois mostrado em sala de aula. Os professores relatam que os alunos sempre remetem ao que viram no show, quando algum conceito correlato é apresentado. E de acordo com o que foi apurado preliminarmente, verifica-se que esse tipo de ação, ao despertar reações emocionais, segundo Vigotski (apud GASPAR, 2007), poderá influenciar de forma bem substancial tanto no nosso comportamento quanto nos momentos do processo educativo.

O que se observou com o desenvolvimento deste produto foi que os alunos sentiram prazer e se interessaram por atividades que demonstrem os conceitos dos fenômenos físicos, mostrando a relação destes com o seu dia-a-dia. Isto nos mostra que a forma com que os conteúdos são abordados não favorece a reflexão e interação com o objeto de aprendizagem, o que pode provocar a rejeição de muitos pelo processo de aprendizagem de física. E que usar estratégias que apresentam a Física de forma lúdica são importantes e contribuem para estimular e despertar a curiosidade das pessoas.

Em relatos e observação, nota-se que os alunos de Ensino Médio antes de terem contato com experimentos pensam que física é somente uma grande coleção de fórmulas matemáticas. E, assim, o intuito que sempre tivemos era desmistificar que a física é para poucos, uma noção que muitos alunos trazem consigo desde o Ensino Médio.

Observa-se, também, que além da divulgação científica, o “Física no Palco” produz resultados satisfatórios na sua aplicação pós show. Em outras palavras, dentro da sala de aula, após os alunos terem participado do show, o professor pode fazer uso dos experimentos para explicar conceitos físicos que fazem parte do currículo do Ensino Médio.

Assim, a proposta do estudo é que a inclusão da experimentação explique fenômenos físicos de forma satisfatória, uma vez que demonstrou que os alunos assimilaram o conteúdo teórico de forma mais positiva e demonstraram interesse por

assuntos relacionados a seu cotidiano, como esta presente no currículo do Ensino Médio.

Podemos concluir, então, que a experimentação tem a capacidade de despertar o interesse dos alunos e o desenvolvimento das atividades do Produto Educacional proporcionou uma melhoria na capacidade de aprendizagem deles, pois a construção do conhecimento científico na formação do pensamento é dependente de uma abordagem experimental e se dá majoritariamente no desenvolvimento de atividades investigativas (GIORDAN, 1999).

## Referências Bibliográficas

ARAÚJO, M. S. T. e ABIB, M. L. V. S., *Atividades Experimentais no Ensino de Física: Diferentes Enfoques, Diferentes Finalidades*. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 25 (2), 2003.

BORGES, A. T., *Novos rumos para o laboratório escolar de ciências*. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, Florianópolis, SC, Brasil eISSN 2175-7941, Vol. 19, nº3, 2002.

CHARLOT, B., *Relação com o Saber, Formação dos Professores e Globalização: Questões para a Educação Hoje*. Bernard Charlot; tradução Sandra Loguercio. – Dados eletrônicos. – Porto Alegre: Artmed, 2007.

FELIX, B. L., *Física no Placo*, Monografia (Graduação), Universidade Federal de Goiás, Catalão Go.

FERRACIOLI, L. *A nova sociedade do conhecimento. Educação de qualidade ou morte!* In Mosé P. Estado e Sociedade: Ciclo de Debates. Vitória – ES: LCA Promo, 2006. P. 115-21.

FREIRE, Paulo. *Pedagogia da autonomia*. Rio de Janeiro: Paz e Terra; 2011.

Freire P. *Pedagogia do Oprimido*. Rio de Janeiro: Editora Paz e Terra; 2005.

GASPAR, A. *Um estudo sobre as emoções no contexto das interações sociais em sala de aula*. Investigações em Ensino de Ciências, Porto Alegre, v. 12, n. 1, p. 71-84, 2007.

GIORDAN, M. *O Papel da Experimentação no Ensino de Ciências*. Química Nova na Escola, 1999

LABURÚ, C. E., *Fundamentos para um experimento cativante*. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, Florianópolis, SC, Brasil eISSN 2175-7941, vol. 23, nº3, 2006

MIURA, J., *A interatividade na divulgação de ciências*. In: Anais do XXX Congresso Brasileiro de Ciências da Comunicação, Santos/SP, 2007.

MOREIRA, M. A.; AXT, R. *O papel da Experimentação no Ensino de Ciências*. Tópicos em Ensino de Ciências. São Paulo Distribuidora, São Paulo, 1992.

PINHO ALVES, J. F., *Atividades experimentais: do método à prática construtivista*. Tese (Doutorado), Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências da Educação.

RESNICK, David Halliday & Robert – *Fundamentos de Física*. Vol. 1. Mecânica. 9ª ed. Tradução e revisão técnica Ronaldo Sérgio de Biasi. Rio de Janeiro. LTC, 2012.

RESNICK, David Halliday & Robert – *Fundamentos de Física*. Vol. 2. Gravitação, Ondas e Termodinâmica. 9ª ed. Tradução e revisão técnica Ronaldo Sérgio de Biasi. Rio de Janeiro. LTC, 2012.

Romão JE. *Paulo Freire e a Universidade*. Revista Lusófona de Educação 2013; 24: 89-105.

SILVA, W. M., *Experimentos e a Experimentoteca: Criar para se ensinar física e ensinar física criando*. Monografia (Graduação), Universidade Federal de Goiás, Catalão Go.

TAMIASSO, S.; BASSANI, N.; AMEIXA, G.; GOMES, G.; CAMILETTI, G. - *Aspectos de uma atividade de divulgação Científica que podem contribuir para o trabalho de professores em serviço e para a motivação dos estudantes* – In: Anais do XIV Encontro de Pesquisa em Ensino de Física, Maresias/SP, 2012.

THOMAZ, M. F., *A experimentação e a formação de professores de ciências: uma reflexão*. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, Florianópolis, SC, Brasil eISSN 2175-794.

TIPLER, Paul A. - *Física para cientistas e engenheiros*. Vol. 1. Mecânica; Óptica. 5ª ed. Tradução Fernando Ribeiro da Silva e Mauro Speranza Neto. Rio de Janeiro. LTC. 2009.

TIPLER, Paul A. - *Física para cientistas e engenheiros*. Vol. 2. Oscilações, Ondas e Termodinâmica. 5ª ed. Tradução Fernando Ribeiro da Silva e Mauro Speranza Neto. Rio de Janeiro. LTC. 2009.

## Apêndice A

### Produto Educacional





## A arte de experimentar: Relato de experiência Física no Palco

**Bruna Lays Felix**

**Orientador: Prof. Dr.  
Marcionílio Teles de Oliveira**

04

## Apresentação

Olá queridos amigos, aqui conto a caminhada que tive desde o início da minha trajetória na Universidade Federal de Goiás, onde comecei a minha jornada pelo mundo da ciência, que foi e é tão fascinante. No ano de 2009 fui apresentada ao mundo da experimentação, onde tive a oportunidade de trabalhar com a minha grande amiga, orientadora e professora Dr<sup>a</sup> Ana Rita Pereira, IN MEMORIAN, e juntamente com a equipe da Experimentoteca de Física criamos o show Física no Palco, com intuito de mostrar como a ciência pode ser divertida e que podemos aprender através da experimentação.

Não poderia de deixar de agradecer a minha mãe Ana Maria Felix, minha maior incentivadora, ao professores que fizeram parte dessa caminhada e em especial a minha orientadora, professora e amiga Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Ana Rita Pereira, IN MEMORIAN.

Um grande abraço a todos.

**Bruna Lays Felix**  
Física no Palco

05

## Resumo

Usando os experimentos desenvolvidos na Experimentoteca de Física e tendo o interesse de levar a ciência para um maior número de pessoas possíveis, visando assim popularizar a Física e mostrar a relação desta com outras áreas do conhecimento, foi criado o grupo de teatro “Física no Palco”, um projeto ligado a Experimentoteca de Física coordenado pela prof. Dr.<sup>a</sup> Ana Rita pereira. Ele é inspirado no Show de Física do Instituto de Física da Universidade de São Paulo, criado Pelo Prof. Dr. Fuad Daher Saad a mais de vinte anos, e que hoje motiva inclusive programas de TV, como é o caso do “Ciência é Show”. O Física no Palco é um show interativo, que faz uma mistura de ciência e arte, e que em alguns momentos apresenta experimentos que parece ser mágica, mas durante a apresentação são revelados todos os ‘truques’ dos fenômenos mostrados. Em geral, a plateia é composta por alunos das escolas de ensino médio, mas este pode ser apresentado para pessoas de todas as idades. Quem conduz o show são alunos do curso de Física, ligados ao projeto Experimentoteca de Física, seguindo um roteiro elaborado para destacar determinados fenômenos físicos. A apresentação é toda interativa, pois em todo momento o público é levado a interagir com os experimentos apresentados.

O Física no Palco é um conceito novo na região, uma forma diferente de ensinar Física. Até agora os resultados são excelentes, o retorno do público é significativo e gratificante, e mostra que nosso objetivo está sendo alcançado. As melhorias no Ensino de Física não ocorrem somente para os alunos das escolas da região de Catalão, mas também para os apresentadores, que como alunos do curso de Física, vivenciam na sua atuação uma espécie de estágio, pois durante as apresentações lidam com várias situações de improviso, como acontece com os professores regentes em sala de aula.

06

O Física no Palco é como uma aula experimental, com vários professores para dezenas de alunos, uma forma de ensinar Física que passa longe do método tradicional e que, aparentemente através do retorno positivo dos alunos, se faz eficaz tanto para os alunos que estão na plateia, quanto para nós, futuros professores.

Assim é possível explorar a aplicação do Show Física no Palco em sala de aula, após os alunos terem participado do mesmo, verificando se sua utilização favorece o senso crítico e a curiosidade dos alunos. Pesquisadores da área de ensino de ciências vêm amplamente discutindo a importância e a relevância da utilização de experimentos como instrumentos pedagógicos para abordagens de conteúdos de forma dialógica e que permita uma interação entre o professor e o aluno, despertando, assim, nos alunos o interesse pela Ciência, especialmente a Física. O objetivo deste trabalho é realizar um comparativo de alunos que não participaram do show e, portanto, tiveram aulas tradicionais, focado apenas em conteúdo e resolução de exercícios, com esses mesmos alunos após assistirem o show e terem aulas que envolvam os experimentos que foram apresentados durante o espetáculo.

07

## Sumário



Introdução.....	09
Experimentos e seus respectivos conceitos.....	13
Equilíbrio Humano.....	14
Aplicações das Leis de Newton.....	15
Giroscópio, os halteres e a roda.....	18
Princípio da conservação da quantidade de movimento angular.....	19
Satélite.....	20
Gravidade.....	21
Camã de prego.....	22
Pressão.....	23
Banco de Pressão.....	24
Galão de Pressão.....	26
Lei dos Gases Ideais.....	27
Canhão de vórtice.....	29
Fluidos.....	31
Tornado de Fogo.....	33
Termodinâmica.....	34
Chamas dançante.....	36
Ondas sonoras.....	37
Considerações finais.....	41
Referências Bibliográficas.....	42

08

## Introdução



Como docente da disciplina de Física do Ensino Médio, foi possível perceber a complexidade da aprendizagem de forma efetiva que os estudantes apresentam referentes ao conteúdo desta disciplina, onde o resultado é o baixo desempenho acadêmico.

Perguntas referentes ao processo de ensino-aprendizagem em Física, especialmente em nível médio, tem sido abordada em várias pesquisas nas últimas décadas, as quais tem reconhecido várias causas para tal situação, onde se destaca o quantitativo de estudantes por turma, escassez de professores habilitados para ministrarem a disciplina e a quase inexistência de laboratórios para o desenvolvimento de atividades práticas/experimentais.

A Física é considerada tradicionalmente pelos professores uma disciplina difícil de ser explicada e é comum os estudantes apresentarem dificuldades de aprendizado neste conteúdo. Com isso, faz-se necessário inserir novos métodos de ensino para motivar e aumentar o interesse dos estudantes por esta disciplina.

É trivial os professores de Física alegar que as aulas têm assumido a condição de preparação para a resolução de questões do ENEM, e isto tem sido demonstrado ao observarmos o uso excessivo de livros, ricos em questões preparatórias para as provas, que predominam a memorização e soluções algébricas, o que tem acarretado sérias críticas ao ensino.

Com a falta de motivação e dificuldades de aprendizagem dos conteúdos de Física, a carga horária desta disciplina foi reduzida, o que ocasionou outro problema, que é a quantidade de conteúdos que consiste nos livros didáticos. E, com apenas duas aulas por semana, o docente tem a necessidade de selecionar quais conteúdos que serão abordados diante da complexidade dessas obras, onde muitas vezes, percorre temas desconexos, simplesmente porque é necessário contemplar todos os itens do livro.

09

Com isso em mente, esse trabalho foi desenvolvido com o objetivo de superar partes destas dificuldades até aqui expostas. Busca-se avaliar o uso de atividades experimentais em sala de aula, permitindo, assim, uma aprendizagem significativa por parte dos estudantes nesse nível de ensino.

Com este estudo, procurou-se promover a aproximação prática/teoria no ensino de Física a nível médio, tendo como objetivo aprimorar a compreensão dos conceitos científicos e estimular o interesse pelo trabalho experimental no ensino de Física, bem como o desenvolvimento das competências necessárias para a realização dessa atividade.

De acordo com Thomaz (2000), existem muitos pesquisadores defendendo que a experimentação é uma das ferramentas para oportunizar o desenvolvimento dos estudantes. Alega, também, que para os estudantes estarem motivados a desenvolverem os trabalhos experimentais, é necessário que a atividade experimental seja constituída por um desafio, um problema ou uma questão que o estudante tenha interesse em resolver, ou seja, ele deve estar motivado a encontrar a solução.

O desenvolvimento de atividades experimentais pode ser uma alternativa de mudança dos modelos de aulas tradicionais, para a construção de formas alternativas de ensinar Física. Com a inclusão de experimentos em sala de aula, estaremos frente a um novo comportamento dos estudantes: mais participativos e interessados.

PINHO-ALVES (2000) comenta que a proximidade entre a linguagem científica, as teorias, o conhecimento, ou “senso-comum” do estudante no processo de experimentação, ocasionam o ensino de Física mais eficiente e mais próximo da realidade do estudante.

10

Neste trabalho, os estudantes foram convidados a participar da apresentação “Física no Placo”, desenvolvido pelos alunos de graduação do curso de Licenciatura em Física, da UFG (Universidade Federal de Goiás), agora Universidade Federal de Catalão, que criaram o grupo de teatro “Física no Palco”, um projeto ligado a Experimentoteca de Física, coordenado pela Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Ana Rita Pereira, in memoriam. O Física no Palco é um show interativo, que faz uma mistura de Ciência e Arte, e que apresenta diversos experimentos ligados a Física. O mesmo tem como objetivo misturar o entretenimento com o ensino e, desta forma, o público aprende enquanto se diverte. Alguns autores defendem essa proposta, de ligarmos as emoções com o que aprendemos, e isso se torna mais fácil e satisfatório o processo de ensino-aprendizagem (MURA, 2007). No entanto, (FERRACIOLI, 2006) alerta que atividades desse modelo devem ser direcionadas pela promoção da aprendizagem de qualidade e devidamente planejadas para que a dimensão do entretenimento não supere o objetivo principal. Segundo Mura (MURA, 2007), este conceito vem se consolidando em todo o mundo, comprovando os estudos que defendem que, quando o ser humano está relaxado e despreocupado, está mais propenso em absorver uma mensagem. Para complementar essa questão, Vygotsky estabelece que:

“As reações emocionais exercem a influência mais substancial sobre todas as formas do nosso comportamento e os momentos do processo educativo. Queremos atingir uma melhor memorização por parte dos alunos ou um trabalho melhor sucedido do pensamento, seja como for devemos nos preocupar com que tanto uma como outra atividade seja estimulada emocionalmente. A experiência e estudos mostram que o fato emocionalmente colorido é lembrado com mais intensidade e solidez do que um fato indiferente. Sempre que comunicamos alguma coisa a algum aluno devemos procurar atingir o seu sentimento. Isso se faz necessário não só como meio para melhor memorização e apreensão, mas também como objetivo em si” (Vygotsky apud Gaspar, 2007, p. 73).

11

Com o intuito de promover um ensino mais dinâmico, é de aprovação entre os docentes de Física que a atividade experimental atrai os estudantes. O estudo aqui trabalhado é decorrente dessa evidência e tem por objetivo modificar a dinâmica da sala de aula, adotando experimentos que foram apresentados ao longo do show “Física no Palco”, com a função de envolver os estudantes e promover uma maior participação em sala e, dessa forma, facilitar a aprendizagem significativa dos conteúdos em questão. Assim, foi aplicado um questionário para identificar e verificar a intensidade dos sentimentos que afloraram no decorrer da apresentação do show e, como instrumento de avaliação e análise do produto educacional, foi feito um comparativo das médias bimestrais de cada turma, comparando os valores do ano de 2018, onde os alunos foram expostos a aulas tradicionais sem experimentação, com o ano de 2019, onde os alunos tiveram aulas, lembrando os experimentos do Física no Palco, no qual assistiram ao show no primeiro mês do ano de 2019.

12

### Experimentos e seus respectivos conceitos

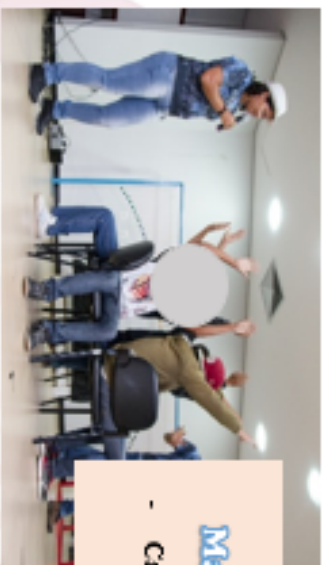
Sabe-se que a experimentação tem a capacidade de despertar o interesse dos alunos e é comum ouvir de professores que ela promove o aumento da capacidade de aprendizagem, pois a construção do conhecimento científico na formação do pensamento é dependente de uma abordagem experimental e se dá majoritariamente no desenvolvimento de atividades investigativas (GIORDAN, 1999).

Indubitavelmente, a educação figura entre os mais importantes, senão o mais importante, parâmetro necessário para o desenvolvimento e crescimento de uma nação. O fato do crescente desinteresse por parte dos alunos em relação aos estudos, bem como a presença de salas de aulas cada vez mais massificadas e heterogêneas, forçou a busca por metodologias de ensino-aprendizagem mais atraentes. Portanto, o uso da Experimentação no ensino de Física se tornou uma forma de despertar no aluno um maior interesse, desde que vinculadas à construção de um conhecimento científico em grupo, à possibilidade de promover discussões e investigações que permitam um enriquecimento do conhecimento a partir dos conhecimentos prévios do aluno.

A seguir, serão descritos os conceitos dos experimentos utilizados em sala de aula, os quais foram utilizados na apresentação do show Física no Palco.

13

## EQUILÍBRIO HUMANO



**Materiais**  
 - Cadeiras.

Figura 01 – Fotos do Equilíbrio Humano. (Equipe Show Física no Palco).

Este experimento tem como finalidade apresentar a ação das forças sobre um corpo de modo a mantê-lo em equilíbrio, ou seja, mostrar uma situação onde a força resultante ser igual a zero. Os apresentadores começam uma discussão de como os engenheiros constroem os prédios, e propõem construir uma estrutura semelhante no palco, porém usando as pessoas no lugar de tijolos, nesse momento são convidados ao palco oito pessoas, quatro meninas e quatro meninos. Então coloca-se as cadeiras na formação de um quadrado, como pode ser visto na figura 1, e pede-se para os quatro meninos sentarem e deitar um no colo do outro, e logo depois retiramos as cadeiras e colocamos as meninas em cima e assim podemos ver que eles conseguem se sustentar nessa formação por alguns instantes, mostrando assim que as forças atuantes nesse sistema estão em equilíbrio, ou seja a força resultante é nula. A seguir o experimento é repetido com as meninas, ameaçando jogar os meninos sobre elas, mas isso não é feito, somente espera-se que elas caiam.

14

## APLICAÇÕES DAS LEIS DE NEWTON

As leis de Newton fundamentam a base da Mecânica Clássica. São um conjunto de três leis capazes de explicar a dinâmica que envolve o movimento dos corpos. Essas leis foram publicadas pela primeira vez pelo físico inglês Isaac Newton, no ano de 1687, em sua obra de três volumes intitulada *Princípios Matemáticos da Filosofia Natural*.

As três leis de Newton (RESNICK, 2012) são usadas para descrever a dinâmica dos corpos, isto é, as causas que podem alterar seu estado de movimento. Em termos simples, as leis de Newton tratam de situações em que os corpos permanecem ou não em equilíbrio. Quando um corpo está sujeito a inúmeras forças que se cancelam, dizemos que ele encontra-se em equilíbrio estático ou dinâmico, ou seja, perfeitamente parado ou se movendo com velocidade constante e em linha reta.

O equilíbrio de um corpo é observado quando a soma de todas as forças que agem sobre ele tem força resultante nula. Para estar em equilíbrio, o objeto deve se encontrar em repouso ou realizando um movimento na mesma direção com uma velocidade constante.

Na Física, o equilíbrio ocorre quando o movimento de um corpo e sua energia interna não se alteram em um intervalo de tempo.

O experimento apresentado está em equilíbrio, pois as forças que atuam sobre ele se anulam, ou seja, há um equilíbrio entre as forças da direita e esquerda, da mesma forma que as forças para cima e para baixo estão balanceadas.

Desta forma, os vetores das forças que agem sobre o objeto, ao serem somados, tem como resultado uma força resultante igual a zero.

15

O equilíbrio de corpo pode ser classificado em estático e dinâmico.

### Equilíbrio estático

O equilíbrio estático é um estado estacionário, quando o objeto está em repouso sobre uma superfície em posição de equilíbrio. Portanto, a velocidade do objeto é nula.

**Exemplo:** uma maçã em cima da mesa, figura 2.



Figura 02 – Diagrama de forças maçã em cima da mesa

As forças verticais que atuam sobre a maçã em uma superfície plana ao serem somadas resultam em zero.

A força peso,  $P$ , é a força exercida pela maçã na mesa. Já a força normal, é a força que a mesa exerce sobre a maçã, na mesma direção da força peso, mas no sentido oposto.

### Equilíbrio dinâmico

O equilíbrio dinâmico ocorre quando a velocidade do objeto é constante. Sendo assim, o corpo realiza movimento retilíneo uniforme. Por percorrer a mesma distância em intervalos de tempo iguais, a aceleração é nula.

**Exemplo:** um carro na estrada.



Figura 03 – Diagrama de forças carro na estrada

16

Ao deslocar-se com velocidade constante em uma trajetória reta, um carro está em equilíbrio dinâmico. Além das forças peso e normal, também estão presentes a força de atrito do ar e a força exercida pelos pneus.

Portanto, as forças verticais e horizontais que atuam sobre ele, ao serem somadas a força resultante zero.

### Exemplos de equilíbrio

Observe a seguir as condições de equilíbrio em diferentes situações.

**Corpo mecânico:** permanece na condição de equilíbrio, ou seja, sem sofrer aceleração, desde que nenhuma força externa aja sobre ele.

**Partícula:** observamos o equilíbrio quando a soma dos vetores das forças que agem sobre ela é igual a zero.

**Corpo rígido:** o equilíbrio ocorre quando o movimento rotacional é constante, pois se considera nesse conjunto de pontos materiais os movimentos de rotação e translação. Portanto, a soma dos vetores de força e torque atuando sobre o corpo é nula.

**Barra articulada:** uma barra homogênea articulada permanece em equilíbrio quando as forças que agem sobre ela (peso, tração e força) são concorrentes.

17





### Materiais

- Copo descartável;
- Papelão e barbaente.
- <https://www.youtube.com/watch?v=h0X08cAj0Et>

Figura 05 – Satélite (Equipe Show Física no Palco)

Ao começarem esta apresentação, os apresentadores questionam como funciona a força de atração entre os objetos, entre as pessoas, entre a Terra e a Lua, diante das discussões eles resolvem fazer um experimento para que eles possam visualizar a tal força de gravidade. Nesse momento convida-se três pessoas para subirem ao palco para que possam realizar o experimento do prato satélite, e assim ajudar a explicarmos a força de gravitação. O experimento do prato satélite é composto por um pequeno suporte amarrado com cordões, onde é colocado um copo descartável com água. A pessoa que manuseia o experimento gira esse suporte de modo que o copo descartável fique de cabeça para baixo em alguns momentos. É feita então uma competição de quem fica mais tempo girando o copo sem deixar a água cair, como pode ser visto na figura 5. Depois da apresentação do experimento, explica-se que a força gravitacional é a força que surge a partir da interação mutua entre dois corpos, sendo uma força atrativa, ela que torna possível ficarmos de pé, ou seja, a Terra exerce essa força sobre os corpos próximos à sua superfície. Acontece também entre a Terra e a Lua, bem como entre a Terra e o Sol, fazendo com que o movimento de translação da Terra aconteça. Da mesma forma ocorre com os outros planetas, onde a força gravitacional atua de forma a fazerem eles permanecerem em suas órbitas.

20

## GRAVIDADE

A Lei da Gravitação Universal (BONJORNO, 1999) estabelece que, se dois corpos possuem massa, eles sofrem a ação de uma força atrativa proporcional ao produto de suas massas e inversamente proporcional a sua distância

Lei física que foi descoberta pelo físico inglês Isaac Newton. Ela é utilizada para calcular o módulo da atração gravitacional existente entre dois corpos dotados de massa. A força gravitacional é sempre atrativa e age na direção de uma linha imaginária que liga dois corpos. Além disso, em respeito à Terceira Lei de Newton, conhecida como Lei da Ação e Reação, a força de atração é igual para os dois corpos interagentes, independente de suas massas. De acordo com Isaac Newton

*Dois corpos atraem-se por uma força que é diretamente proporcional ao produto de suas massas e inversamente proporcional ao quadrado da distância que os separa.*

Por meio da proposição da Lei da Gravitação Universal, foi possível prever o raio das órbitas planetárias, o período de asteroides, eventos astronômicos como eclipses, determinação da massa e raio de planetas e estrelas etc.

A principal fórmula utilizada na gravitação universal estabelece que o módulo da força gravitacional entre duas massas é proporcional ao produto de suas massas e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre elas. A expressão utilizada para o cálculo da força gravitacional é esta:

$$|\vec{F}| = \frac{GMm}{d^2} \quad (2)$$

21

## CAMA DE PREGO

### Materiais

- Pregos;
- Suporte de madeira.
- <https://www.youtube.com/watch?v=aZN3Hh1SqnHU>



Figura 06 – Cama de Prego (Equipe Show Física no Palco)

O experimento da cama de prego começa com um desafio para que um dos apresentadores se sente em um espeto grande, que simula um prego. Porém o desafio não é aceito, citando assim o conceito de pressão, pois pressão é definida como sendo a intensidade de uma força atuando  $F$  sobre uma determinada área  $A$ , e assim é apresentado um novo desafio, sentar na cama de prego, demonstrando assim o conceito de pressão. E assim são chamadas seis pessoas para subirem no palco, e fazemos uma competição de estourar balões sentando na cama de prego, conforme pode ser visto na figura 6. Em algumas situações onde o participante apenas senta ou deita na cama de pregos, em especial, quando o público é de crianças. Após a apresentação do experimento, é explicado como o conceito de pressão funciona na cama de prego, explicando sobre as leis da física no estudo da pressão, dizendo que quanto menor for a superfície em que um corpo se apoia, maior é a pressão exercida por este. Ou seja, subir em um prego sem proteção provavelmente furaria o pé de uma pessoa, mas ao subir em vários pregos o peso é distribuído e a pressão exercida por cada prego se torna pequena. Assim, uma cama de pregos é uma excelente ferramenta para demonstrar o efeito de pressão, aos alunos.

22

## Pressão

É a grandeza física que mede a força aplicada perpendicularmente a uma superfície (RESNICK, 2012). Trata-se de uma grandeza escalar, que pode ser calculada pela razão entre força e área. Em unidades SI, a pressão é medida em pascal, que equivale a newtons por metro quadrado ( $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$ ), mas também pode ser medida em atm ( $1 \text{ atm} = 1,105 \text{ Pa}$ ).

Na física, a pressão é calculada pela razão entre o módulo de uma força  $F$  e uma área  $A$ . Uma vez que a pressão é uma grandeza escalar, ela pode ser definida por sua intensidade e unidade de medida.

A pressão é diretamente proporcional à intensidade da força  $F$  bem como inversamente proporcional à área  $A$ . Confira, a seguir, a fórmula utiliza para defini-la:

$$P = \frac{F}{A} \quad (3)$$

- $P$  – pressão (Pa - pascal)
- $F$  – força (N – newton)
- $A$  – área ( $\text{m}^2$ )

A fórmula faz sentido quando a relacionamos com objetos pontiagudos, tais como agulhas: a área de suas pontas é muito pequena, por isso elas conseguem perfurar a pele tão facilmente, sem que haja a necessidade de aplicar uma força muito grande. Isso também ocorre com objetos cortantes, tais como facas, uma vez que, ao afiá-los, busca-se reduzir-lhes a área de contato, o que aumenta a pressão exercida.

23

Quando uma pessoa se senta em uma cama de pregos, seu peso é dividido em cada ponta de prego. Dessa forma, a pressão sentida pela pessoa é fracionada, ou seja, menor.

Por outro lado, se essa pessoa pressionar apenas o indicador em um dos pregos sentirá dor, pois nesse caso a área será muito menor e consequentemente a pressão aumentará muito, obedecendo a equação 3.

### BANCO DE PRESSÃO



#### Materiais

- Banco com assento de acrílico;
- Placa de acrílico.

Figura 07 – Banco de Pressão (Equipe Show Física no Palco)

A apresentação deste experimento começa com uma discussão de quem seria mais inteligente os homens ou as mulheres, mas que após as tentativas realizadas pelos apresentadores, não é possível chegarem a uma conclusão. Com isso para desempatar a disputa, um menino e uma menina são levados ao palco, onde responde a algumas perguntas, sendo que eles são induzidos a responderem corretamente às perguntas. Como os dois acertam, os apresentadores propõem o desafio do banco de pressão (Figura 7), onde este deve ser transportado de um lado para outro usando apenas uma placa de acrílico e desse modo o experimento é realizado, como pode ser visto na figura 7b e 7c.

24

Ao terminar o experimento explica-se que temos uma placa de acrílico colada ao banco e sobre essa é colocada outra placa de acrílico. Como as superfícies das placas são lisas conseguimos criar um semi-vácuo ao soltarmos uma placa sobre a outra, assim temos a pressão atmosférica atuando como uma cola, que mantém as duas placas unidas, possibilitando assim que o banco seja carregado.

Um dos mais célebres experimentos para demonstrar a pressão atmosférica foi realizado em 1654 por Otto Von Guericke, burgomestre da cidade de Magdeburg e inventor da bomba de vácuo, e o experimento denominado banco de pressão que é realizado durante a apresentação se assemelha ao do Otto, ou seja, Von Guericke juntou dois hemisférios de cobre de aproximadamente 50 cm de diâmetro, vedados com uma junta impermeável ao ar com um anel de couro embebido em óleo.

Com a sua bomba de vácuo, ele tirou o ar do interior da esfera. Otto cavou furando de cada lado da esfera foram incapazes de separar o hemisfério.

Nesse caso, ou o ar exerce uma pressão, ou existe uma força de sucção atuando. Como foi feito vácuo com a bomba, ou seja, ausência de matéria, descarta-se a segunda possibilidade, já que o nada não é capaz de exercer força. Concluímos então que o que mantém os hemisférios unidos é o peso do ar, ou seja, a pressão atmosférica.

A pressão atmosférica é a força exercida pela massa de gases da atmosfera sobre uma determinada superfície. O valor da pressão atmosférica não é constante. Varia em função da altitude do local, sendo menor a medida que a altitude aumenta. Além da variação com relação a altitude, seu valor também sofre alterações ao longo do tempo e em locais de mesma altitude. Isto se deve ao fato da pressão atmosférica estar intimamente relacionada com a temperatura, a densidade e o volume da massa de ar.

25





Provavelmente anéis de vórtice têm sido observados desde a antiguidade, pois podem Il ser facilmente criados, como por exemplo, assoprando o ar com a boca cheia de fumaça. Anéis de vórtice foram estudados matematicamente pelo físico alemão Hermann Von Helmholtz, que num artigo de 1867, mostrou as integrais hidrodinâmicas que regem o comportamento desses anéis de fumaça, os vórtices em movimento.

Em mecânica dos fluidos, os teoremas de Helmholtz descrevem o movimento tridimensional do fluxo de ar em formato de rosquinhas (um toróide), quando este sai do seu ponto de origem.

Pode-se considerar um vórtice qualquer movimento em espiral ao redor de um centro de rotação, sendo que o anel de vórtice, ou vórtice toroidal, é simplesmente uma região do fluido em rotação que se desloca. Nosso canhão de vórtice é composto de um balde, cuja abertura é tampada por um pedaço de lona (ou outro material flexível capaz de cobrir toda a boca do balde) presa por braçadeiras de mangueira. Na outra extremidade, no fundo do balde, foi feito um furo cerca de quatro a cinco vezes menor que a boca do balde

Quanto menor o furo maior a pressão e vice-versa, pois a pressão sobre um furo de menor diâmetro será maior, e isso fará com que o vórtice de ar tenha mais potência, ou seja, o diâmetro do furo é proporcional a “potência de tiro” pretendida. Quando é dado um tapa no material que cobre o balde, no caso a lona, esta empurra uma rajada de ar para a frente. À medida que o ar é empurrado para fora do balde pelo furo menor no fundo, este gira criando o vórtice toroidal rotativo. O ar do lado de fora está parado, fazendo com que a velocidade do ar deslocado, o vórtice, seja maior. O vórtice percorre uma grande distância, até que o atrito com o ar diminui gradativamente a energia armazenada nele, e o anel de fumaça perde energia até parar.

30

De uma forma mais simples, podemos explicar esse fenômeno da seguinte forma: quando o toróide de ar que se move muito rapidamente encontra o ar parado, ele suaviza suas bordas, uma vez que o ar no centro do toróide ainda está em movimento rápido, fazendo com que o ar de dentro force o ar de fora, que até então estava parado, girar. Este é o mesmo efeito que pode ser observado quando uma corrente de água encontra com a água parada e surgem pequenos redemoinhos de água.

## FLUIDOS

Alguns acontecimentos simples do nosso cotidiano evidenciam o comportamento dos fluidos na situação de escoamento e a equação da continuidade. Que ver alguns exemplos? Em um rio com correnteza forte, nas regiões em que a distância entre as margens é menor, a velocidade de escoamento da água é maior e vice-versa. Outro exemplo muito comum do cotidiano é a tentativa de aumentar a velocidade da água em uma mangueira colocando o dedo na saída do tubo. A equação da continuidade relaciona a velocidade de escoamento laminar de um fluido (em que a velocidade do fluido em qualquer ponto fixo não muda com o tempo) com a área disponível para o seu fluir.

Para observarmos o escoamento de um fluido, usamos indicadores, no caso do canhão de vórtice usamos fumaça misturada com o ar contido no balde. Assim a linha de fluxo se torna visível e conseguimos determinar a trajetória desse fluido.

É possível aumentar a velocidade de um gás que sai de um tubo, fechando parcialmente a boca desse tubo, conseguimos esse fato ao recortarmos uma pequena abertura no fundo do balde. Essa é uma demonstração prática do fato de que a velocidade  $v$  do gás depende da área da seção reta. A através da qual o gás escoar.

31

Deduzindo uma expressão que relaciona  $v$  e  $A$  no caso do escoamento laminar de um fluido ideal no canhão de vórtice como o da figura 10 (FESNICK, 2012). O escoamento é para direita e o segmento do canhão tem comprimento  $L$ . A velocidade do fluido é  $v_1$  na extremidade esquerda e  $v_2$  na extremidade direita. A área da seção do canhão é  $A_1$  na extremidade esquerda e  $A_2$  na extremidade direita. Em um intervalo de tempo  $\Delta t$ , um volume  $\Delta V$  do fluido entra no segmento de tubo pela extremidade da esquerda (impulso dado na boca do balde). Como o fluido é incompressível, um volume igual  $\Delta V$  do fluido deve sair pela extremidade direita.



Figura 10 – Funcionamento do Canhão de Vórtice. (Equipe Show Física no Palco).

Usando este volume comum às duas extremidades para relacionar as velocidades e áreas. Para isso, consideramos primeiramente a figura 09, na figura 09 a um elemento e do fluido está prestes a passar pela reta tracejada perpendicular ao eixo do tubo. Se a velocidade do elemento é  $v$ , durante um intervalo de tempo  $\Delta t$  o elemento percorre uma distância  $\Delta x = v\Delta t$  ao longo do tubo. O volume  $\Delta V$  do fluido que passa pela reta tracejada durante o intervalo de tempo  $\Delta t$  é

$$\Delta V = A \Delta x = Av \Delta t \quad (9)$$

Aplicando a equação 19 às duas extremidades do segmento do canhão da figura 08, temos

32

Ou

$$\Delta V = A_1 v_1 \Delta t = A_2 v_2 \Delta t$$

$A_1 v_1 = A_2 v_2$  (Equação da continuidade) (10)

### TORNADO DE FOGO

- Materiais**
- Suporte giratório de madeira;
  - Cesta de lixo;
  - Alcool e fogo.
  - <https://www.youtube.com/watch?v=12WAM6x0Q>



Figura 11 – Tornado de Fogo (Equipe Show Física no Palco)

Nesta apresentação discute-se a formação dos redemoinhos, que são vistos frequentemente nas fazendas. É proposto ao público fazer um tornado no palco, usando como elemento principal o fogo, o denominado tornado de fogo.

Logo após a demonstração do experimento, onde todos ficam impressionados com o efeito visual deslumbrante do mesmo (Figura 11), o fenômeno é explicado da seguinte maneira: quando colocamos a tela e a giramos, o fogo se concentra em uma região muito menor, pois ao girarmos a tela o oxigênio se concentra no meio da tela, assim o fogo fica maior, pois o mesmo se alimenta de oxigênio.

33

O ar quente devido ao aquecimento sobre, e adquire a forma de uma cone devido aos ventos verticais gerados pelo movimento circular da tela, e assim se forma o tornado. Este experimento requer uma atenção especial em sua manipulação, pois pode ser perigoso, por ser realizado com fogo e álcool. Mas é um experimento de grande efeito visual, com ele pode-se trabalhar os fenômenos termodinâmicos e como ocorrem na natureza os processos de transferência de calor, como a interação do fogo e o ar e os efeitos de convecção, pois no experimento sabe-se que o ar quente sobe enquanto que o ar frio desce, ajudando na formação do vórtice, basicamente o que acontece na formação dos redemoinhos e tornados no “mundo real”

## TERMODINÂMICA

Sabemos que Calor é a energia trocada entre um sistema e o ambiente devido a uma diferença de temperatura (TIPLER, 2009) , ou seja, a diferença do grau de agitação das moléculas.

A transferência de energia na forma de calor ocorre por três mecanismos: Condução, convecção e radiação.

Se colocarmos uma frigideira com cabo de metal no fogo por algum tempo, o cabo ficará tão quente que se encostarmos poderemos queimar a mão. A energia é transferida da frigideira para o cabo pelo mecanismo de condução. Os elétrons e átomos da frigideira vibram intensamente por conta da alta temperatura a que estão expostos.

Essas vibrações e a energia associada, são transferidas para o cabo através de colisões entre os átomos, assim uma região de alta temperatura crescente se propaga em direção ao cabo.

34

Considerando uma placa de área A e de espessura L, cujas faces são mantidas a temperaturas T<sub>Q</sub> e T<sub>F</sub> por uma fonte quente e uma fonte fria, a energia transferida na forma de calor através da placa, da face quente para a fria, em um intervalo tempo t. A taxa de condução P<sub>cond</sub> (energia transferida por unidade de tempo) é dada por

$$P_{cond} = \frac{q}{t} = kA \frac{T_Q - T_F}{L} \quad (11)$$

Onde k, a condutividade térmica, é uma constante que depende do material de que é feita a placa.

Mas quando falamos de chamas, ou seja, do nosso tornado de fogo, a energia térmica é transportada para cima por meio da convecção. Esse tipo de transferência de energia acontece quando um fluido, como o ar, entra em contato com um objeto cuja temperatura é maior que a do fluido. A temperatura parte do fluido que está em contato com o objeto quente, no caso do tornado, as chamas provocadas pelo algodão embebido com álcool, essa parte do fluido se expande, ficando menos densa, pois como a plataforma do tornado gira, aumenta a quantidade de O<sub>2</sub> no centro, alimentando o fogo.

Como o fluido expandido é mais leve do que o fluido que o cerca, mais frio, a força de empuxo o faz subir. O fluido mais frio escora para tomar o lugar do fluido mais quente que sobe e o processo pode continuar indefinidamente. Assim convecção é uma transferência de energia associada ao movimento em um fluido produzido por diferenças de temperatura.

E por fim temos a radiação, transferência de energia através de ondas eletromagnéticas, ou seja, o calor que sentimos quando nos aproximamos do tornado de fogo. A taxa P<sub>rad</sub> com a qual um objeto emite energia por radiação térmica é dada por

35

$$P_{RAD} = \sigma \epsilon A T^4 \quad (10)$$

em que  $\sigma (= 5,6704 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4)$  é a constante de Stefan-Boltzmann,  $\epsilon$  é a emissividade da superfície do objeto,  $A$  a área da superfície e  $T$  é a temperatura de sua superfície (em kelvins). A taxa  $P_{abs}$  com a qual um objeto absorve energia de radiação térmica do ambiente, quando este se encontra a uma temperatura uniforme  $T_{amb}$  (em kelvins), é dada por

$$P_{abs} = \sigma \epsilon A T_{amb}^4 \quad (11)$$

## CHAMAS DANÇANTES



### Materiais

- Tubo de Rubens;
- Gás de cozinha e fogo.
- <https://www.youtube.com/watch?v=iusTCKkYtRM>

Figura 11 – Chamas Dançantes (Show Física no Palco)

O objetivo da apresentação deste experimento é a observação do comportamento das ondas sonoras. Nossos sentidos nem sempre conseguem captar, ao observar a natureza, o quão rápido e/ou como se propagam as ondas. Para o aluno muitas vezes é complicado visualizar o comportamento de uma onda longitudinal ou de uma onda transversal. Para mostrar esse comportamento no Física no Palco, duas pessoas são convidadas a subir ao palco e cantar qualquer música no microfone, observando o comportamento das chamas no tubo de Rubens, popularmente conhecido como chamas dançantes, que torna visível o comportamento das ondas sonoras.

36

Logo após a demonstração do experimento, é explicado ao público que o experimento que construímos (Figura 11) foi feito usando um tubo de alumínio, onde em uma de suas extremidades foi encaixada uma mangueira por onde é injetado o gás de cozinha (GLP), e na outra extremidade é conectado um alto falante responsável pela geração de ondas dentro do tubo. Conectado ao alto-falante utilizamos uma caixa de som.

O som é causado pelas vozes dos nossos participantes, provocando zonas de maior e menor compressão do gás, dando origem a uma onda sonora. No decorrer de toda a extensão do tubo existem furos igualmente espaçados. O gás escapa por estes furos, que com o auxílio de um isqueiro ou fósforo é aceso e as chamas “dançam” de acordo com o som.

As variações de pressão no interior do tubo produzem um efeito nas chamas. Quando a onda chega aos limites do comprimento do tubo, ou seja na extremidade oposta de onde o gás é liberado, onde nenhuma transmissão de energia para fora do tubo é possível, pois não há mais furos, a onda sonora é refletida e volta no sentido oposto, causando assim o efeito das chamas dançantes. As zonas que estiverem com maior pressão apresentarão uma chama maior e as de menor pressão consequentemente terão uma chama menor

## ONDAS SONORAS

Onda sonora é definida genericamente como qualquer onda longitudinal. O som é uma onda mecânica que necessita de um meio material para se propagar, existem dois tipos de ondas mecânicas: ondas transversais, como as que existem em uma corda esticada, nas quais as oscilações acontecem com direção perpendicular à direção de propagação da onda e ondas longitudinais, nas quais as oscilações acontecem na direção de propagação da onda (RESNICK, 2012).

37

A velocidade de uma onda mecânica, depende tanto das propriedades inerciais do meio (para armazenar energia cinética) como das propriedades elásticas do meio (para armazenar energia potencial). Assim podemos generalizar a equação que fornece a velocidade de uma onda transversal em uma corda, escrevendo

$$v = \sqrt{\frac{\tau}{\mu}} = \sqrt{\frac{\text{propriedade elástica}}{\text{propriedade inercial}}} \quad (12)$$

em que para ondas transversais  $\tau$  é a tensão da corda e  $\mu$  é a massa específica linear da corda. Assim se o meio de propagação é o gás contido no tubo de rubens, pode-se deduzir que a propriedade inercial que corresponde a  $\mu$  é a massa específica  $\rho$  do gás. Assim a propriedade elástica que no caso de uma corda esticada está associada à deformação periódica dos elementos da corda quando a onda passa por esses elementos, para uma onda sonora que se propaga no gás, a energia potencial está associada à compressão e expansão de pequenos elementos de volume de gás. A propriedade que determina o quanto um elemento de um meio muda de volume quando é submetido a uma pressão (força por unidade de área) é o módulo da elasticidade volumétrica B, definido como

$$B = - \frac{\Delta p}{\Delta v/v} \quad (13)$$

Em que  $\Delta v/v$  é a variação relativa de volume produzida por uma variação de pressão  $\Delta p$  no sistema internacional de medidas recebe o nome de pascal, assim B também é o pascal (Pa). Os sinais de  $\Delta v$  e  $\Delta p$  são opostos: quando aumentamos a pressão sobre um elemento (ou seja,  $\Delta p$  é positivo), o volume diminui ( $\Delta v$  é negativo), assim incluímos um sinal negativo na equação ... para que B seja um número positivo.

Substituindo  $\tau$  por B e  $\mu$  por  $\rho$ , obtemos

$$v = \sqrt{\frac{B}{\rho}} \quad (\text{velocidade do som}) \quad (14)$$

Podemos examinar através deste experimento o deslocamento e variações de pressão associados a uma onda senoidal que se propaga no gás.

38

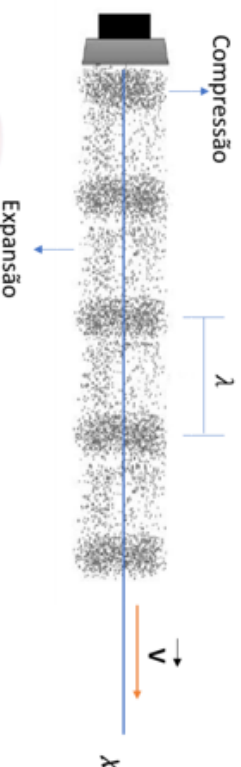


Figura 12 – Esquema de propagação de ondas no Chamas Dançantes.

O som emitido pelo alto falante acoplado em uma das extremidades do tubo, produz uma onda sonora que desloca o elemento de gás mais próximo e comprime o gás; assim como cada elemento de gás afeta o elemento que está ao lado, os movimentos do gás e as variações de pressão se propagam ao longo do tubo na forma de uma onda sonora e esse movimento pode ser visto através das chamas que estão na parte externa do tudo provocados pela saída de gás através dos pequenos furos dispostos ao longo do tubo.

O elemento de gás de espessura  $\Delta x$ , quando a onda atravessa o tubo em um movimento harmônico simples, as oscilações de gás produzidas pela onda sonora são semelhantes as oscilações dos elementos de uma corda produzidas por uma onda transversal, exceto pelo fato que as oscilações do gás é longitudinal. Omo os elementos da corda oscilam na forma  $y(x,t)$  Para representar os deslocamentos  $s(x,t)$  como funções senoidais de  $x$  e de  $t$ , usamos a função cosseno, obtendo.

Por analogia, como os elementos de gás oscilam paralelamente ao eixo  $x$ , podemos escrever os deslocamentos na forma  $s(x,t)$ .

$$S(x,t) = S \sin \cos(kx - \omega t) \quad (15)$$

39

O fator  $S_m$  é a amplitude do deslocamento, ou seja, o deslocamento máximo do elemento de ar em qualquer sentido a partir da posição de equilíbrio.  $k$  é o número de onda,  $\omega$  frequência angular, a frequência  $f$  e o comprimento  $\lambda$ , a velocidade  $v$  e o período  $T$  de uma onda sonora longitudinal são definidos do mesmo modo e obedecem às mesmas relações que para uma onda transversal, exceto que agora  $\lambda$  é a distância para qual o padrão de compressões e expansões associados à onda se repetem.

Quando a onda se propaga no chamus dancantes, a pressão do ar em qualquer posição  $x$  varia senoidalmente. Essa variação é descrita

$$\Delta p(x, t) = \Delta p_m \text{sen}(kx - \omega t) \quad (16)$$

O fator  $\Delta p_m$  é a amplitude da pressão, ou seja, o máximo aumento ou diminuição de pressão associado à onda, essa amplitude estão relacionado à amplitude do deslocamento através da equação

$$\Delta p_m = (\rho v \omega^2 s_m) \quad (17)$$

A intensidade  $I$  de uma onda sonora em uma superfície é a taxa média por unidade de área com a qual a energia contida na onda atravessa a superfície ou é absorvida pela superfície. Matematicamente, temos

$$I = \frac{P}{A} \quad (18)$$

Em que  $P$  é taxa de variação com o tempo da transferência de energia da onda sonora e  $A$  é área da superfície que intercepta o som, assim a intensidade  $I$  está relacionada a amplitude do deslocamento  $S_m$  da onda sonora através da equação

$$I = \frac{1}{2} \rho v \omega^2 s_m^2 \quad (19)$$

40

### Considerações finais

O que se observou com o desenvolvimento deste produto foi que os alunos sentiram prazer e se interessaram por atividades que demonstrem os conceitos dos fenômenos físicos, mostrando a relação destes com o seu dia-a-dia. Isto nos mostra que a forma com que os conteúdos são abordados não favorece a reflexão e interação com o objeto de aprendizagem, o que pode provocar a rejeição de muitos pelo processo de aprendizagem de física. E que usar estratégias que apresentam a Física de forma lúdica são importantes e contribuem para estimular e despertar a curiosidade das pessoas.

Observa-se, também, que além da divulgação científica, o “Física no Palco” produz resultados satisfatórios na sua aplicação pós show. Em outras palavras, dentro da sala de aula, após os alunos terem participado do show, o professor pode fazer uso dos experimentos para explicar conceitos físicos que fazem parte do currículo do Ensino Médio.

Finalizando que a experimentação tem a capacidade de despertar o interesse dos alunos e a utilização deste produto educacional promoveu o aumento da capacidade de aprendizagem, pois a construção do conhecimento científico na formação do pensamento é dependente de uma abordagem experimental e se dá majoritariamente no desenvolvimento de atividades investigativas (GIORDAN, 1999).

41

## Referências Bibliográficas

- FERRARO, N.G. e SOARES, P.A.T. Física Básica – Volume Único. São Paulo: Editora Atual, 1998.
- BONJORNO, J.R.; BONJORNO, R.A.; BONJORNO, V. e RAMOS, C.M. Física Fundamental – Volume Único. São Paulo: Editora FTD, 1999.
- FELIX, B. L.. *Física no Placet*. Monografia (Graduação), Universidade Federal de Goiás, Catalão Go.
- FISICA COM MESTRE ROGER. A pressão atmosférica e a imitação do garraço de água. YouTube 23 de abr. de 2019. Disponível em: < <https://www.youtube.com/watch?v=-Gp6HYtKEaw>>. Acesso em: 14 de julho de 2023.
- FISICA PUC MINAS. Prática: rotação, torque e momento angular. YouTube 11 de out. de 2020. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=3vPb5fwd9dQ>>. Acesso em: 14 de julho de 2023.
- MANUAL DO MUNDO. Como fazer uma cadeira de pregos. YouTube 7 de abr. de 2015. Disponível em: < <https://www.youtube.com/watch?v=aZ3NHK5omHU>>. Acesso em: 14 de julho de 2023.
- MANUAL DO MUNDO. Construímos um MINITORNADO de FOGO. YouTube 10 de abr. de 2020. Disponível em: < <https://www.youtube.com/watch?v=i2WNA6v0QPwQ>>. Acesso em: 14 de julho de 2023.
- MANUAL DO MUNDO. Fizemos um alto-falante de fogo!!! (Tubo de Rubens). YouTube 31 de jul. de 2018. Disponível em: < <https://www.youtube.com/watch?v=juatCKkYR8M>>. Acesso em: 14 de julho de 2023.
- MANUAL DO MUNDO. O surpreendente copo satélite (EXPERIMENTOS DE FISICA). YouTube 03 de jun. de 2014. Disponível em: < <https://www.youtube.com/watch?v=k0XX08cA10tIhtms>>. Acesso em: 14 de julho de 2023.
- RESNICK, David Halliday & Robert – *Fundamentos de Física*. Vol 1. Mecânica. 9ª ed. Tradução e revisão técnica Ronaldo Sérgio de Biasi. Rio de Janeiro. LTC, 2012.

42

- RESNICK, David Halliday & Robert – *Fundamentos de Física*. Vol 2. Gravitação, Ondas e Termodinâmica. 9ª ed. Tradução e revisão técnica Ronaldo Sérgio de Biasi. Rio de Janeiro. LTC, 2012.
- TIPLER, Paul A. - Física para cientistas e engenheiros. Vol 1. Mecânica. Óptica. 5ª ed. Tradução Fernando Ribeiro da Silva e Mauro Speranza Neto. Rio de Janeiro. LTC, 2009.
- TIPLER, Paul A. - Física para cientistas e engenheiros. Vol 2. Oscilações, Ondas e Termodinâmica. 5ª ed. Tradução Fernando Ribeiro da Silva e Mauro Speranza Neto. Rio de Janeiro. LTC, 2009.
- FERRACIOLI, L. *A nova sociedade do conhecimento. Educação de qualidade ou mortes!* In: Mose P. Estado e Sociedade: Ciclo de Debates. Vitória – ES. LCA Promo, 2006. P. 115-21.
- MURA, J. *A interatividade na divulgação de ciências*. In: Anais do XXX Congresso Brasileiro de Ciências da Comunicação, Santos/SP, 2007.
- PINHO ALVES, J. F., *Atividades experimentais: do método à prática construtivista*. Tese (Doutorado), Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências da Educação.
- THOMAZ, M. F., *A experimentação e a formação de professores de ciências: uma reflexão*. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, Florianópolis, SC, Brasil eISSN 2175-794

43



