

HERMES JOSÉ DE OLIVEIRA JÚNIOR

**USO DE DEMONSTRAÇÕES EXPERIMENTAIS NO ENSINO DE FÍSICA E A
AVALIAÇÃO DOS BENEFÍCIOS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, para a obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Orientador: Eduardo Nery Duarte de Araújo

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2021**

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

O48u
2021
Oliveira Júnior, Hermes José de, 1976-
Uso de demonstrações experimentais no ensino de Física e
a avaliação dos benefícios / Hermes José de Oliveira Júnior. –
Viçosa, MG, 2021.

1 dissertação eletrônica (195 f.): il. (algumas color.).

Inclui apêndices.

Orientador: Eduardo Nery Duarte de Araújo.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa,
Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, 2021.

Referências bibliográficas: f.133-138.

DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2022.321>

Modo de acesso: World Wide Web.

1. Física - Estudo e ensino (Médio). 2. Física -
Experiências. I. Araújo, Eduardo Nery Duarte de, 1987-.
II. Universidade Federal de Viçosa. Centro de Ciências Exatas e
Tecnológicas. Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física.
III. Título.

CDD 22. ed. 530.0712

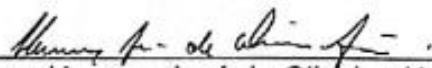
HERMES JOSÉ DE OLIVEIRA JÚNIOR

USO DE DEMONSTRAÇÕES EXPERIMENTAIS NO ENSINO DE FÍSICA E A
AVALIAÇÃO DOS BENEFÍCIOS

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, para a obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 04 de junho de 2021.

Assentimento:



Hermes José de Oliveira Júnior
Autor



Eduardo Nery Duarte de Araújo
Orientador

À minha esposa Renalice e aos meus filhos: Daniel, Isabelle e Davi, que são a razão desta minha conquista.

Aos meus pais e meus irmãos, por tudo que fizeram por mim, contribuindo para me tornar quem sou.

AGRADECIMENTOS

À minha família que por muitas vezes soube compreender minha ausência, e entender que esta conquista é de todos nós.

Ao meu orientador Dr. Eduardo Nery Duarte de Araújo, professor no qual sempre me espelhei. Mesmo durante momentos adversos que passei, sua confiança e motivação foram de inestimável valor para conclusão desta dissertação.

Aos demais professores do programa de pós-graduação do Mestrado em Ensino de Física, pela contribuição em minha formação e desenvolvimento dos meus estudos. Por me permitirem descobrir novos caminhos para a educação.

Aos colegas de curso, deixo minha gratidão pelo companheirismo que sempre estive presente. E à minha amiga de curso Daniela Almeida Cançado, pela parceria nos momentos de estudos para os seminários e avaliações, dando uma enorme contribuição para o meu sucesso nas disciplinas.

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

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudos.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), pela concessão da bolsa de estudos.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos.

À SBF.

RESUMO

OLIVEIRA JÚNIOR, H. J., M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, junho de 2021. **Uso de demonstrações experimentais no ensino de Física e a avaliação dos benefícios**. Orientador: Eduardo Nery Duarte de Araújo.

Ensinar Física para jovens estudantes sempre foi e continua sendo um desafio para os docentes comprometidos em buscar um melhor resultado no processo de ensino-aprendizagem desta ciência. Nesta área de ensino, metodologias eficientes devem ser inovadoras, reveladoras e motivadoras, capazes de atenderem e despertarem os interesses dos estudantes. Neste trabalho, apresentamos uma proposta metodológica para o ensino de Física, em que demonstrações experimentais são realizadas em sala de aula pelo professor, que busca incorporar ao pensamento do estudante elementos de realidade e de experiência pessoal. Nesse sentido, desenvolvemos uma sequência de cinco aulas para cada série do ensino médio com o objetivo de aplicarmos o método proposto. Na primeira aplicamos uma avaliação pré-aula, na segunda desenvolvemos a atividade de demonstração com o auxílio de um aparato experimental simples, na terceira apresentamos o modelo teórico, na quarta aplicamos uma avaliação pós-aula e na quinta aula discutimos os resultados com os estudantes. Para verificarmos se os benefícios desta metodologia são mais vantajosos que os do método tradicional, desenvolvemos em turmas de controle, uma de cada série, a mesma sequência de cinco aulas, mas sem a utilização da demonstração. Então, comparamos os resultados das turmas, por série, a partir da observação do comportamento dos estudantes durante as aulas e pela análise dos dados tirados das avaliações, através de gráficos de acertos e pelos valores do ganho normalizado, introduzido por Hake, de cada turma. Notamos que, por meio de demonstrações experimentais devidamente planejadas, de acordo com a metodologia proposta aqui, o estudante é motivado a engajar mais nas aulas de Física, despertando sua criatividade, curiosidade e interesse pela investigação científica, tornando-o corresponsável pela sua aprendizagem de forma mais significativa.

Palavras-chave: Demonstrações interativas de Física. Ganho de Hake. Ensino de Física. Física no ensino médio.

ABSTRACT

OLIVEIRA JÚNIOR, H. J., M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, June, 2021. **Use of experimental demonstrations in Physics teaching and the evaluation of benefits.**
Adviser: Eduardo Nery Duarte de Araújo.

Teaching Physics to young students has always been a challenge for any teacher committed to seeking a better result in the teaching-learning process of this science. In this area of knowledge, efficient methodologies must be innovative, revealing and mainly motivating, capable of meeting and arousing the interest of the students. In this work, we present a methodological proposal for the teaching of physics, in which demonstrative activities are conducted by the teacher in the classroom, who search to incorporate elements of the reality and personal experience into the student's thinking. In order to verify the efficiency of this methodology, we developed a sequence of lectures for each grade of the high school level, composed by diagnostic tests, use of demonstrative activities based on experimental apparatus and discussion around the observed phenomena. Then, we calculated the learning gains, based on the normalized gain introduced by Hake, in order to compare the classes in which the methodological proposal presented here were applied with those classes in which the traditional teaching method were applied. The results related to the learning acquisition for the different years show the dependence of the normalized gains with the different situations in which the students are inserted. Qualitatively, there was a greater engagement of the students in the scientific discussions in those classes where the demonstrations were applied, thus making the lectures more dynamic.

Keywords: Interactive Physics demonstrations. Hake's gain. Physics teaching. High school Physics.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	9
1.1. Definição do problema	9
2. REFERENCIAL TEÓRICO	13
2.1. A evolução das atividades experimentais no ensino de Ciências	13
2.1.1. Demonstrações experimentais no ensino de Física	17
2.1.2. Por que utilizar demonstrações experimentais no ensino de Física?	20
2.2. A teoria precede e orienta a experiência	21
2.3. O método cognitivo piagetiano	23
2.4. A pedagogia sociocultural de Vygotsky	24
2.5. A teoria de Vygotsky e a demonstração experimental em sala de aula	25
2.5.1. Conceitos científicos e espontâneos	26
2.5.2. Importância em planejar a aula com demonstração experimental	28
2.6. O Ganho Normalizado introduzido por Hake	29
3. CONTEÚDOS ABORDADOS	33
3.1. Movimento de projéteis (Movimento balístico)	33
3.2. Energia mecânica e trabalho	36
3.2.1. O teorema do trabalho e energia cinética	39
3.2.2. Energia potencial gravitacional	41
3.2.3. Conservação da energia mecânica	44
3.3. Momento linear	47
3.3.1. Impulso e momento linear	49
3.3.2. Conservação do momento linear	51
3.4. Momento linear e energia cinética em colisões elásticas unidimensionais	54
3.5. O comportamento ondulatório da luz	56
3.5.1. O princípio de Huygens e a difração da luz	59
3.5.2. Estudo da difração da luz por fendas	64
3.5.3. Estudo da difração da luz por obstáculos	71
3.6. Capacitores	74
3.6.1. Carregando um capacitor	75
3.6.2. Capacitância	77
3.6.3. Energia elétrica armazenada	79
3.6.4. Associações de capacitores	81

3.6.5. Carga e descarga do capacitor em um circuito RC	83
4. METODOLOGIA	88
4.1. A instituição	88
4.2. O corpo discente	89
4.3. Os aparatos experimentais	90
4.4. A organização da sequência de aulas	95
4.4.1. As avaliações pré-aula e pós-aula	96
4.4.2. As ações em cada aula da sequência	97
5. RESULTADOS	100
5.1. Análise qualitativa dos resultados	100
5.2. Análise quantitativa dos resultados	102
5.2.1. 1ª série – Estudo do movimento de projéteis	102
5.2.2. 2ª série – Estudo da difração da luz	111
5.2.3. 3ª série – Estudo de um circuito elétrico simples com capacitores	121
6. CONCLUSÕES	130
REFERÊNCIAS	133
APÊNDICE A – Avaliações pré-aula e pós-aula	139
APÊNDICE B – Produto Educacional	155

1. INTRODUÇÃO

São comuns, no ensino de Física para os estudantes secundaristas, aulas de exposição de conteúdos em quadro-negro, finalizadas com a resolução de uma série de exercícios matemáticos tirados de livros didáticos. Recentemente, esta prática tem sido bastante criticada, pois nem sempre cumpre o objetivo de uma aprendizagem significativa. Em contrapartida crescem, nos meios de publicações da área de ensino de Física, propostas de estratégias diferenciadas de atuação nesse nível de ensino, tal como a estratégia com demonstrações experimentais em sala de aula.

1.1. Definição do problema

O ensino de Ciências na maioria das instituições de educação básica do Brasil, sejam elas públicas ou privadas, ainda é praticado usando métodos que pouco incentivam a criatividade dos estudantes. Em pleno século XXI, no momento em que diversas mídias digitais estão consolidadas e a cada dia evoluindo para, entre outras coisas, facilitar a busca por novas metodologias, a opção pelo modelo de ensino tradicional ainda predomina (MIRANDA, 2017). Esse estilo de instrução centrado no professor “palestrante”, tendo os estudantes como plateia passiva e pouco motivada, raramente explora as variadas ferramentas educacionais desenvolvidas nos últimos anos para um ensino mais interativo, que poderiam auxiliar no aprofundamento analítico dos fenômenos naturais abordados em sala de aula e suas aplicações. Estas novas ferramentas possibilitam aos estudantes compreenderem melhor a importância da Ciência para a sociedade moderna e quais as contribuições em potencial eles seriam capazes de oferecer para o desenvolvimento tecnológico e social no futuro, a partir dos seus conhecimentos científicos. Nesse sentido, Darroz, Rosa e Chiggi (2015, p. 71) afirmam que, “[...] sendo que dos estudantes se esperam serem capazes de compreender o mundo no qual estão inseridos, não como meros espectadores, mas como agentes transformadores.”.

No que diz respeito a Física, há muitos anos o ensino desta disciplina nas escolas brasileiras tem sido discutido por diversos pensadores e pesquisadores, chegando a diferentes conclusões sobre sua eficácia e reconhecimento. É quase um consenso que ele enfrenta dificuldades e problemas endêmicos, que o afetam e trazem consequências preocupantes como, por exemplo, a baixa motivação

encontrada por alunos em estudar e compreender corretamente os conceitos físicos. Neto e Pacheco (1998 apud NARDI, 2001) demonstram que um dos motivos que contribuem para essa situação é a forma como se abordam temas da Física na maior parte das instituições brasileiras de ensino básico, com aulas que investem apenas na apresentação teórica de conceitos, conjuntos de leis e fórmulas, e resolução de exercícios com um caráter preparatório para os exames admissionais do ensino superior. Segundo Rosa e Rosa (2005), passados cem anos da introdução da Física nas escolas no Brasil, permanecem afastados do cotidiano escolar aspectos inerentes à formação científica dos indivíduos, principalmente quando se trata da evolução histórica, social, ética e cultural, relacionada às suas áreas de estudo, induzindo os estudantes a concluir que a Física é uma ciência pronta e acabada.

Dentre as diversas propostas para melhorar o ensino de Física podemos destacar a experimentação, que a partir da década de 50 do século passado foi adotada por algumas poucas escolas com o objetivo de complementar as aulas teóricas – em sala de aula com giz e lousa. Ainda hoje encontramos algumas instituições de ensino médio que investem em aulas experimentais, ministradas geralmente em laboratórios didáticos, com bancadas e equipamentos de custo elevado, muitas vezes utilizados para aulas de Física, Química e Biologia. Entretanto, as atividades experimentais desenvolvidas nestes laboratórios devem ser planejadas de maneira que facilitem a reflexão dos fenômenos estudados, dando liberdade aos estudantes de criarem e debaterem suas hipóteses. Arruda, Silva e Laburú (2001) chamam a atenção para as implicações equivocadas acerca das concepções do laboratório didático, quando este é visto como uma mera ilustração da teoria, ou quando utilizado em uma série de generalizações indutivas levando à uma visão ingênua do aprendizado científico, ou ainda quando utilizado apenas para classificação, medição, emissão de hipóteses, etc, transformando a investigação experimental numa sequência de atividades muitas vezes desconectadas dos conteúdos.

Uma metodologia bastante pesquisada e discutida é a que se utiliza de atividades de demonstrações experimentais, que é uma estratégia interativa empregada, em alguns casos, desde o século XVIII (CARVALHO, 1978). “Essas atividades, quando aplicadas ao ensino de Física, podem contribuir significativamente para a aprendizagem dos estudantes, além de favorecer o desenvolvimento profissional dos professores.” (SHARMA *et al.*, 2010).

Ao aplicar esse modelo interativo de ensino, busca-se deslocar o estudante do papel de mero espectador passivo para o de ator, que ativamente formula hipóteses a partir da sua concepção de natureza e que em seguida tem a oportunidade de verificar, através do experimento demonstrativo, se suas ideias são fisicamente possíveis ou válidas. Este método vai de encontro com a visão construtivista, amplamente difundida, de que a aprendizagem deve envolver os estudantes através da interatividade.

Nesse sentido, o uso de demonstrações experimentais, é uma metodologia que tem significada validade pedagógica no ensino de Física, desde que planejada para ser desenvolvida durante a aula teórica de um conteúdo que tenha relação com a atividade em si, com o objetivo de motivar e desenvolver a capacidade de observação e reflexão do estudante. Esta ação conta com uma postura investigativa do professor e com sua capacidade de criar estratégias que dinamizem o ensino dos conteúdos de Física, tornando-a compreensível e utilizável no dia a dia do estudante. Assim, este método é uma alternativa com considerável capacidade de tornar o ensino de Física mais contextualizado, proporcionando aprendizados sistematizados de saberes científicos voltados para a compreensão da realidade cotidiana, pois as demonstrações permitem aos estudantes o contato com os objetos concretos, tirando-os da zona de equilíbrio e colocando-os em conflito cognitivo, reconstruindo as suas estruturas mentais e retornando à zona de equilíbrio.

Resultados de pesquisas realizadas com grupos de estudantes que participaram de demonstrações experimentais durante as aulas de exposições de conteúdos, tem indicado a possibilidade de oferecer uma forma diferente de aprendizagem em Física, despertando nos estudantes a participação, a curiosidade, a concentração e o interesse em discutir e debater os fenômenos naturais observados, contribuindo assim para uma melhor socialização entre eles (Referências: ALMEIDA JR., 1979; ARAÚJO, ABIB, 2003; MONTEIRO, MONTEIRO, GASPAS, 2003; GASPAS, MONTEIRO, 2005; LABURÚ, 2006; SHARMA *et al.*, 2010; CHAVES, HUNSCHE, 2014; MOREIRA, 2018... entre outros).

Diante deste cenário, o presente trabalho tem como proposta investigar os benefícios que as demonstrações experimentais, realizadas durante as aulas teóricas de Física, podem proporcionar a um grupo de estudantes do Ensino Médio de uma determinada escola pública. Para isso, por meio de uma planejada sequência de aulas, propõe-se aplicar avaliações pré-aula e pós-aula para coletar dados

quantitativos, apresentamos os temas escolhidos e realizamos experimentos demonstrativos – através de aparatos construídos com materiais de fácil obtenção – concomitante a explicação dos conteúdos dos temas. Então, a partir das observações no comportamento do grupo durante o desenvolvimento das aulas e dos dados coletados por meio das avaliações, objetiva-se realizar um estudo analítico dos resultados obtidos, levantamos os principais pontos quanto a interação e a participação dos alunos, plotamos e examinamos gráficos comparativos de acertos por questão e quantificamos os dados coletados através dos cálculos dos ganhos normalizados de Hake. Os resultados deste grupo de aplicação são então comparados aos resultados de um outro grupo distinto (grupo de controle), para o qual a mesma sequência de aulas foi desenvolvida, mas sem a realização das demonstrações experimentais durante as aulas expositivas.

Como forma de fundamentar o estudo desenvolvido neste trabalho, o segundo capítulo expõe uma breve revisão da literatura sobre a utilização de demonstrações experimentais no ensino da Física na educação básica, o diálogo entre ensino e aprendizagem e os referenciais teórico-pedagógicos norteadores – a pedagogia cognitiva de Piaget e a teoria sociocultural de Vygotsky. No terceiro capítulo são abordados os conteúdos da Física escolhidos para o planejamento das atividades da metodologia proposta, que são: tópicos de mecânica, difração da luz e circuito de capacitores. O quarto capítulo apresenta uma sucinta descrição das características da instituição de ensino onde a pesquisa se desenvolveu, bem como dos estudantes envolvidos; descreve também os materiais utilizados na construção dos aparatos experimentais, como foi a implementação da sequência de aulas planejadas e o desenvolvimento metodológico da atividade em cada uma das séries em que foi aplicada. No quinto capítulo são relatadas as percepções no engajamento dos alunos durante as aulas e ainda os resultados obtidos pelas turmas de aplicação e de controle, comparando-os e discutindo-os. Por fim, apresenta-se no sexto capítulo as considerações finais deste trabalho em diversos aspectos.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

As principais preocupações de professores e pesquisadores do ensino de Física atualmente dizem respeito ao processo de aprendizagem do aluno e à maneira como essa disciplina pode ser ensinada. Embora tenham ocorrido muitos avanços nessa área, ainda são necessários muitos estudos referentes ao ensino de Física na realidade brasileira, uma vez que os estudantes em sua maioria continuam a não ver a importância e o significado desta Ciência no contexto de sua formação geral, seja ela pessoal, seja ela profissional.

2.1. A evolução das atividades experimentais no ensino de Ciências

Conferências científicas fundamentadas em demonstrações experimentais são populares desde o século XVII. De acordo com Taylor (1988), a Royal Society of London em 1662 nomeou Robert Hooke como curador e demonstrador oficial da Sociedade. Hooke viabilizava novos experimentos em quase todas as ocasiões em que a Royal Society se reunia, a tal ponto que houve um momento em que se Hooke não fosse capaz de produzir um experimento não havia reunião da Sociedade. Em seu famoso quadro “***A Philosopher giving that Lecture on the Orrery in which a lamp is put in place of the Sun***” de 1766 (Figura 2.1), o pintor inglês Joseph Wright of Derby – acredita-se que inspirado em Isaac Newton – retrata um professor fazendo uma demonstração de um planetário, em que uma lâmpada é colocada no lugar do Sol, para um pequeno grupo de pessoas, documentando a crescente popularidade da ciência entre o público em geral.

No entanto, na Europa, a época de ouro das demonstrações é a segunda metade do século XIX, quando a ciência se torna uma questão de interesse público, se publicam vários livros de caráter científico e a experimentação começa a se popularizar. Mas o que deveria ser ensinado para o público sobre ciências? Como demonstrar de forma didática a maneira como a ciência impregna a vida cotidiana das sociedades? Como explicar e desmistificar os fenômenos observados no dia a dia e suas relações com as tecnologias? À luz destes questionamentos ao longo das décadas seguintes, que em 1985 a Royal Society of London criou uma comissão especial para estudar o problema de como aumentar a compreensão pública da ciência, e por meio do seu Relatório fundador “*Public Understanding of Science*” ou o

acrônimo “*PUS*”, para o debate em torno da Compreensão Pública da Ciência, a comunidade científica do Reino Unido deu total aprovação à apresentação de demonstrações experimentais para o público jovem (TAYLOR, 1985 apud BODMER, 1988, P. 196).

Figura 2.1 – A Philosopher giving that Lecture on the Orrery in which a lamp is put in place of the Sun (Joseph Wright of Derby; Oil on canvas; 1766; Derby Museum and Art Gallery, Derby, England).



Fonte: Disponível em: <https://en.wikipedia.org/wiki/A_Philosopher_Lecturing_on_the_Orrery>. Acesso em: 20 de julho de 2021.

A partir da data de publicação do relatório “*PUS*”, as demonstrações experimentais em salas de aula e auditórios nas escolas europeias, em torno de conteúdos científicos, começaram a ganhar espaço, pois auxiliavam os professores a valorizarem a aula, despertando o interesse dos estudantes para a atividade desenvolvida; ajudando a aprimorar as habilidades de observação, pensamento crítico e análise; levando à investigação e geração de impactantes oportunidades de aprendizagem.

No Brasil, tradicionalmente o ensino de ciências raramente utilizava, como prática pedagógica, aulas experimentais, fossem elas realizadas em laboratórios e guiadas por roteiros, fossem realizadas em salas de aula na forma de atividades demonstrativas. Para Gaspar (2005), apesar de que a partir dos anos 50 do século

XX, algumas poucas escolas terem investido em materiais e salas destinadas ao funcionamento de laboratórios didáticos de física e de química, não se buscou trabalhar a autonomia e o senso crítico dos alunos, limitando-se apenas à tradicional pedagogia, onde a isonomia das disciplinas se destacavam e as aulas teóricas e práticas eram vistas como formas alternativas de expor os conteúdos.

Mesmo com alguns movimentos no sentido de renovação das propostas pedagógicas em ensino de ciências terem surgido ao longo do século XX, predominou ainda neste período modelos de atividades experimentais passivos, nos quais os alunos tinham um comportamento robotizado durante o desenvolvimento das tarefas.

Uma das primeiras propostas para tentar resolver o problema da abordagem cognitiva das experimentações propunha um método de atividades abertas (método da redescoberta), ou seja, uma simples observação dos fenômenos envolvidos em tais atividades, capacitariam os alunos em redescobrir todas as leis e conceitos científicos que descreviam tais fenômenos. Mas tal proposta, ainda hoje defendida por alguns educadores, apresenta um erro epistemológico de como ocorre as descobertas científicas, pois propõe a experimentação como a origem de todas essas descobertas, ou seja, o aluno é colocado diante de uma situação em que ele faz ou vê uma experiência sem saber o que resultará dela, sem hipóteses que a justifique, de onde ele tem que abstrair e descrever todos os conceitos científicos envolvidos na atividade e suas leis.

Ainda hoje, tanto em escolas de nível fundamental e médio, quanto em cursos de graduação, são aplicadas atividades experimentais que, na maioria das vezes, os alunos devem seguir mecanicamente os passos de roteiros previamente estabelecidos, sem questionamentos ou reflexões cognitivas sobre as investigações realizadas em torno dos fenômenos envolvidos.

Diante desta situação, tornou-se necessária a intensificação das pesquisas sobre o uso de metodologias com atividades experimentais, que são especialmente importantes para que os estudantes possam aprender os princípios abstratos das Ciências, pois implicam relações entre os modelos teóricos estudados, os fenômenos reais e as representações matemáticas. Para Araújo e Abib (2003), a utilização adequada de diferentes metodologias experimentais, tenham ela a natureza de demonstração, verificação ou investigação, pode possibilitar a formação de um ambiente propício ao aprendizado de diversos conceitos científicos sem que sejam desvalorizados ou desprezados os conceitos prévios dos estudantes.

Assim, mesmo as atividades de caráter demonstrativo, amplamente utilizada pelos autores pesquisados e que visam principalmente a ilustração de diversos aspectos dos fenômenos estudados, podem contribuir para o aprendizado dos conceitos físicos abordados na medida em que essa modalidade pode ser empregada através de procedimentos que vão desde uma mera observação de fenômenos até a criação de situações que permitam uma participação mais ativa dos estudantes, incluindo a exploração dos seus conceitos alternativos de modo a haver maiores possibilidades de que venham a refletir e reestruturar esses conceitos. (ARAÚJO; ABIB, 2003, p. 190).

Nesse sentido, as relações entre as demonstrações e o trabalho experimental se convertem então em um complemento para os processos de ensino-aprendizagem. Barberá e Valdés (1996, p. 365) em suas investigações sobre o trabalho prático no ensino das Ciências, afirmam que: “É claro, sem nenhuma dúvida, que o trabalho prático e, em particular, a atividade de laboratório são fatores diferenciais no ensino das Ciências.”. Entretanto, Tanis e Shakhashirl (1984) consideram que as demonstrações experimentais não devem ser interpretadas como substitutas dos experimentos de laboratório. No laboratório, os alunos podem manusear os equipamentos e instrumentos de medidas, fazendo suas próprias considerações, nas demonstrações, os estudantes acompanham a realização dos experimentos, bem como a reprodução de fenômenos, feitas pelo professor.

Com o tempo as pesquisas têm coletado uma série de argumentações e evidências que nos levam a considerar a experimentação em laboratório próprio e as demonstrações experimentais como ferramentas fundamentais no processo de ensino-aprendizagem, mas cada uma com uma metodologia de aula diferente.

Segundo Barberá e Valdés (1996), os objetivos mais citados pelos professores pesquisados, que realizavam atividades práticas, foram: promover o desenvolvimento de habilidades, facilitar a coleta de dados e analisar resultados, como forma de compreender e identificar os fenômenos observados; no entanto, os principais objetivos elencados pelos estudantes, também pesquisados, foram: ter maior contato com os fenômenos naturais e obter respostas do funcionamento da natureza a sua volta, como forma de ampliar o interesse pelas Ciências; objetivos estes que muitos professores do ensino médio ignoram ao persistirem em apresentar a Ciência como um fenômeno plano, difícil de contextualizar devido ao rigor dos protocolos.

Barberá e Valdés (1994 apud LAZAROWITZ; TAMIR, 1996), apontam em seus trabalhos que a experimentação é fundamental nos processos acadêmicos no ensino das Ciências e por isso deve sempre se basear nos seguintes princípios:

- Proporcionar experiências concretas e oportunidades para confrontar os equívocos conceituais dos estudantes.
- Dar a oportunidade de manipular dados por meio de computadores.
- Desenvolver habilidades de raciocínio organizacional e lógico.
- Construir e comunicar valores relativos à natureza das Ciências.
- Motivar nos estudantes a criatividade e a investigação.

Estes são princípios que fortalecem a Ciência, de modo que as atividades práticas devem sempre estar relacionadas às ideias chaves das disciplinas, sejam estas de caráter teórico ou prático. O importante nessa abordagem é apoiar a formação de futuros cientistas e demais profissionais com responsabilidade para contribuir com o avanço científico, tanto no âmbito acadêmico quanto no social.

2.1.1. Demonstrações experimentais no ensino de Física

Barreiro e Bagnato (1992), pesquisaram a importância e a capacidade das demonstrações experimentais em tornar o curso de Física mais didático e mais dinâmico, despertando nos estudantes um maior interesse por esta disciplina. Como resultado, eles perceberam que a participação dos alunos submetidos a este modelo de aula é mais efetiva e mais produtiva, se comparadas às aulas teóricas sem demonstrações, ocorrendo uma maior interação entre eles, um aumento no número de questionamentos e um maior diálogo com o professor. Esta interação entre os alunos, bem como a interação destes com o professor, é concordante com a pedagogia sociocultural de Vygotsky, no sentido de que, ao se socializarem, viabilizam o intercâmbio das concepções individuais, orientados por um indivíduo mais capacitado, proporcionando um processo de mudança cognitiva, o que resulta em uma nova estrutura mental.

Nesta perspectiva, Gaspar destaca que:

Como a aprendizagem não resulta da atividade em si, mas das interações sociais que é capaz de desencadear, o objetivo fundamental da atividade teórica ou experimental é promover interações sociais que permitam o ensino

de determinado conteúdo. Portanto, a opção pela atividade experimental deve ter como objetivo as interações sociais que ela pode promover em relação ao conteúdo apresentado. (GASPAR, 2003, p. 24).

Nesse contexto, o professor tem a oportunidade de possibilitar aos estudantes a interação destes, através dos sentidos, com os fenômenos concretos da natureza, construindo assim significados a partir destas atividades. Quem aprende com os sentidos, pinta um quadro do mundo que é concordante com suas experiências, fortalecendo suas estruturas cognitivas e facilitando a associação de conceitos.

Em um trabalho revisional minucioso e amplo, Araújo e Abib (2003) analisam os diferentes enfoques e finalidades das atividades experimentais no ensino de Física, com o objetivo de possibilitar uma melhor compreensão sobre as diferentes possibilidades e tendências dessas atividades tendo em vista subsidiar o trabalho de pesquisadores do ensino e de professores no nível médio. Nesta análise, entre outros aspectos, eles verificaram o grau de direcionamento das atividades experimentais, destacando-se se estas apresentam um caráter de demonstração, verificação ou investigação, bem como se estas práticas apresentam elementos que as aproximariam do ensino tradicional ou se elas estariam baseadas em métodos investigativos típicos de uma abordagem construtivista.

Dentre essas modalidades de experimentação destacou-se, entre os autores examinados, o emprego de demonstrações experimentais em sala de aula, cuja característica marcante é a de possibilitar a ilustração de alguns aspectos dos fenômenos físicos estudados, propiciando aos estudantes a elaboração de representações concretas. Após o estudo das demonstrações propostas, constataram a tendência de elas serem desenvolvidas distintamente através de dois procedimentos metodológicos, podendo ser denominados de Demonstrações Fechadas e Demonstrações Abertas. Sendo que as Demonstrações Fechadas tinham como característica principal a simples ilustração dos fenômenos físicos, consistindo em uma atividade centrada no professor que as realizavam. Em contrapartida, as Demonstrações Abertas tinham um caráter mais flexivo, aberto para discussões, permitindo um aprofundamento conceitual e prático relacionados ao experimento, possibilitando o levantamento de hipóteses e à reflexão crítica, sendo a demonstração o início para as discussões sobre os fenômenos abordados, facilitando a exploração mais profunda dos conteúdos estudados.

Na visão das teorias de aprendizagem, que centram na atividade do aluno a construção do seu conhecimento, as demonstrações experimentais são ineficazes. Entretanto, diversos estudos apontam um impacto positivo dessas demonstrações quando realizadas em sala de aula, tanto no ponto de vista cognitivo quanto na aprendizagem de conceitos, indicando que esta prática pedagógica pode ser válida e significativa. Mas para isso, é de fundamental importância associar esta metodologia a uma fundamentação teórico-pedagógica que dê credibilidade pedagógica e coordene a sua estruturação e o seu desenvolvimento no âmbito escolar.

Gaspar e Monteiro (2005), analisaram impactos das demonstrações experimentais em sala de aula e apresentaram características dessas atividades que permitiram fundamentar o seu uso a partir da teoria sociocultural de Vygotsky, trazendo orientações pertinentes para o aprimoramento do processo de ensino-aprendizagem com o uso de tal metodologia, tendo o professor como sujeito principal do processo. Na formulação deles é o professor quem estabelece a definição de situação, viabilizando uma interação social produtiva; o nível de intersubjetividade da interação, ou seja, a forma e o conteúdo das explicações e abordagens utilizadas; a linguagem mais adequada à interação, incluindo nela, a própria demonstração experimental.

Nessa perspectiva, Sharma *et al.*, (2010) realizaram um estudo muito importante sobre as demonstrações experimentais e que trouxe um impacto muito positivo para a credibilidade desta metodologia. Neste trabalho os autores analisaram e compararam o aumento percentual da compreensão de conceitos físicos de estudantes da Escola de Física da Universidade de Sydney – Austrália, participantes de dois projetos distintos, ao longo de 10 anos. No primeiro projeto, realizado entre os anos de 1999 e 2001, foram desenvolvidas demonstrações experimentais para alunos que haviam estudado Física no ensino médio. Os resultados mostraram que os alunos que apenas assistiram as aulas no modelo tradicional, sem serem expostos às demonstrações, aumentaram a compreensão de conceitos na faixa de 13% a 16%, já os alunos que participaram das aulas demonstrativas antes das aulas teóricas tradicionais aumentaram na faixa de 31% a 50%. No segundo projeto, as demonstrações experimentais foram desenvolvidas entre os anos de 2007 e 2009, com alunos que não tinham estudado Física no ensino médio. Para estes, os resultados mostraram aumento na compreensão de conceitos na faixa de 28% a 42%.

Analisando estes resultados através dos números, questiona-se o porquê desta metodologia não ser aplicada em todo o ensino de Física. A verdade é que outros fatores importantes impactam na efetividade dos resultados das demonstrações experimentais e ao longo deste trabalho discutiremos tais fatores.

2.1.2. Por que utilizar demonstrações experimentais no ensino de Física?

Talvez um dos maiores desafios em ser professor seja encontrar uma forma eficiente de obter e manter a atenção de seus alunos, sendo que esta tarefa tem se mostrado recentemente ser de difícil execução. Diversas metodologias ativas já foram propostas e desenvolvidas ao longo das últimas três décadas, mas o cenário real dentro da sala de aula, em geral, não avançou satisfatoriamente. Atualmente, a atenção exigida pelos docentes aos seus alunos, bem como a realização das atividades propostas a estes, encontra forte concorrência junto às tecnologias e mídias sociais, que tem se mostrado mais atraentes aos estudantes, principalmente os que cursam o ensino médio. Laburú (2006), por exemplo, destaca uma queixa comum dos professores, a falta de interesse dos alunos em aprender o que eles querem ensinar.

Dentro deste contexto, a dificuldade em ensinar Ciências, em particular o ensino de Física, se destaca. Para muitos estudantes, aprender sobre os conceitos e as leis dos fenômenos abordados por esta disciplina é um desafio. Situações como bloqueio cognitivo, trauma, alienação e apatia, são comportamentos comuns para uma grande parte dos alunos que, em razão disso, não se sentem atraídos e tampouco estimulados. Mas aqui cabe a seguinte reflexão: o motivo desse desinteresse e falta de motivação se deve ao fato da complexidade da Física ou da forma como as práticas didático-pedagógicas são elaboradas e aplicadas pelos professores? Kuri (1990), destaca a evidência de uma abordagem tradicional no processo ensino-aprendizagem, em declarações feitas por professores que participaram de sua pesquisa, o que resulta na simples exposição de conhecimentos, tendo como maior recurso o quadro-negro e o giz, levando os estudantes à memorização e evocação, em detrimento à reflexão.

Existem diversos trabalhos acadêmicos que apresentam propostas de mudanças na forma de ensinar Física, a maioria deles tratam de metodologias interativas, nas quais o ensino deve ser centralizado no engajamento e na participação

ativa dos estudantes, sendo o professor o mediador no processo de ensino-aprendizagem. Para Carvalho (2004), as práticas pedagógicas devem se basear em metodologias diferenciadas, que dinamizem a construção do conhecimento e introduzam o saber científico. Já Gaspar e Monteiro (2005, p. 227), enfatizam a utilização de demonstrações experimentais em sala de aula, com o objetivo de despertar a curiosidade e o envolvimento dos alunos.

Diferentemente de experiências orientadas em laboratórios escolares específicos, onde aparatos experimentais, em geral, são utilizados para coletar dados e onde roteiros pré-formatados determinam as ações dos alunos, as demonstrações experimentais, realizadas durante as aulas teóricas, tem a função de auxiliar o professor a estimular e envolver os estudantes de forma que as suas concepções iniciais sejam confrontadas e reformuladas. Segundo Carvalho, a definição de experiências demonstrativas deve ser bem entendida, uma vez que a condução das atividades, durante as aulas, é de responsabilidade exclusiva de um professor ou apresentador:

Experiências demonstrativas são atividades experimentais, qualitativas ou quantitativas, destinadas à visualização de fenômenos, verificação de leis ou medição de constantes físicas, independentemente de serem realizadas por alunos, individualmente ou em grupo, por um professor perante uma turma, ou por um palestrante diante de uma audiência. Note-se que esta designação, bem como a de *demonstrações*, é frequentemente reservada às experiências realizadas por um professor ou palestrante, utilizando-se a expressão *experiências formativas* para aquelas que são realizadas pelos alunos. (CARVALHO *et al.*, 2012, p. 44).

Assim, defender o uso de demonstrações experimentais em sala de aula é acreditar na capacidade que esta ação tem em contribuir para que os estudantes construam conhecimentos científicos através de seus conhecimentos prévios, proporcionando uma aprendizagem em Física mais significativa do que pelo tradicional método de aulas puramente expositivas. Neste sentido, destaca-se a importância dessas demonstrações serem usadas para explicar conteúdos, problematizar e assim contribuir para a sistematização do conhecimento dos educandos.

2.2. A teoria precede e orienta a experiência

Sempre que se deseja realizar uma experiência científica, deve-se saber escolher muito bem o material e o procedimento adotados em função de um objetivo, de uma hipótese. Não se usa, por exemplo, uma fita métrica caso não estivesse interessado em medir o comprimento, ou um voltímetro se não desejasse medir a diferença de potencial (ddp). Assim, conclui-se que toda experiência científica tem uma hipótese que a justifica.

Para Gaspar (2003) nem sempre a hipótese para uma determinada experiência se confirma, sendo necessário a repetição dos procedimentos até que se comprove a sua validade, se isso não ocorrer deve-se buscar novas explicações, novas hipóteses, até que os questionamentos nascidos do experimento sejam respondidos. Em alguns casos, pesquisadores teóricos é que conseguem explicar resultados experimentais, tendo posteriormente tomado conhecimento dos fatos em publicações científicas. “A experiência enriquecedora, que informa, no sentido forte da palavra, é aquela que permite descobrir aquilo que não se esperava, que testa muitas vezes uma hipótese diferente daquela sobre a qual o investigador se tinha debruçado.” (ASTOLFI et al, 1998, p. 109).

O método da redescoberta, citado no quinto parágrafo da seção 2.1, que tem por base as observações com a posterior generalização indutiva, é questionável até mesmo quando o objetivo é redescobrir uma lei empírica, pois a formulação de uma lei científica se baseia em conceitos criados teoricamente e em definições científicas prévias que compõem tal lei.

Um exemplo é a primeira lei de Ohm, uma lei experimental simples de se obter em laboratório: *em um condutor ôhmico (resistência constante) mantido à temperatura constante, a intensidade (i) de corrente elétrica é proporcional à diferença de potencial elétrico (ddp) aplicada entre suas extremidades*. Para enunciar essa lei é preciso definir corrente elétrica e diferença de potencial elétrico. E para defini-los é preciso definir carga elétrica elementar, quantidade de carga elétrica, área de seção transversal de condutor, campo elétrico e potencial elétrico. Se os estudantes desconhecem essas definições é impossível que descubram a lei ou, pelo menos, que expressem suas redescobertas na forma de uma lei física reconhecível.

Nesse sentido, atividades que não possuem uma justificativa, nem conceitos e informações preliminares não tem relevância pedagógica. Para Araújo e Abib (2003, p. 179) “[...] é comum em atividades desta natureza observar-se uma certa limitação na manifestação da criatividade dos alunos, uma vez que o propósito de verificar a

validade de determinadas previsões teóricas ocorre em geral por meio de roteiros previamente estabelecidos.”.

2.3. O método cognitivo piagetiano

Contra-pondo-se aos métodos tradicionais e pouco eficientes da forma de ensinar ciências que predominavam e ainda predominam, as ideias piagetianas ganharam relevância nesse cenário, ainda mais quando as pesquisas científicas em torno das estruturas cerebrais se intensificaram.

O pensamento piagetiano é totalmente alinhado com a significativa importância da interação do indivíduo com o meio que o circunda. Nesta perspectiva, a demonstração experimental em ensino de ciências, na qual o professor é o agente condutor e mediador, é vista não como uma forma alternativa de ensino e sim como o método fundamental na consolidação da aprendizagem cognitiva do aluno.

Nesta perspectiva, Kubli diz:

Em um diálogo reversível, a distribuição de esquemas de assimilação deve ser tão equilibrada quanto possível. (Em um sentido ideal, mas não exequível, o ensino passaria por uma sucessão de estados de equilíbrio de comunicação, tal como em um processo termodinâmico reversível)... isto significa que o professor deveria relacionar, através de argumentação apropriada, os esquemas de assimilação espontâneos do aluno com os esquemas de assimilação que ele quer ensinar, com mínimo de desequilíbrio. Quanto mais a argumentação do professor se relacionar com os esquemas de assimilação do aluno mais reversível se torna o diálogo e mais eficiente será o ensino. (KUBLI, 1979, p. 18).

Focalizando o ensino no aluno, a abordagem piagetiana busca a capacitação da mente para a efetiva absorção dos conteúdos, abandonando-se a ênfase conteudista da metodologia tradicional e investindo em atividades experimentais, adequadamente desenvolvidas, como a prática mais relevante para a aprendizagem.

Entretanto, os esforços para adaptar esta teoria às atividades experimentais, através de uma reformulação curricular e de atividades aceleradoras da formação de novas estruturas cognitivas capazes de contribuir significativamente na construção da estrutura mental de cada estudante e necessária à compreensão dos conceitos científicos, esbarrou num grande obstáculo, a “*ciência do senso comum*”. Esta denominação se refere à formação de conceitos prévios na mente do aluno, que permite explicações dos fenômenos observados de formas contextuais que na maioria

das vezes são incorretas. De acordo com Piaget, essas concepções se amparam em um tipo de repertório inerente às estruturas mentais que todos nós possuímos e que nos encaminha à formulação de determinadas *concepções casuais*. Cabe ao professor, conhecer as concepções dos alunos, para assim poder planejar atividades experimentais adequadas, que as removam ou as substituam. A técnica então é introduzir, durante o desenvolvimento destas atividades, uma situação desequilibradora, cujo objetivo é gerar conflitos cognitivos nos alunos, visando a evolução ou a mudança conceitual na mente deles.

Nesse sentido, Silva e Núñez (2002) explicam que, por meio das demonstrações experimentais a experiência pode-se transformar numa atividade cognoscitiva criadora e, para isso, não aconselham utilizar experimentos reprodutivos, mas investigativos e produtivos, de forma que possam ser construídos e empregados os conhecimentos concebidos.

2.4. A pedagogia sociocultural de Vygotsky

Embora os conflitos cognitivos provocados pelo uso da técnica piagetiana, sejam úteis no processo de aprendizagem por atividade experimental, ela só não é suficiente para que o estudante, de imediato, adote as novas concepções propostas. Sendo assim, um outro fator deve ser adicionado ao se adotar uma metodologia interativa entre o professor e o aluno, para que o educando possa se elevar ao nível de conhecimento do educador, ou pelo menos próximo dele. Este fator deve levar em conta uma *interação social* entre ambos, em que o professor é o sujeito mais capaz. Mas esta interação não pode ser um simples bate-papo ou discussão, ou qualquer conversa informal entre professor e aluno, mas sim uma efetiva troca de experiências em que o parceiro mais capaz toma o papel de mentor, de orientador da atividade.

Nessa perspectiva Gaspar e Monteiro destacam que:

A atividade de demonstração experimental em sala de aula, particularmente quando relacionada a conteúdos de Física, apesar de fundamentar-se em conceitos científicos, formais e abstratos, tem por singularidade própria a ênfase no elemento real, no que é diretamente observável e, sobretudo, na possibilidade simular no microcosmo formal da sala de aula a realidade informal vivida pela criança no seu mundo exterior. Grande parte das concepções espontâneas, senão todas, que a criança adquire resultam das experiências por ela vividas no dia a dia, mas essas experiências só adquirem sentido quando ela as compartilha com adultos ou parceiros mais capazes, pois são eles que transmitem a essa criança os significados e explicações

atribuídos a essas experiências no universo sociocultural em que vivem. (GASPAR; MONTEIRO, 2005, p. 232).

Diferentemente da teoria piagetiana, onde a mente do educando é trabalhada previamente para que um determinado conceito seja aprendido com eficiência, na visão vygotskiana as estruturas mentais se formam no momento em que os conceitos são ensinados, ou seja, a evolução mental está associada à aprendizagem, não necessitando que a mente evolua antes para que a aprendizagem seja possível. Neste caso, deve se tomar cuidado com o limite da capacidade cerebral do aluno, chamada nesta teoria de *zona de desenvolvimento imediato ou proximal*, que corresponde a um desnível cognitivo que cada pessoa tem para adquirir algo novo com a colaboração de um parceiro mais experiente.

Nesse sentido, Vygotsky entende esta colaboração como uma forma de interação social estendida a toda sala de aula, na qual, no papel do agente mais capaz, inclui-se o professor.

Afirmamos que em colaboração a criança sempre pode fazer mais do que sozinha. No entanto, cabe acrescentar: não infinitamente mais, porém só em determinados limites, rigorosamente determinados pelo estado do seu desenvolvimento e pelas suas potencialidades intelectuais. Em colaboração, a criança se revela mais forte e mais inteligente que trabalhando sozinha, projeta-se ao nível das dificuldades intelectuais que ela resolve, mas sempre existe uma distância rigorosamente determinada por lei, que condiciona a divergência entre a sua inteligência ocupada no trabalho que ela realiza sozinha e a sua inteligência no trabalho em colaboração. [...] A possibilidade maior ou menor de que a criança passe do que sabe para o que sabe fazer em colaboração é o sintoma mais sensível que caracteriza a dinâmica do desenvolvimento e o êxito da criança. Tal possibilidade coincide perfeitamente com sua zona de desenvolvimento imediato (VYGOTSKY, 2001, p. 329)

A interação social aqui destacada, tem início quando o tema da atividade proposta, os possíveis resultados e a abordagem adotada para responder e interpretar tais resultados, ficam bem definidos e conhecidos por todos os participantes. Um cuidado importante que se deve ter é com a linguagem, ela deve estar ao alcance de todos. Dessa forma, a tendência é a de que os educandos, imitando o educador, vão adquirindo uma compreensão conceitual do conteúdo que se aproxima do conhecimento deste, não atingindo de imediato a igualdade, pois na visão vygotskiana a aprendizagem demanda um certo tempo de maturação.

2.5. A teoria de Vygotsky e a demonstração experimental em sala de aula

De forma sucinta foi exposto nas seções anteriores as teorias de Jean Piaget e de Lev Vygotsky, aplicadas às propostas de atividades experimentais como forma de facilitar o ensino de ciências. Ambos os pensadores condicionam a aprendizagem de um novo conceito à existência de uma estrutura cognitiva contida na zona de desenvolvimento imediato do indivíduo. Mas a forma de pensar nessa estrutura é que diferencia uma visão da outra.

Este trabalho se fundamenta na teoria sociocultural de Vygotsky, buscando respostas ou indicações a questões ligadas a adoção de demonstrações experimentais em sala de aula, como uma prática pedagógica eficiente no ensino de Física.

2.5.1. Conceitos científicos e espontâneos

Segundo Howe (1996), na teoria vygotskiana todo conhecimento associado à matemática, línguas, ciências sociais, ciências físicas e naturais, ou seja, de origem formal, é conceituado como científico. Tal conhecimento é parte de um sistema de relações – sistemáticos e hierárquicos. Já o conhecimento não-sistematizado e não-organizado, fruto de situações particulares e aprendido da experiência cotidiana, é considerado espontâneo.

A presença ou ausência de um sistema caracteriza a principal diferença entre estes dois conhecimentos. Embora ao classificar todo conhecimento aprendido na educação formal como científico e todo conhecimento proveniente de uma aprendizagem informal como espontâneo, Vygotsky deixa claro a unicidade cognitiva na forma como esses conceitos são adquiridos.

O desenvolvimento dos conceitos espontâneos e científicos – cabe pressupor – são processos intimamente interligados, que exercem influências um sobre o outro. [...] independentemente de falarmos do desenvolvimento dos conceitos espontâneos ou científicos, trata-se do desenvolvimento de um processo único de formação de conceitos, que se realiza sob diferentes condições internas e externas, mas continua indiviso por sua natureza e não se constitui da luta, do conflito e do antagonismo de duas formas de pensamento que desde o início se excluem. (VYGOTSKY, 2001, p. 261).

Vygotsky verificou empiricamente que conceitos espontâneos são utilizados pela criança, antes mesmo de por ela serem compreendidos conscientemente. Ela

tem a ideia, conhece o objeto ao qual a ideia se relaciona, mas não tem consciência do seu próprio ato de pensar. Por outro lado, o conhecimento sobre os conceitos científicos começa com uma definição verbal, formal, aplicado em atividades não-espontâneas. Esses conceitos são de início trabalhados pela criança em um nível de complexidade lógica que só no final de sua trajetória de desenvolvimento são atingidos pelos conceitos espontâneos. Nesse sentido, a criança só consegue ter o domínio e a familiaridade dos conceitos científicos, como tem dos espontâneos, muito tardiamente.

Na concepção de Vygotsky, a mentalidade da criança se manifesta de forma diferente quando se aprende conceitos científicos ou espontâneos.

A relação dos conceitos científicos com a experiência pessoal da criança é diferente da relação dos conceitos espontâneos. Eles surgem e se constituem no processo de aprendizagem escolar por via inteiramente diferente que no processo de experiência pessoal da criança. As motivações internas, que levam a criança a formar conceitos científicos, também são inteiramente distintas daquelas que levam o pensamento infantil à formação dos conceitos espontâneos. Outras tarefas surgem diante do pensamento da criança no processo de assimilação dos conceitos na escola, mesmo quando o pensamento está entregue a si mesmo. [...] considerações igualmente empíricas nos levam a reconhecer que a força e a fraqueza dos conceitos espontâneos e científicos no aluno escolar são inteiramente diversas: naquilo em que os conceitos científicos são fortes os espontâneos são fracos e vice-versa, a força dos conceitos espontâneos acaba sendo a fraqueza dos conceitos científicos. (VYGOTSKY, 2001, p. 263).

Segundo as pesquisas de Vygotsky, uma criança formula facilmente o conceito de irmão, mas uma lei Física, como a de Arquimedes por exemplo, ela tem dificuldades de desenvolver, uma vez que o enunciado desta lei é formalmente apresentado pelo professor, enquanto que, a ideia de irmão jamais seja explicada à criança de uma maneira formal.

O desenvolvimento do conceito de irmão não começou pela explicação do professor nem pela formulação científica do conceito. Em compensação, esse conceito é saturado de uma rica experiência pessoal da criança. Ele já transcorreu uma parcela considerável do seu caminho de desenvolvimento e, em certo sentido, já esgotou o conteúdo fático e empírico nele contido. Mas é precisamente estas últimas palavras que não podem ser ditas sobre o conceito lei de Arquimedes (VYGOTSKY, 2001, p. 264).

Nesse sentido, Gaspar e Monteiro (2005) destacam a importância demonstrações experimentais no estudo da Física, como forma de incorporar ao pensamento do aluno elementos de realidade e de experiência pessoal, dando força

aos conceitos científicos, da mesma forma que a vivência dá aos conceitos espontâneos. A utilização dessas demonstrações sob a orientação do professor é uma metodologia poderosa, no sentido de que ao ser compartilhada com toda a classe, proporciona uma interação entre os alunos que se assemelha a experiência vivencial de cada um fora do ambiente escolar, enriquecendo desta forma a construção do conhecimento científico e fortalecendo os conceitos espontâneos associados à experiência demonstrativa.

2.5.2. Importância em planejar a aula com demonstração experimental

Em análise, uma pedagogia de interação sociocultural como a vygotskiana, não diferencia cognitivamente, uma aula de pura exposição teórica de uma aula onde a teoria seja acompanhada de uma demonstração experimental. Em ambos os casos se percebe uma contribuição para a construção cognitiva em torno do conteúdo abordado. Mas as socializações produzidas durante uma aula com demonstração, pode desencadear uma série de discussões mediadas pelo educador, cujo objetivo fundamental é promover as trocas das diferentes percepções que cada educando carrega consigo, tornando as abordagens explicativas mais acessíveis e eficientes. Logo, a diferença pode se apresentar na qualidade das interações sociais que são geradas nessas aulas, sendo perceptíveis algumas vantagens relativas às aulas com demonstrações experimentais.

Em aulas teóricas que se adotam experiências demonstrativas, o envolvimento do estudante é notavelmente maior. Ele arrisca previsões, opta por diferentes possibilidades, opina sobre procedimentos etc. As aulas são dinâmicas e os estudantes raramente apresentam atitude passiva, de simples ouvintes de um discurso pronto e orientado, como durante as aulas de pura exposição de conceitos e teorias.

Quando o professor leva para a classe um determinado material ou equipamento de demonstração é pouco provável que seus alunos saibam o que ele vai fazer com aquele material ou como funciona aquele equipamento. Mas é bem provável que o aluno faça suposições ou previsões em relação ao que será apresentado. Em outras palavras, é bem provável que cada aluno crie a sua definição de situação, que dificilmente vai ser a mesma do professor (GASPAR; MONTEIRO, 2005, p. 246).

Mas para que essa dinâmica funcione, o professor deve previamente elaborar as ações que serão desenvolvidas, além de estar muito bem embasado e preparado para a condução das atividades, otimizando de forma colaborativa a aprendizagem de cada aluno. Para Vygotsky (2001) a colaboração está vinculada à imitação e nesse sentido o professor tem um papel fundamental na interação com os estudantes durante o desenvolvimento de tarefas. Gaspar e Monteiro (2005), interpretam que o destaque dado por Vygotsky ao professor, de certa forma valoriza a atividade de demonstração em sala de aula, no sentido de que, sendo o professor o parceiro mais capaz a ser imitado no processo, torna-o responsável pelo planejamento eficaz da atividade. Cabendo a ele adaptar, montar, realizar a demonstração, destacar o que de importante deve ser explorado e, principalmente, fazer a ligação entre o fenômeno observado e o modelo teórico estabelecido para possibilitar a compreensão dos conceitos abordados.

A pedagogia das experiências demonstrativas, inspiradas na teoria de Vygotsky, pode ser baseada em quatro critérios – estar ao alcance da zona de desenvolvimento proximal do educando, garantir a presença do educador como parceiro mais capaz, garantir o compartilhamento das questões propostas e dos resultados pretendidos e garantir a adequação da linguagem utilizada.

Desta forma, o ato de planejar e adaptar uma demonstração experimental para a aula de um determinado conteúdo, deve considerar os conhecimentos prévios dos alunos, trabalhando a partir destes; estimular as potencialidades, possibilitando que o estudante supere suas capacidades; ir além ao seu desenvolvimento e aprendizado. “Para que o professor desenvolva um bom trabalho é necessário que ele conheça seu aluno, suas descobertas, hipóteses, crenças, opiniões desenvolvendo diálogo criando situações onde o aluno possa expor aquilo que sabe.” (COELHO; PISONI, 2012, p. 150).

Em resumo, do ponto de vista vygotkiano, toda aula em que se apresente uma atividade experimental que proporcione as condições descritas anteriormente é eficiente, seja ela uma demonstração experimental realizada pelo professor, por um aluno ou grupo de alunos para o restante da turma.

2.6. O Ganho Normalizado introduzido por Hake

Em seu trabalho, que compara metodologias interativas (Interactive Engagement – IE) com métodos tradicionais de ensino (Traditional Methods), Hake (1998) introduziu o ganho normalizado como forma de medir quantitativamente a compreensão conceitual de alunos em temas abordados no curso de Física básica. Utilizando dados coletados de testes pré/pós aulas conceituais, o ganho normalizado, simbolizado por $\langle g \rangle$, corresponde à medida percentual de mudança nas pontuações médias das turmas, quando o mesmo teste é usado para avaliar a compreensão do aluno no início e novamente no final do curso. Este parâmetro tornou-se uma medida padrão em pesquisas que envolvem dados *FCI* (*Force Concept Inventory*), *MD* (*Mechanics Diagnostic Test*) e *MB* (*Mechanics Baseline*). O ganho normalizado é definido como

$$\langle g \rangle = \frac{\langle class(post) \rangle - \langle class(pre) \rangle}{100 - \langle class(pre) \rangle} \quad (1)$$

onde, $\langle class(post) \rangle$ e $\langle class(pre) \rangle$ são, respectivamente, as notas médias percentuais da turma, obtidas num teste aplicado no final do curso (pós-aulas) e no mesmo teste aplicado no início (pré-aulas). Dessa forma, $\langle g \rangle$ é a razão entre o ganho percentual efetivamente obtido com a instrução e o ganho percentual máximo possível, em outras palavras, podemos descrever essa medida como “o valor que os alunos aprenderam dividido pelo valor que poderiam ter aprendido” (MCKAGAN *et al.*, 2017, sem página). Em termos gerais, o ganho normalizado é a fração de conceitos aprendidos por uma turma, que não eram conhecidos no início do curso. De acordo com o valor calculado, o ganho normalizado é classificado da seguinte forma:

- $\langle g \rangle \geq 0,7$ = percentual elevado;
- $0,7 > \langle g \rangle \geq 0,3$ = percentual médio;
- $\langle g \rangle < 0,3$ = percentual baixo.

Os resultados dos ganhos normalizados obtidos por Hake foram surpreendentes, com destaque para a forte diferenciação entre os métodos de ensino, sendo que as metodologias interativas tiveram um desempenho expressivamente superior às metodologias tradicionais, permitindo uma análise consistente sobre diversas turmas de alunos em fases de conhecimento inicial amplamente variado. Dando a impressão de independência entre as turmas ou das pontuações pré-teste,

possibilitando aos professores a comparação da aprendizagem de seus alunos com a de outros alunos em diferentes instituições.

Em contrapartida, estudos posteriores sobre o ganho normalizado, fizeram diversos autores criticarem a universalidade dos dados de uma população de alunos. McKagan *et al.* (2005 apud COLETTA; PHILLIPS, 2017), questionaram a independência do ganho normalizado e da preparação do aluno, encontrando uma “correlação significativa e positiva entre os ganhos FCI normalizados médios da classe e as pontuações pré-teste média da classe”. Também concluíram que o ganho normalizado é impróprio para apurarem dados quantitativos de pesquisas em faculdades públicas e outras instituições com grandes taxas de evasão, porque não mede a aprendizagem dos alunos que desistiram do curso e aumenta a percepção de eficácia de um curso no qual a maioria dos alunos que teriam obtido notas baixas no pós-teste abandonou o curso. Para McKagan *et al.* (2010 apud LASRY *et al.*, 2017), o ganho normalizado “pressupõe implicitamente que as perdas são zero e não contabiliza os alunos com pontuação inferior no pós-teste e no pré-teste”. No entanto, eles demonstraram que as perdas são bastante comuns. A pesquisa não foi conclusiva sobre se essas perdas representam perdas “[...] conceituais reais, ou [...] resultam de palpites corretos no pré-teste que, por acaso, se tornaram incorretos no pós-teste e se essas perdas alteram as conclusões de que foram desenhadas usando o ganho normalizado.” (MCKAGAN *et al.*, 2017, sem página).

Dessa forma, em vez de calcular o ganho normalizado através das médias da turma na pré-aula e na pós-aula, uma alternativa muito comum, para tentar contornar as irregularidades descritas anteriormente, é calcular o ganho normalizado para cada aluno e em seguida calcular a média dos resultados. De acordo com Hake (1998) e Bao (2006), a diferença entre o ganho normalizado das médias e a média dos ganhos normalizados não é expressiva para turmas grandes, mas pode ser um pouco diferente para turmas pequenas, sendo mais adequado para este caso a segunda alternativa. A média dos ganhos normalizados pode ser calculada da seguinte forma

$$g_{ave} = \left\langle \frac{(student(post)) - (student(pre))}{100 - (student(pre))} \right\rangle \quad (2)$$

onde, $student(post)$ e $student(pre)$ são, respectivamente, as notas de cada aluno, obtidas pelo teste aplicado ao final do curso (pós-aulas) e pelo mesmo teste aplicado no início (pré-aulas).

McKagan *et al.* (2007 apud MARX; CUMMINGS, 2017), propõem uma alternativa para otimizar a média dos ganhos normalizados, substituindo o “ganho normalizado individual” por “mudança normalizada individual c ”, definida em termos de pontuação de pré-aula e pós-aula de um indivíduo. Este método visa remover os alunos que pontuam 0 ou 100% no pré-aula e no pós-aula, e usa um cálculo modificado para os alunos que obtiveram ganhos normalizados negativos:

$$c = \begin{cases} \frac{post - pre}{100 - pre} & post > pre \\ \text{excluir} & post = pre = 0 \text{ ou } 100 \\ 0 & post = pre \\ \frac{post - pre}{pre} & post < pre \end{cases} \quad (3)$$

Observe que um denominador diferente é usado quando c é negativo. Se resultado pré-aula = resultado pós-aula, então c é definido igual a zero. Finalmente, se o resultado pré-aula e o resultado pós-aula forem ambos iguais a 0 ou 100, então os dados relativos a estes são omitidos. Coletta e Steinert (2020) defendem o uso da média dos resultados individuais dos estudantes $\langle c \rangle$, para obter o resultado médio da turma, ou seja $c_{ave} = \langle c \rangle$. Um argumento que eles oferecem para se adotar essa nova medida é que, o cálculo da média dos ganhos normalizados individuais (g_{ave}), em alguns casos extremos, pode levar a resultados estranhos.

3. CONTEÚDOS ABORDADOS

Este capítulo tem por objetivo descrever os conceitos físicos envolvidos em cada um dos temas escolhidos para o desenvolvimento deste trabalho, destacando de forma sucinta seus principais elementos. O capítulo está dividido em seis seções dispostas em uma sequência que se baseia na distribuição dos conteúdos de Física pertencentes à matriz curricular do ensino médio das escolas públicas do estado de Minas Gerais, abordando tópicos de mecânica, óptica e eletricidade.

3.1. Movimento de projéteis (Movimento balístico)

O movimento de projéteis constitui uma importante parte do curso de mecânica onde as leis básicas da composição de movimentos ortogonais podem ser estudadas. É por esta razão que este assunto está presente em todos os cursos básicos de física tanto na parte teórica quanto na experimental.

Segundo Hewitt:

Na ausência da gravidade, você poderia atirar uma pedra para o céu com um certo ângulo e ela seguiria uma trajetória retilínea. Por causa da gravidade, entretanto, a trajetória se curva. Uma pedra arremessada, uma bala de canhão disparada ou qualquer objeto lançado por algum meio e que segue em movimento por sua própria inércia é chamado de um projétil. (HEWITT, 2002, p. 175).

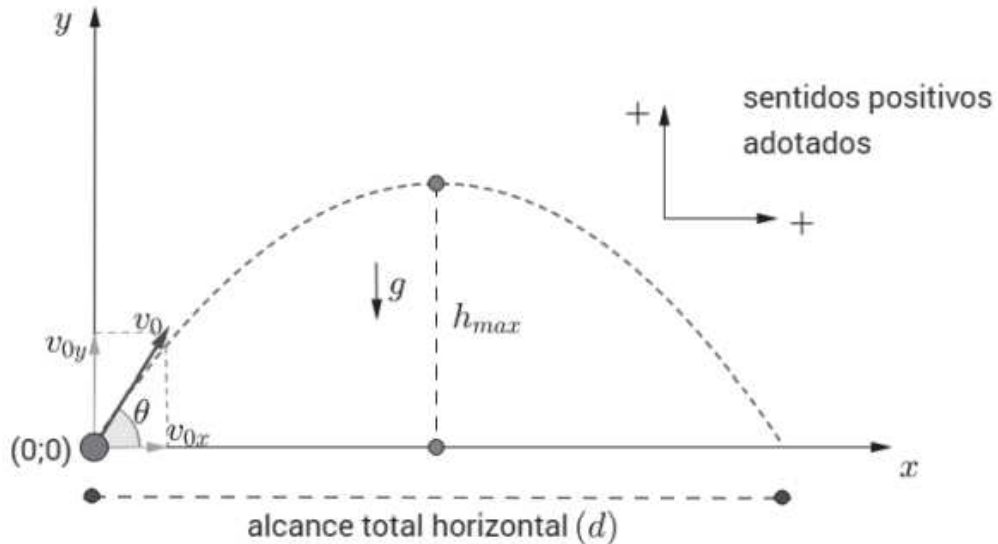
O movimento de um projétil lançado obliquamente, sob ação da gravidade terrestre ($g = 9,8 \text{ m/s}^2$), com velocidade inicial \vec{v}_0 formando um ângulo θ em relação ao plano horizontal de lançamento, pode ser representado pelo gráfico da figura 3.1, no qual é adotado o ponto de lançamento como a origem dos espaços, $x_0 = 0$ e $y_0 = 0$ (0;0), tomando os sentidos para cima e para a direita como sentidos positivos.

Observa-se que nessa situação o projétil, lançado obliquamente, apresenta um arco de parábola como trajetória, ou seja, o projétil realiza um movimento vertical (de subida e descida) e, também, um movimento horizontal, caracterizando assim um movimento resultante em duas dimensões.

Durante seu movimento bidimensional, o projétil acelerado para baixo e seu vetor posição \vec{r} , bem como o vetor velocidade \vec{v} , variam continuamente. Por outro lado, tanto o movimento vertical quanto o horizontal são independentes um do outro, fato que nos permite separar um problema bidimensional em

dois unidimensionais mais fáceis, um para o movimento vertical e outro para o horizontal. (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 1996, v.1, p. 61).

Figura 3.1 – Lançamento oblíquo de um projétil.



Fonte: Criado pelo autor.

Assim, para analisar o movimento do projétil, é necessário decompor o movimento em vertical e horizontal e estudá-los separadamente, de acordo com o princípio da independência dos movimentos de Galileu. **Na análise matemática a seguir são desprezados os efeitos da resistência do ar.**

De acordo com a figura 3.1, pode-se determinar as componentes horizontal e vertical da velocidade inicial \vec{v}_0 da seguinte forma:

$$|\vec{v}_{0x}| = |\vec{v}_0| \cdot \cos \theta \quad (4)$$

e

$$|\vec{v}_{0y}| = |\vec{v}_0| \cdot \sin \theta \quad (5)$$

Os movimentos em direções diferentes e perpendiculares, são independentes e podem ser estudados separadamente. Assim, o estudo do movimento do projétil é dividido em movimento vertical (y) e movimento horizontal (x).

Na direção vertical o movimento é uniformemente variado (MUV), tanto na subida quanto na descida do objeto. Como o sentido positivo é adotado para cima, o vetor aceleração da gravidade é negativo, pois seu sentido é sempre para baixo.

Portanto, o movimento na direção vertical apresenta as seguintes funções:

- Função horária dos espaços

$$y = (v_0 \cdot \sin \theta) \cdot t - \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2 \quad (6)$$

- Função horária da velocidade

$$v_y = (v_0 \cdot \sin \theta) - g \cdot t \quad (7)$$

- Equação de Torricelli

$$v_y^2 = (v_0 \cdot \sin \theta)^2 - 2 \cdot g \cdot (y - y_0) \quad (8)$$

Na direção horizontal o movimento não é acelerado, pois não há forças atuando, ou seja, o movimento é uniforme (EM). O deslocamento horizontal determina o alcance do objeto. Esse movimento apresenta a seguinte função:

- Função horária dos espaços

$$x = (v_0 \cdot \cos \theta) \cdot t \quad (9)$$

No movimento de um projétil, é importante saber que, no ponto mais alto da trajetória, a componente vertical da velocidade é nula ($v_y = 0$) e a componente horizontal (v_x) é constante.

Outro valor importante no estudo deste movimento é o tempo total da trajetória t_{total} , que pode ser obtido da soma dos tempos de subida t_s até a altura máxima e de queda t_q – sendo t_s igual a t_q . Dessa maneira, a expressão matemática para o tempo total é

$$t_{total} = t_s + t_q = 2 \cdot \frac{v_0 \cdot \sin \theta}{g} \quad (10)$$

Também é possível determinar os valores da altura máxima h_{max} e do alcance horizontal máximo d pelas seguintes expressões:

$$h_{max} = \frac{(v_0 \cdot \sin \theta)^2}{2 \cdot g} \quad (11)$$

e

$$d = \frac{v_0^2 \cdot \sin(2\theta)}{g} \quad (12)$$

Em resumo, pode-se determinar a equação da trajetória $y(x)$ descrita pelo projétil, bem como a equação do módulo do vetor velocidade total \vec{v} em qualquer ponto da trajetória, que são, respectivamente,

$$y(x) = (\tan \theta) \cdot x - \left(\frac{g}{2 \cdot (v_0 \cdot \cos \theta)^2} \right) \cdot x^2 \quad (13)$$

$$|\vec{v}|^2 = |\vec{v}_x|^2 + |\vec{v}_y|^2 \quad (14)$$

3.2. Energia mecânica e trabalho

Talvez o leitor já tenha se perguntado: O que é energia? Por mais simples que possa parecer a pergunta, a resposta não é trivial. Definir energia não é uma tarefa fácil. Segundo Halliday, Resnick e Walker (2008, v.1, p. 153), “o termo energia é tão amplo que é difícil pensar em uma definição concisa. Tecnicamente, a energia é uma grandeza escalar associada ao estudo de um ou mais objetos; [...]”. Mas por acharem esta definição um tanto quanto vaga para estudantes, eles apresentam outra, menos rigorosa e mais útil para uma abordagem inicial deste assunto, “Energia é um número que associamos a um sistema de um ou mais objetos.”.

Em muitos casos pode-se entender por energia aquilo que nos capacita a realizar tarefas, como: levantar peso, subir uma escada, praticar um exercício físico etc. Pode-se também observar que a energia se manifesta de diversas formas: energia elétrica, energia térmica, energia química, energia radiante e energia mecânica. Fato é que nenhum movimento pode ser iniciado sem algum tipo de energia. A energia pode ser transferida de um corpo para o outro e pode também ser transformar de uma modalidade em outra.

No estudo do movimento de um corpo é fundamental analisar a energia mecânica associada, sendo necessário definir a sua posição e a sua velocidade em relação ao referencial adotado. “[...] energia mecânica – a forma de energia devido à posição relativa dos corpos interagentes (energia potencial) ou devido aos seus movimentos (energia cinética). A energia mecânica pode estar na forma de energia potencial ou energia cinética, ou ambas.” (HEWITT, 2002, p. 116).

De acordo com as leis de Newton, mudanças no movimento de um objeto dependem tanto da força aplicada a ele como de quanto tempo é a sua atuação. Entretanto, na análise do movimento do objeto, pode-se relacionar também a força e o deslocamento. Neste caso trata-se de uma quantidade denominada **trabalho**. “Quando erguemos uma carga contra a gravidade da Terra, estamos realizando trabalho. Quanto mais pesada for a carga ou mais alta ela for erguida, maior é o trabalho realizado. Dois ingredientes entram em cena sempre que é realizado trabalho: (1) a aplicação de uma força e (2) o movimento de alguma coisa pela força aplicada.” (HEWITT, 2002, p. 115).

Calcular o trabalho é uma forma de medir a energia transferida. De acordo com Halliday, Resnick e Walker (2008, v.1, p. 155), “trabalho é a energia transferida para um objeto ou de um objeto através de uma força que age sobre o objeto. Quando a energia é transferida para o objeto, o trabalho é positivo, quando a energia é transferida do objeto, o trabalho é negativo.”. Portanto, trabalho é um processo de transferência de energia.

Aqui a palavra trabalho não está sendo utilizada no sentido informal, a qual usamos em nosso cotidiano, como quando se quer especificar qualquer esforço físico ou mental. “Assim, por exemplo, se você faz força contra uma parede você se cansa por causa das contrações musculares repetidas e está, no sentido coloquial, realizando um trabalho. Entretanto, como esse esforço não produz uma transferência

de energia para a parede ou da parede, o trabalho, de acordo com nossa definição, é nulo.” (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2008, v.1, p. 155).

No caso particular de uma força constante \vec{F} , aplicada a uma partícula qualquer, que se desloca de uma posição inicial (A) para uma posição final (B), como mostra a figura 3.2, o trabalho realizado por esta força é

$$W = |\vec{F}| \cdot |\vec{d}| \cdot \cos \theta \quad (15)$$

Sendo que:

W é o trabalho.

$|\vec{F}|$ é o módulo da força constante aplicada sobre a partícula.

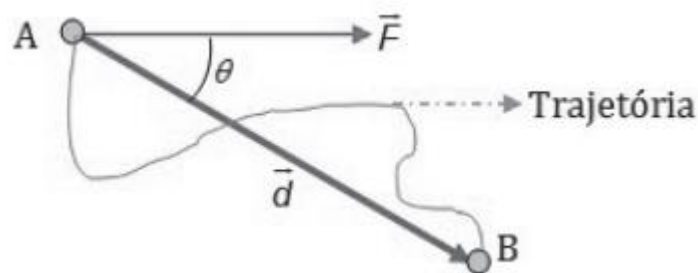
$|\vec{d}|$ é o módulo do deslocamento da partícula.

θ é o ângulo entre a força e o deslocamento.

A unidade no SI da grandeza trabalho é newton multiplicado por metro, definido como joule (J), que é a mesma unidade utilizada para a energia.

$$1 J = 1 N \cdot m$$

Figura 3.2 – Trabalho realizado por uma força constante.



Fonte: Criado pelo autor.

Se houver mais de uma força sendo aplicada em uma partícula, o cálculo do trabalho resultante é feito da seguinte forma:

$$W_R = \sum_{i=1}^n W_i = |\vec{F}_R| \cdot |\vec{d}| \cdot \cos \theta \quad (16)$$

Tendo em vista o que foi exposto sobre o conceito o trabalho e a forma de calculá-lo, conclui-se que o trabalho é nulo quando a força não transfere nem transforma energia. Assim, pode-se dizer que o trabalho será nulo em três situações:

- Força nula ($|\vec{F}| = 0$). Se não houver força, não há trabalho.
- Deslocamento nulo ($|\vec{d}| = 0$). Se não houver deslocamento, mesmo que haja força, o trabalho é nulo.
- Força perpendicular ao deslocamento ($\theta = 90^\circ \rightarrow \cos \theta = 0$). Se a força é perpendicular ao deslocamento, não há transferência nem transformação de energia, portanto o trabalho é nulo. No caso de forças inclinadas, somente a componente tangencial da força realiza trabalho, a componente perpendicular ao deslocamento não realiza trabalho. “A força realiza um trabalho nulo quando não possui uma componente vetorial na direção do deslocamento”. (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2008, v.1, p. 156).

No caso de uma força variável, o trabalho realizado sobre a partícula da figura 3.2 não pode ser calculado pela expressão (15). Neste caso, segundo Halliday, Resnick e Walker (1996, v.1, p. 137), “[...] vamos supor que a força que age sobre uma partícula e o deslocamento dessa partícula estejam sobre a mesma reta, que vamos tomar como sendo o eixo dos x . Vamos supor ainda que o módulo da força não seja constante, mas dependa da posição da partícula.”. Assim, o trabalho realizado por uma força variável sobre a partícula é definido como:

$$W = \int_{x_i}^{x_f} F(x) dx \quad (17)$$

3.2.1. O teorema do trabalho e energia cinética

A energia cinética, de acordo com Halliday, Resnick e Walker (2008, v.1, p. 153), “[...] é a energia associada ao estado de movimento de um objeto. Quando mais depressa o objeto se move, maior é a sua energia cinética. Quando um objeto está em repouso, a energia cinética é nula.”.

A energia cinética é uma grandeza escalar que depende da massa do objeto em movimento e do módulo da sua velocidade. Portanto, a expressão que define a energia cinética de um corpo é

$$K = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \quad (18)$$

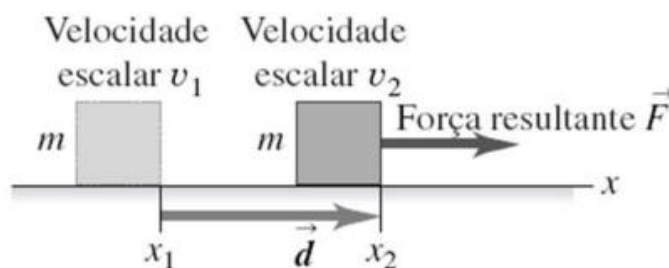
Lembrando que todas as manifestações da energia são medidas na unidade joule (J), no SI.

Para um objeto que se move com certa velocidade, se sua massa aumenta a energia cinética aumenta proporcionalmente. Já, se a massa não se altera e a velocidade do objeto aumenta, a energia cinética aumenta quadraticamente.

“Quando um carro acelera, seu ganho de energia cinética provém do trabalho realizado sobre ele. Ou quando um carro torna-se mais lento, é porque um trabalho foi realizado para reduzir sua energia cinética.” (HEWITT, 2002, P. 118). Nesse sentido, o trabalho total (ou resultante) realizado pelas forças externas sobre um corpo durante o seu deslocamento, também está associado diretamente com a sua variação de velocidade.

A figura 3.3 ilustra um corpo de massa m que é acelerado pela ação de uma força resultante \vec{F} , tendo sua velocidade variada de \vec{v}_1 até \vec{v}_2 .

Figura 3.3 – Força resultante \vec{F} realizando trabalho sobre um corpo em movimento.



Fonte: Disponível em:

<https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/3010250/mod_resource/content/1/Aula3%20e%204.%20Trabalho%20e%20energia%20%2B%20Conserva%C3%A7%C3%A3o%20de%20energia.pdf>. Acesso em 01 setembro de 2021.

Caso a força resultante seja constante, o trabalho realizado por ela sobre o corpo pode ser calculado pela seguinte expressão:

$$W = \frac{m \cdot |\vec{v}|^2}{2} - \frac{m \cdot |\vec{v}_0|^2}{2} \quad (19)$$

Sendo o mesmo que:

$$W = K - K_0 = \Delta K \quad (20)$$

A expressão (20) é definida como **teorema do trabalho e da energia cinética**, que afirma que o trabalho calculado é igual à variação da energia cinética do corpo.

No caso em que a velocidade do corpo diminui $|\vec{v}| < |\vec{v}_0|$ durante o deslocamento, o trabalho da força é negativo. Do contrário, se a velocidade do corpo aumenta $|\vec{v}| > |\vec{v}_0|$, o trabalho da força é positivo.

No caso de uma força variável, atuando linearmente sobre um objeto, o teorema do trabalho e da energia cinética continua sendo válido, mas deve ser usada a seguinte expressão:

$$W = \int_{x_i}^{x_f} F(x) dx \quad (21)$$

3.2.2. Energia potencial gravitacional

“Um objeto pode armazenar energia por causa de sua posição com respeito a um outro objeto. Esta energia é chamada de **energia potencial**, porque neste estado de armazenamento ela tem o potencial de realizar trabalho.” (HEWITT, 2002, p. 116). Ou seja, em algumas situações, a energia parece estar armazenada para ser recuperada depois. É o que ocorre, por exemplo, quando uma pessoa está no alto de um prédio para praticar o esporte BASE jumping, como mostra a figura 3.4. Faz muito sentido pensar que, naquela posição, a pessoa possui certa energia armazenada e que, se ela saltar do prédio, converterá essa energia armazenada em energia cinética durante a queda.

Figura 3.4 – Homem praticando BASE jumping na Torre Safira, Istambul.



Fonte: Disponível em: <https://en.wikipedia.org/wiki/BASE_jumping>. Acesso em 02 de setembro de 2021.

Outro exemplo de energia armazenada, é na situação em que um arco é vergado, ou uma tira de borracha quando é esticada, pois em ambos os casos o corpo é capaz de realizar trabalho. Segundo Halliday, Resnick e Walker (1996, v.1, p. 155), “na linguagem usada para descrever os fenômenos que envolvem trabalho e energia, dizemos frequentemente que a energia potencial foi armazenada num sistema, no sentido de que essa energia pode se manifestar mais tarde em forma de movimento.”.

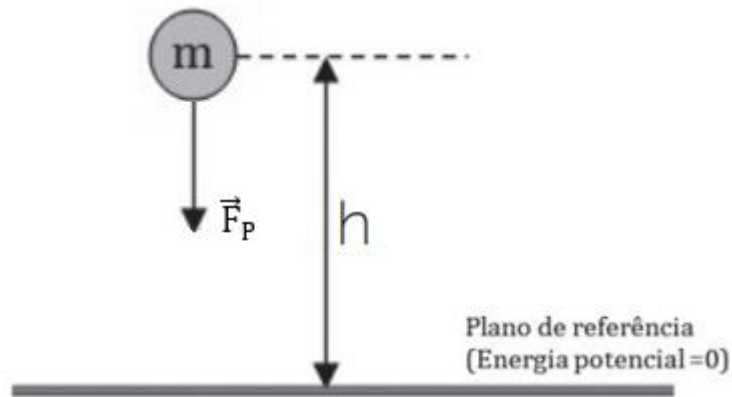
Quando objetos são erguidos contra a gravidade terrestre é realizado trabalho sobre eles, fazendo com que estes adquiram energia. Esta energia, associada à posição elevada dos objetos, é chamada de energia potencial gravitacional. A energia potencial gravitacional é uma consequência do campo de forças gravitacionais que existe em torno da Terra.

Para quantificar a energia potencial gravitacional, é necessário considerar um plano horizontal de referência, no qual ela seja nula. Normalmente, adota-se o solo (superfície da Terra) para ser este plano e vale ressaltar que o zero da energia potencial é apenas um valor de referência. “A energia potencial gravitacional associada a um sistema partícula-Terra depende apenas da posição vertical y (ou altura) da partícula em relação à posição de referência $y = 0$, e não da posição horizontal.” (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2008, v.1, p. 185).

Considere uma partícula de massa m , situada a uma altura h acima do plano de referência (figura 3.5), e seja $|\vec{g}|$ o módulo da aceleração da gravidade no local. Se

a partícula for abandonada, ela cairá devido à ação da força peso (\vec{F}_P). Assim, desprezando os efeitos da resistência do ar, a energia potencial gravitacional se transformará, gradativamente, em energia cinética. Quando a partícula chegar ao plano de referência, onde a energia potencial gravitacional é nula, toda a energia potencial inicial terá se transformado em energia cinética. Essa transformação da energia potencial em energia cinética é exatamente o trabalho realizado pela força peso.

Figura 3.5 – Altura h de um objeto de massa m em relação ao plano de referência ($y = 0$).



Fonte: Criado pelo autor.

O produto do peso pela altura fornece o valor da energia potencial gravitacional da partícula, simbolizada pela letra U e com unidade de medida em joule (J). Dessa forma,

$$U_g = m \cdot |\vec{g}| \cdot h \quad (22)$$

Inicialmente, na altura h acima do solo, a energia potencial gravitacional da partícula é máxima e, durante a queda, essa energia diminui, se transformando em energia cinética. Ou seja, à medida que a energia cinética da partícula aumenta, a energia potencial gravitacional diminui, o que pode ser escrito da seguinte forma:

$$W_{\text{peso}} = -\Delta U_g$$

O sinal negativo antes de ΔU_g é fundamental, pois quando o corpo se move de baixo para cima, o trabalho realizado pela força peso é negativo, mas a energia potencial gravitacional aumenta, pois a altura h aumenta. Do contrário, quando o corpo se move de cima para baixo, a altura h diminui, assim, o trabalho realizado pela força peso é positivo, mas a energia potencial gravitacional diminui.

Em resumo, se a força peso for a única força que atua sobre um objeto, então,

$$W_{\text{peso}} = \Delta K = -\Delta U_g \quad (23)$$

3.2.3. Conservação da energia mecânica

É notável que em alguns casos, a energia mecânica de um sistema permanece constante e, em outros, parte da energia mecânica é transformada em outras formas de energia. Este fato leva a uma formulação geral da lei da conservação da energia, um dos princípios mais fundamentais e abrangentes de todas as ciências.

Segundo Richard Feynman:

“Existe um fato ou, se você preferir, uma lei que governa todos os fenômenos naturais conhecidos até agora. Não se conhece nenhuma exceção a essa lei – ela é exata, pelo que sabemos. A lei chama-se conservação da energia. Segundo ela, há uma quantidade, denominada energia, que não muda nas múltiplas modificações pelas quais passa a natureza.” (FEYNMAN, 2005, P. 91)

Os processos e transformações que ocorrem na natureza podem ser melhor analisados em termos de transformações de energia de uma forma para outra ou de transferências de um lugar para outro. “Mais importante do que ser capaz de enunciar o que é a energia é compreender como ela se comporta – como ela se transforma.” (HEWITT, 2002, P. 119).

Em um sistema isolado – termo usado para referir-se ao sistema, delimitado por uma fronteira, que não troca energia com a sua vizinhança – a energia total é sempre constante. Dentro de um sistema isolado podem ocorrer muitas transferências e transformações de energia, como entre energia cinética e energia potencial ou entre energia cinética e energia térmica, mas a energia total do sistema não varia.

Uma situação especial em sistemas isolados ocorre quando a energia mecânica é constante, definindo assim um sistema conservativo. Em contrapartida,

quando a energia mecânica do sistema isolado varia, em função da ação de forças dissipativas que transformam a energia mecânica em outra forma de energia (térmica ou sonora, por exemplo), o sistema é definido como não conservativo.

Em sistemas conservativos apenas as forças conservativas realizam trabalho. A força conservativa é capaz de converter energia cinética em potencial ou de fazer a conversão inversa. Nesse sentido, Halliday, Resnick e Walker afirmam:

Quando uma força muda o estado de um sistema, se uma mudança de energia potencial pode ser associada a esta mudança de estado, dizemos que a força é **conservativa**; caso contrário, dizemos que a força é **não-conservativa**. A força de uma mola e a força gravitacional (peso) são conservativas; a força de arrasto do ar e a força de atrito são não-conservativas. (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 1996, v.1, p. 164).

Assim, nos sistemas conservativos, a energia mecânica é constante, pois a energia do sistema apenas se altera entre energia cinética ou potencial. A energia mecânica do sistema conservativo não é transformada em outra forma (térmica, sonora etc). Em outras palavras, forças conservativas são aquelas que conseguem armazenar energia e tornar essa energia útil de forma totalmente reversível.

Outras características das forças conservativas são:

- O trabalho realizado por uma força conservativa é sempre reversível, ou seja, a força conservativa consegue realizar trabalho sobre um objeto, fazendo-o deslocar de um ponto A até um ponto B e retornar ao ponto A pôr alguma outra trajetória qualquer, sem que haja perda de energia total.
- O trabalho realizado pela força conservativa depende apenas do ponto inicial e do ponto final do movimento. Quando o ponto final coincide com o ponto inicial, o trabalho realizado é nulo.
- A força conservativa é incapaz de alterar a energia mecânica total do sistema.
- A força conservativa realiza, entre dois estados A e B, sempre o mesmo trabalho sobre o corpo, independente da trajetória. O trabalho realizado pela força conservativa depende apenas do deslocamento e não da trajetória.

Então, se o movimento de um sistema é devido apenas à ação da força peso ou da força elástica, ou seja, se apenas essas forças realizam trabalho, o sistema é conservativo e a energia mecânica total (cinética mais potencial) do sistema permanece constante. Em outras palavras,

$$E_{mec} = K + U \quad (24)$$

Nos sistemas conservativos,

$$E_{mec(f)} = E_{mec(i)} \quad (25)$$

Como foi dito, nem todas as forças são conservativas, ou seja, nem todas as forças armazenam energia, podendo utilizá-la de forma reversível, sem alterar a energia mecânica do sistema. Existem forças capazes de alterar a energia mecânica do sistema, seja fornecendo ou dissipando energia. A força de atrito por exemplo, intuitivamente retira (dissipa) energia mecânica do sistema. Numa situação em que uma caixa de madeira é arremessada tangencialmente sobre uma superfície plana e áspera, esta desloca-se linearmente em um movimento desacelerado causado pela ação da força de atrito, que realiza trabalho, reduzindo gradativamente sua energia cinética até cessar o movimento. A energia cinética perdida pela caixa não pode ser recuperada, ou seja, o movimento não é reversível, pois a força de atrito dissipou esta energia e, por este motivo, esta força é classificada como não-conservativa ou dissipativa.

Nesse sentido, sistemas não-conservativos são aqueles em que as forças não-conservativas realizam trabalhos de forma a alterar (aumentar ou diminuir) a energia mecânica total. Em outras palavras, o trabalho realizado por uma força dissipativa, como a força de atrito, é equivalente à variação da energia mecânica do sistema.

$$W_{F,dis} = \Delta E_{mec} \quad (26)$$

“A energia não pode ser criada ou destruída; pode apenas ser transformada de uma forma para outra, com sua quantidade total permanecendo constante.” (HEWITT, 2002, P. 119).

Assim, a lei de conservação da energia se refere à energia total do sistema. A energia total do sistema é a soma da energia mecânica com qualquer outra forma de energia (energia interna). A energia interna (E_{int}) pode ser, por exemplo, a energia térmica, a energia sonora, entre outras.

$$\Delta K + \Delta U + \Delta E_{int} = 0 \quad (27)$$

“A lei acima é uma é uma generalização confirmada experimentalmente. Até hoje, nunca foi violada em nenhuma experiência ou observação da natureza.” (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 1996, v.1, p. 167).

Essa lei estabelece que a energia total de um sistema pode mudar apenas pela transferência de energia para dentro ou para fora do sistema. Neste caso, se alguma força externa ao sistema executa um trabalho W sobre corpos do sistema, o sistema não está isolado e a expressão (27) não é aplicável. Então, devemos substituí-la por

$$W = \Delta K + \Delta U + \Delta E_{int} \quad (28)$$

Sobre esta situação, Halliday, Resnick e Walker afirmam que

[...] quando um trabalho W é executado sobre um sistema, por forças externas, a quantidade total de energia do sistema, incluindo todas as formas possíveis, aumenta de um valor igual a W . Se W é negativo, o que indica que é um sistema que realiza trabalho sobre corpos externos, a quantidade total de energia do sistema diminui de um valor igual a $|W|$. (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 1996, v.1, p. 167).

3.3. Momento linear

Nas rodovias, em situações que há necessidade de freadas repentinas, é muito mais difícil parar um grande caminhão do que um carro de passeio, ambos se movendo com a mesma velocidade. Este fato, é devido o caminhão apresentar uma massa inercial maior que a do automóvel e, conseqüentemente um maior momento linear.

Na linguagem comum, momento é uma palavra que possui diversos significados, mas na Física o significado é único e muito preciso. O momento linear de uma partícula é um vetor \vec{p} definido através da expressão

$$\vec{p} = m \cdot \vec{v} \quad (29)$$

onde m é a massa da partícula e \vec{v} a sua velocidade. O momento linear é uma grandeza vetorial (possui módulo, direção e sentido) e é uma grandeza instantânea. Como m é sempre uma grandeza escalar positiva, \vec{p} e \vec{v} , de acordo com a expressão (29), tem sempre a mesma direção e sentido. Em outras palavras, o momento linear possui sempre o mesmo sentido do movimento.

A unidade do momento linear, no SI, é a unidade de massa vezes a unidade de velocidade (**kg·m/s**).

Por definição, um objeto em movimento pode possuir um grande momento linear se sua massa for grande, ou se sua velocidade for grande, ou se tanto a massa como a velocidade forem grandes.

O momento linear de uma partícula é constante (em módulo e orientação) somente quando ela está em movimento retilíneo e uniforme (MRU) – velocidade constante.

O momento linear se associa à segunda lei de Newton, sendo que, segundo Halliday, Resnick e Walker (2008, v.1, p. 226), “a taxa de variação com o tempo do momento de uma partícula é igual à força resultante que atua sobre a partícula e tem a mesma orientação que essa força.”. Ou seja, na forma de uma expressão matemática temos:

$$\vec{F}_r = \frac{d\vec{p}}{dt} \quad (30)$$

Em outras palavras, a expressão (30) “[...] afirma que a força resultante \vec{F}_r aplicada a uma partícula faz variar o momento linear \vec{p} da partícula. Na verdade, o momento linear só pode mudar se a partícula estiver sujeita a uma força. Se não existe nenhuma força, \vec{p} não pode mudar.” (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2008, v.1, p. 226).

Substituindo na expressão (30) \vec{p} , pelo seu valor dado pela expressão (29), obtém-se, para uma massa m constante,

$$\vec{F}_r = \frac{d\vec{p}}{dt} = \frac{d}{dt}(m \cdot \vec{v}) = m \cdot \frac{d\vec{v}}{dt} = m \cdot \vec{a} \quad (31)$$

Assim, as relações (30) e (31) são expressões equivalentes da segunda lei de Newton para uma partícula.

De acordo com Halliday, Resnick e Walker (2008), a definição de momento linear pode ser estendida para um sistema de n partículas, cada uma com sua própria massa e velocidade. “As partículas podem interagir umas com as outras e forças externas podem agir sobre elas. O sistema como um todo tem um momento linear total \vec{P} , que é definido como a soma vetorial dos momentos lineares de todas as partículas.” (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2008, v.1, p. 226).

O conceito de momento linear é extremamente importante, pois ajuda a explicar a interação entre objetos sem precisar saber exatamente a força que está atuando em cada instante de tempo sobre eles. Aplicando o conceito de momento linear, pode-se explicar as interações apenas sabendo a massa e a velocidade.

3.3.1. Impulso e momento linear

O momento linear de um corpo pode variar quando há uma variação em sua massa, ou em sua velocidade, ou em ambos. Mas se o momento linear muda enquanto a massa se mantém constante, como é na maioria dos casos, então a velocidade muda. Ocorre aceleração. E o que produz a aceleração? A resposta é: uma força. “Quanto maior a força que atua num objeto, maior será a variação ocorrida na sua velocidade e, daí, no seu momento linear.” (HEWITT, 2002, P. 99).

Mas outra coisa importa na variação do momento linear: o tempo – quão longo é o tempo durante o qual atua a força. Segundo Hewitt (2002), se sobre um carro enguiçado uma força for aplicada brevemente, ocorrerá apenas uma pequena alteração em seu momento, mas se a mesma força for aplicada por um período maior, uma maior alteração no momento do carro ocorrerá.

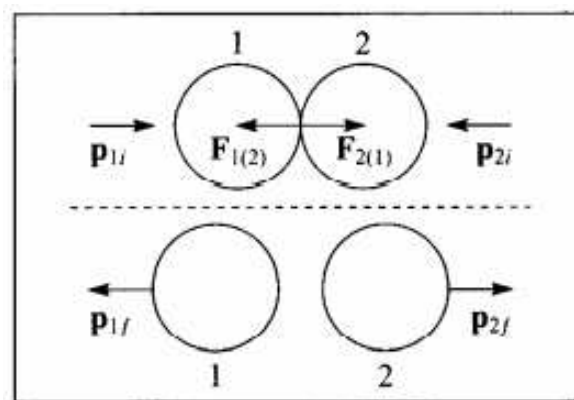
Assim, para que o momento linear de um objeto seja alterado, são importantes tanto a força como o tempo durante o qual ela atua. Por exemplo, segundo Nussenzveig (2002), em uma colisão (de dois discos ou bolas de sinuca, de uma raquete de tênis com a bola, de um bate-estacas com a estaca), forças extremamente intensas atuam durante um intervalo de tempo extremamente curto, o tempo de colisão. “O efeito de uma tal força impulsiva pode ser medido através do impulso que produz.” (NUSSENZVEIG, 2002, v.1, P. 169).

A figura 3.6 representa esquematicamente uma colisão frontal entre duas bolas de sinuca, que pode ser matematicamente descrita pelas seguintes expressões:

$$\frac{d\vec{p}_1}{dt} = \vec{F}_{1(2)} = -\vec{F}_{2(1)} = -\frac{d\vec{p}_2}{dt} \quad (32)$$

onde as forças de contato $\vec{F}_{1(2)}$ e $\vec{F}_{2(1)}$, que obedecem à 3ª lei de Newton, atuam durante o intervalo de tempo extremamente curto (t_i, t_f) (t_i = instante inicial; t_f = instante final).

Figura 3.6 – Colisão frontal entre duas bolas de sinuca.



Fonte: (NUSSENZVEIG, 2002, v.1, P. 169)

Integrando ambos os membros da expressão (32) em relação ao tempo desde t_i até t_f , obtemos

$$\int_{t_i}^{t_f} \frac{d\vec{p}_1}{dt} dt = \int_{\vec{p}_{1i}}^{\vec{p}_{1f}} d\vec{p}_1 = \vec{p}_{1f} - \vec{p}_{1i} = \Delta\vec{p}_1 = \int_{t_i}^{t_f} \vec{F}_{1(2)} dt = - \int_{t_i}^{t_f} \vec{F}_{2(1)} dt = -\Delta\vec{p}_2 \quad (33)$$

De uma forma geral, para uma força qualquer, a integral

$$\int_{t_i}^{t_f} \vec{F} dt = \int_{\vec{p}_i}^{\vec{p}_f} \frac{d\vec{p}}{dt} dt = \int_{\vec{p}_i}^{\vec{p}_f} d\vec{p} = \vec{p}_f - \vec{p}_i = \Delta\vec{p} \quad (34)$$

chama-se **impulso** de uma força \vec{F} durante o intervalo de tempo (t_i, t_f) . A expressão (34) define “[...] que o impulso de uma força aplicada a uma partícula durante (t_i, t_f) é

igual à variação do momento da partícula durante esse intervalo.” (NUSSENZVEIG, 2002, v.1, P. 170).

Assim, a expressão (34) apresenta, do lado direito, a variação do momento linear ($\vec{p}_f - \vec{p}_i$) das bolas e, do lado esquerdo, uma medida tanto da intensidade quanto da duração da força de colisão, que é o impulso (\vec{J}) da colisão. Logo:

$$\vec{J} = \int_{t_i}^{t_f} \vec{F}(t) dt \quad (35)$$

Então:

$$\vec{J} = \vec{p}_f - \vec{p}_i = \Delta\vec{p} \quad (36)$$

As expressões (34) e (36) são definidas como **teorema do impulso-momento linear**. Sobre este teorema, Halliday, Resnick e Walker (1996, v. 1, p. 215) afirmam que, “[...] da mesma forma que o teorema do trabalho-energia cinética, não é um novo teorema independente, mas uma consequência direta da segunda lei de Newton. Ambos os teoremas são formas especiais dessa lei, úteis para propósitos especiais.”.

Para o caso particular em que um corpo está sob ação de uma força constante \vec{F} durante um intervalo de tempo Δt , pode-se simplificar a expressão (35), definindo o impulso \vec{J} da força constante como

$$\vec{J} = \vec{F} \cdot \Delta t \quad (37)$$

De forma análoga, pode-se definir o impulso total sobre um corpo, levando em consideração a força resultante constante, ou seja:

$$\vec{J}_{total} = \vec{F}_{res} \cdot \Delta t \quad (38)$$

A unidade do impulso, no SI, é a unidade de força vezes a unidade de tempo (**N·s**), que equivale à unidade do momento linear (**kg·m/s**).

3.3.2. Conservação do momento linear

De acordo com a segunda lei de Newton, para acelerar um corpo, é necessário aplicar-lhe uma força. Na seção anterior foi dito que para alterar o momento linear de um corpo é necessário aplicar-lhe um impulso. Em qualquer um dos casos, segundo Hewitt (2002, p. 104), “a força ou o impulso devem ser exercidos sobre o objeto ou sistema de objetos por algo exterior ao objeto ou sistema. Forças internas não contam.”. Nesse sentido, por exemplo, as forças moleculares no interior de uma bola de futebol não têm efeito sobre o momento da bola, bem como uma pessoa sentada no interior de um automóvel e empurrando contra o para-brisas, e este empurrando de volta, não tem efeito sobre o momento linear do automóvel. Isso ocorre porque essas forças são internas, ou seja, forças que atuam e reagem dentro do próprio sistema. É necessária uma força externa que atue sobre a bola de futebol ou o automóvel para haver uma mudança no momento. Se nenhuma força externa está presente, então não é possível haver qualquer alteração no momento.

Quando uma bala é disparada de um rifle, as forças presentes são forças internas. O momento total do sistema formado pela bala e o rifle, portanto, não sofre qualquer alteração. Pela terceira lei de Newton da ação e reação, a força exercida sobre a bala é igual e oposta a que é exercida sobre o rifle. Essas duas forças atuam simultaneamente, originando impulsos iguais mas com sentidos opostos e, portanto momentos iguais e com sentidos opostos. O rifle que ricocheteia possui tanto momento quanto a bala veloz. Embora tanto a bala como o rifle tenham individualmente ganho momento considerável, o rifle e a bala juntos como um sistema não sofreram uma variação líquida em seu momento. Antes do disparo, o momento era nulo; após o disparo, o momento é ainda nulo. Nenhum momento foi ganho ou perdido. (HEWITT, 2002, P. 104).

Em um sistema isolado a soma vetorial das forças externas que atuam é nula e, portanto, o impulso total devido a ação destas forças também é nulo. As forças internas ao sistema são trocadas entre as partes que compõem o sistema e devem obedecer à lei de ação e reação (terceira lei de Newton). Assim, a existência de uma força interna \vec{F}_1 implica a existência de outra força interna de mesmo módulo e direção, porém, de sentido oposto ($-\vec{F}_1$), e o impulso total, dado pela soma dos impulsos devido a essas duas forças, é nulo. Ou seja, nos sistemas isolados, o impulso total devido às forças internas também é nulo.

A segunda lei de Newton para um sistema de partículas pode ser definida da seguinte maneira:

$$\sum \vec{F}_{ext} = \frac{d\vec{P}}{dt} \quad (39)$$

Supondo, como descrito anteriormente, que a soma das forças externas que agem sobre um sistema de partículas seja zero (isto é, o sistema seja isolado) e que o número de partículas que compõem o sistema seja constante (isto é, o sistema seja fechado). Fazendo

$$\sum \vec{F}_{ext} = 0$$

então,

$$\frac{d\vec{P}}{dt} = 0$$

ou seja, para um sistema isolado e fechado:

$$\vec{P} = \text{constante}$$

Dessa forma,

$$\vec{P}_i = \vec{P}_f \quad (40)$$

Esta é a chamada **lei de conservação do momento linear**. Esta lei é, uma das mais gerais da Física. “[...] a lei de conservação do momento linear é mais geral do que a própria mecânica newtoniana; continua a ser válida no domínio das partículas subatômicas, onde as leis de Newton não mais se aplicam. Continua a ser válida quando as partículas possuem velocidades elevadas e a teoria da relatividade de Einstein deve ser utilizada.” (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 1996, v.1, p. 197).

Matematicamente, a lei de conservação do momento linear envolve a manipulação de grandezas vetoriais e, portanto, devem ser usadas regras de álgebra vetorial para calcular o momento linear total do sistema. Isso significa que é possível

analisar também as projeções do momento linear, independentemente, em cada direção espacial (princípio da independência do movimento).

3.4. Momento linear e energia cinética em colisões elásticas unidimensionais

No dia a dia, nas colisões que acontecem, a energia cinética total dos corpos envolvidos é convertida (parcial ou integralmente) em outras modalidades de energia. “Mas podemos supor que algumas são aproximadamente elásticas, ou seja, que a energia cinética total dos corpos envolvidos na colisão não é convertida em outras formas de energia e, portanto, é conservada: $(K_{total})_{antes da colisão} = (K_{total})_{depois da colisão}$.” (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2008, v. 1, p. 238).

Mas isso não significa que a energia dos corpos envolvidos não possa variar. Segundo Halliday, Resnick e Walker (2008, v. 1, p. 238), “nas colisões elásticas a energia cinética dos corpos envolvidos na colisão pode variar, mas a energia cinética total do sistema não varia.”.

Assim, por exemplo, a colisão da bola branca com uma colorida no jogo de sinuca pode ser considerada aproximadamente elástica. Se a colisão é frontal (a bola branca incide em cheio na outra bola), a energia cinética da bola branca pode ser transferida quase inteiramente para a outra bola. Entretanto, o fato de que a colisão produz ruído significa que pelo menos uma pequena parcela da energia cinética se transforma em energia sonora.

A figura 3.7 mostra dois corpos (projétil e alvo) antes e depois de uma colisão unidimensional, como uma colisão frontal de bolas de sinuca. O projétil de massa m_1 e velocidade inicial \vec{v}_{1i} se move em direção ao alvo de massa m_2 que está inicialmente em repouso ($\vec{v}_{2i} = 0$).

Supondo, neste caso, que o sistema de dois corpos esteja fechado e isolado, o momento linear total é conservado e então, a partir da expressão (40), obtém-se:

$$\vec{p}_{1i} + \vec{p}_{2i} = \vec{p}_{1f} + \vec{p}_{2f}$$

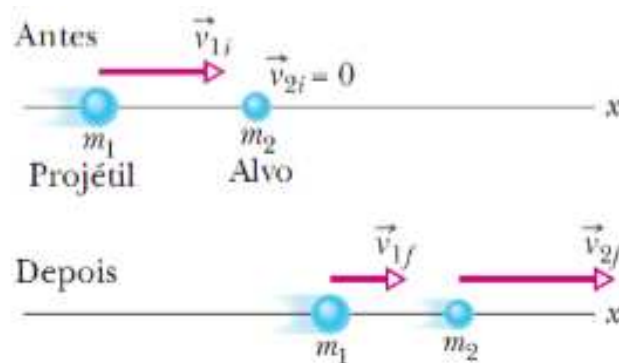
Logo,

$$m_1 \cdot \vec{v}_{1i} = m_1 \cdot \vec{v}_{1f} + m_2 \cdot \vec{v}_{2f} \quad (41)$$

Se a colisão é elástica, a energia cinética total também é conservada e então a expressão a seguir é válida.

$$\frac{1}{2} \cdot m_1 \cdot v_{1i}^2 = \frac{1}{2} \cdot m_1 \cdot v_{1f}^2 + \frac{1}{2} \cdot m_2 \cdot v_{2f}^2 \quad (42)$$

Figura 3.7 – Colisão unidimensional de um projétil com um alvo.



Fonte: (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2008, v. 1, p. 238)

Em cada uma dessas expressões o índice i indica as velocidades iniciais, e o subscrito f indica velocidades finais dos corpos. Como o movimento é unidimensional, na expressão (41), pode-se substituir os vetores por componentes em relação a um único eixo. Se as massas dos corpos são conhecidas e v_{1i} também, as únicas grandezas desconhecidas são v_{1f} e v_{2f} . Com duas equações à disposição, pode-se determinar os valores dessas incógnitas através das seguintes expressões:

$$v_{1f} = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} \cdot v_{1i} \quad (43)$$

e

$$v_{2f} = \frac{2 \cdot m_1}{m_1 + m_2} \cdot v_{1i} \quad (44)$$

De acordo com a expressão (44), v_{2f} é sempre positiva (o alvo inicialmente parado de massa m_2 sempre se move para a frente). De acordo com a expressão

(43), v_{1f} pode ser positiva ou negativa (o projétil se move para frente se $m_1 > m_2$, mas ricocheteia se $m_1 < m_2$). Mas, se $m_1 = m_2$, as expressões (43) e (44) se reduzem a

$$v_{1f} = 0$$

e

$$v_{2f} = v_{1i}$$

Sobre este fato, Halliday, Resnick e Walker afirmam:

Depois de uma colisão elástica frontal de corpos de massas iguais, o corpo 1 (inicialmente em movimento) para totalmente e o corpo 2 (inicialmente em repouso) entra em movimento com a velocidade inicial do corpo 1. Em colisões elásticas frontais corpos de massas iguais simplesmente trocam suas velocidades. Isso é verdade mesmo que o corpo 2 não esteja inicialmente em repouso. (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2008, v. 1, p. 239).

Apesar de que uma quantidade de energia mecânica sempre será perdida nas colisões, em algumas situações, considera-se essa perda como desprezível (colisão elástica), quando normalmente os corpos que colidem não sofrem deformações permanentes. Dessa forma, é possível analisar algumas colisões da vida real como aproximadamente elásticas.

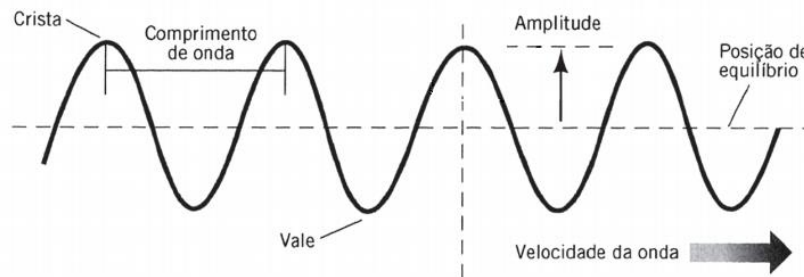
3.5. O comportamento ondulatório da luz

Quando uma pedra cai numa piscina de águas calmas, surgem ondas que se propagam na superfície da água. Se um diapasão do tipo forquilha é posto para vibrar, as ondas sonoras se espalham em todas as direções. Se um palito de fósforo é aceso, ondas luminosas se expandem analogamente em todas as direções – com uma velocidade de propagação enormemente alta (300.000 km/s).

Primeiramente vale lembrar que a luz visível é a mais familiar das ondas eletromagnéticas, embora quase tão familiares são os raios X, as micro-ondas e as ondas que ativam os aparelhos de rádio, televisão e celular. “Ondas eletromagnéticas não necessitam de nenhum meio físico para existir. A luz das estrelas, por exemplo, se propaga em nossa direção através do quase vácuo do espaço profundo.” (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 1996, v. 2, p. 112).

Como onda a luz têm como características básicas: frequência, comprimento de onda, período, amplitude e velocidade de propagação. Muitas vezes, o estudo dessas características usa esquemas que as ilustram, e neste caso o esquema de onda transversal (figura 3.8) é bastante adequado.

Figura 3.8 – Esquema simplificado de uma onda transversal.



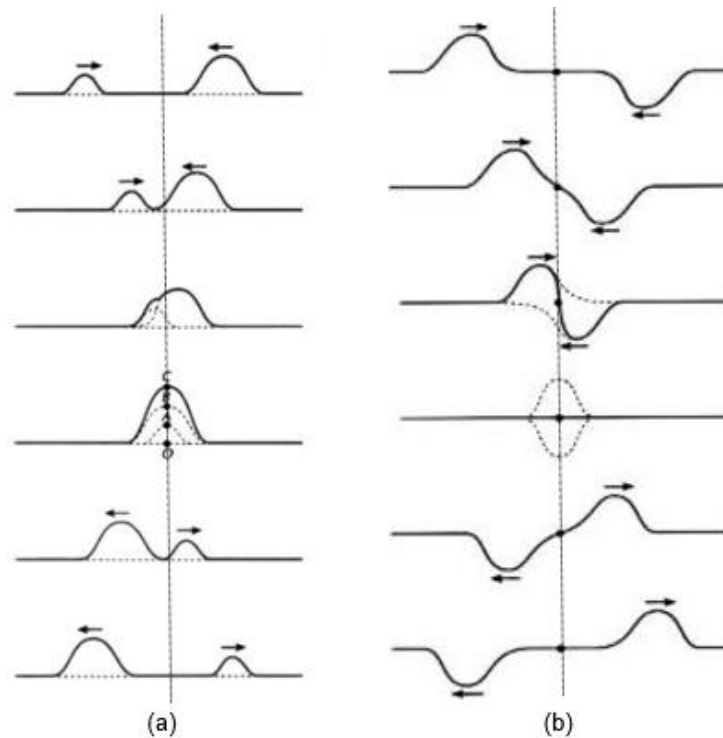
Fonte: Criado pelo autor.

Segundo Hewitt (2002), ondas eletromagnéticas são oscilações (em função do tempo e do espaço) de campos elétricos e magnéticos – oscilações de pura energia; tendo como fonte vibrações de cargas elétricas. Quando fontes distintas produzem ondas de mesma frequência e comprimento de onda, pode-se associar uma coerência ao conjunto das ondas formadas, desde que os pulsos produzidos por cada fonte sejam de mesma natureza e simultâneos, isto é, em fase. As ondas produzidas pelas fontes preenchem todo o espaço em volta se superpondo. Sobre esta situação Hewitt afirma:

Quando duas ou mais ondas ocupam um determinado espaço ao mesmo tempo, os deslocamentos causados por cada uma delas se adicionam em cada ponto. Isso é o princípio da superposição. Assim, quando a crista de uma onda se superpõe à crista de outra, seus efeitos individuais se somam e produzem uma onda resultante com amplitude maior. Isso é chamado de interferência construtiva. Quando a crista de uma onda se superpõe com o vale de outra, seus efeitos individuais são reduzidos. A parte alta de uma onda simplesmente preenche a parte baixa da outra. Isso é chamado de interferência destrutiva. (HEWITT, 2002, P. 335).

A figura 3.9 representa a aproximação, o encontro e o afastamento de dois pulsos distintos; em (a) o encontro produz uma interferência construtiva e, em (b), uma interferência destrutiva.

Figura 3.9 – Representação das interferências (a) construtiva e (b) destrutiva.

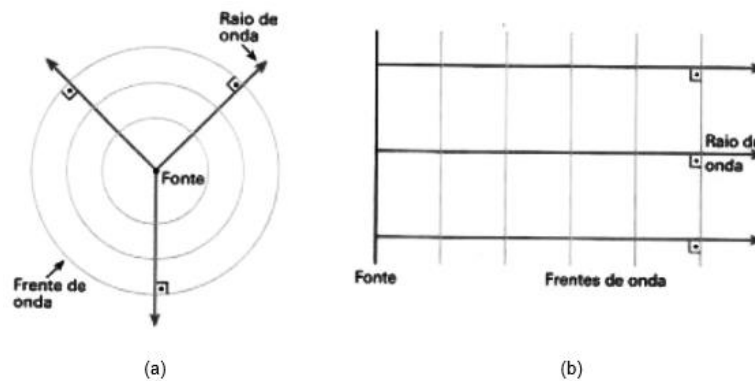


Fonte: Criado pelo autor.

Uma outra forma de analisar as propriedades ondulatórias consiste em utilizar uma representação geométrica para as ondas.

Ao conjunto de pontos de um determinado meio que esteja recebendo o mesmo pulso em determinado instante, denominamos **frente de onda**. A direção perpendicular à frente de onda representa a direção de sua propagação sendo denominado **raio de onda**.

Figura 3.10 – Representação da frente de onda e do raio de onda: (a) circular e (b) plana.



Fonte: Criado pelo autor.

3.5.1. O princípio de Huygens e a difração da luz

A Física é um ramo da ciência que estuda os mais diversos fenômenos naturais, procurando entender os princípios fundamentais por trás do funcionamento desses fenômenos. Nesse sentido, ela propõe modelos teóricos e matemáticos reunidos em um conjunto de teoremas e leis, com o objetivo de descrever a realidade das coisas, embora muitas vezes, o objeto de estudo seja algo bem abstrato. No estudo atômico, por exemplo, quando se propõe um modelo de átomo, está se formulando uma hipótese sobre como seria algo que sequer pode-se ver. Dessa maneira, a interpretação ou o modelo depende não só dos dados experimentais de que se dispõe, mas também da imaginação espacial e matemática, bem como da intuição sobre a natureza, porque os modelos são representações das coisas e não as coisas.

Frequentemente acontece de não existir nenhum modelo que permita interpretar satisfatoriamente todas as propriedades conhecidas de um sistema físico. Muitas vezes há dois ou mais modelos – diferentes interpretações e representações da natureza – que disputam entre si a primazia de ser o retrato mais fiel da realidade física.

No caso dos fenômenos ópticos, a interpretação baseada na óptica física, que estuda a luz em forma de ondas, fornece uma visão que permite explicar os processos que são identificados nas situações práticas. Isso não significa que a natureza seja como o modelo diz que ela é, ou que não possam surgir outros modelos e interpretações.

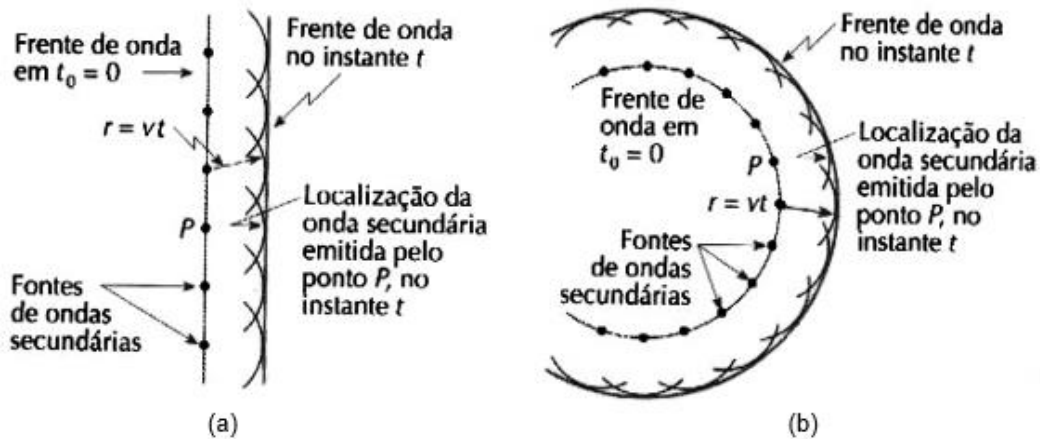
Nesse sentido, entra na análise o princípio proposto por Christian Huygens (1629 – 1695). Segundo Halliday, Resnick e Walker,

A primeira pessoa a apresentar uma teoria ondulatória conveniente para a luz foi o físico holandês Christian Huygens, em 1678. Embora muito menos completa que a teoria eletromagnética de Maxwell, desenvolvida mais tarde, a teoria de Huygens era matematicamente mais simples e permanece útil até hoje. Suas grandes vantagens são explicar as leis da reflexão e refração em termos de ondas e atribuir um significado físico ao índice de refração. (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 1996, v. 4, p. 62).

A teoria ondulatória de Huygens utiliza uma construção geométrica (figura 3.11) que permite prever onde estará uma dada frente de onda em qualquer instante futuro se sua posição atual for conhecida. “Essa construção se baseia no **princípio de Huygens**, que diz o seguinte: *Todos os pontos de uma frente de onda funcionam*

como fontes pontuais para ondas secundárias. Depois de um tempo t , a nova posição da frente de onda será dada por uma superfície tangente a essas ondas secundárias.” (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 1996, v. 4, p. 62).

Figura 3.11 – Representação da frente de onda segundo o princípio de Huygens: (a) plana e (b) circular.



Fonte: Adaptado de <<https://docente.ifrn.edu.br/caiovasconcelos/downloads/ensino-medio/ondas-optica-e-acustica-ufsm>>. Acesso em: 12 de janeiro de 2021.

Esta teoria é uma ferramenta bastante poderosa no estudo da onda luminosa. Por meio dela é possível descrever o fenômeno da **difração**, no qual a luz é desviada de sua trajetória retilínea mudando o formato de sua frente de onda. Sobre este fenômeno, Hewitt (2002, P. 496) afirma que: “Qualquer desvio sofrido pela luz por outros meios que não reflexão ou refração é chamado de difração.”.

A figura 3.12 mostra esquematicamente a incidência de uma onda plana em uma fenda em três situações distintas – abertura da fenda em (a) maior que em (b), que por sua vez maior que em (c). Este esquema ilustra a principal característica da difração: quanto mais estreita a fenda, maior a difração.

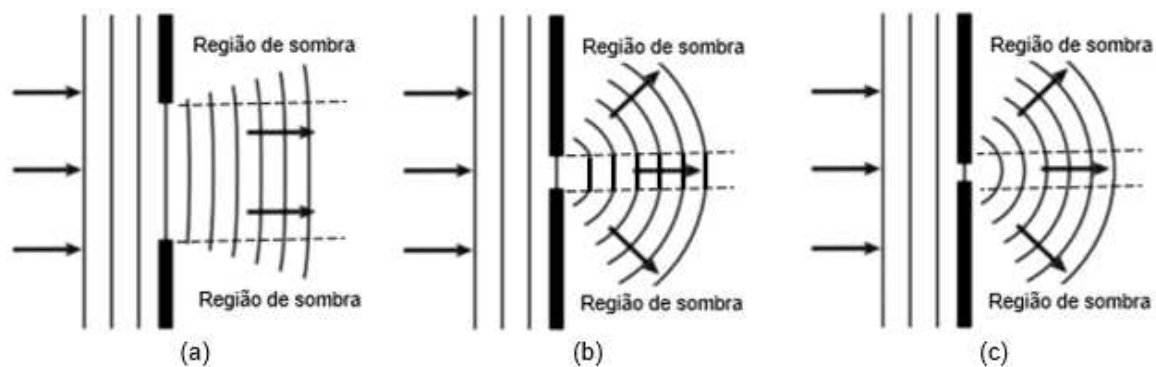
Na figura 3.12(a), onde a fenda é mais larga, as ondas planas seguem através da abertura sem sofrer alterações – exceto nas extremidades de suas frentes, onde as ondas descrevem curvas na região de sombra, como predito pelo princípio de Huygens. Quando a largura da fenda é diminuída, como na figura 3.12(b), uma parte cada vez menor da onda plana é transmitida e o espalhamento de ondas na região de sombra torna-se mais pronunciado. Quando a fenda é pequena, comparada ao comprimento de onda da onda incidente, como na figura 3.12(c), a validade da ideia de Huygens, de que cada parte da onda pode ser encarada como uma fonte para

novas pequenas ondulações circulares, é completamente evidente. Segundo Halliday, Resnick e Walker:

Quando uma onda encontra uma barreira que apresenta uma abertura de dimensões comparáveis ao comprimento de onda, ela deixa de ser uma onda plana para se tornar uma onda aproximadamente esférica. Esse fenômeno, que é chamado de difração, se encaixa no espírito da expansão das ondas secundárias do princípio de Huygens. Ele não se aplica apenas às ondas luminosas, mas a todos os tipos de ondas. (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 1996, v. 4, p. 64).

A difração de uma onda provoca apenas a modificação do formato da frente de onda, uma vez que o pequeno espaço para que a onda avance diminui o número de ondas reemitidas, sendo insuficiente para reproduzir toda a frente de onda incidente.

Figura 3.12 – Representação de ondas planas atravessando fendas de diferentes tamanhos. Quanto menor for a abertura, maior será a curva feita pela onda nas bordas da abertura – ou seja, maior será a difração ocorrida.



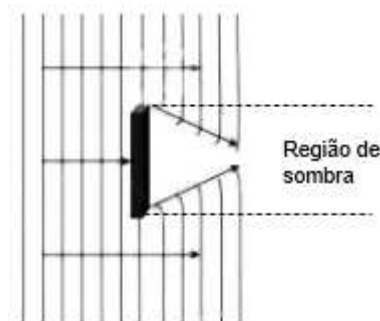
Fonte: Criado pelo autor.

Da mesma forma que pode ocorrer difração quando uma onda passa por uma fenda, também acontece difração quando a onda encontra um obstáculo de dimensões aproximadas ao seu comprimento de onda, fazendo-a contorná-lo (figura 3.13).

Investigando o caso representado pela figura 3.14, em que uma pequena fenda de largura a em uma placa retangular opaca é iluminada por um feixe paralelo de luz monocromática com comprimento de onda λ , é intuitivo imaginar que, segundo a lei da propagação retilínea da luz estudada em óptica geométrica, o feixe transmitido através da fenda seja um paralelepípedo, e forma uma imagem brilhante idêntica à fenda num anteparo de observação; fora desta região, a escuridão é completa

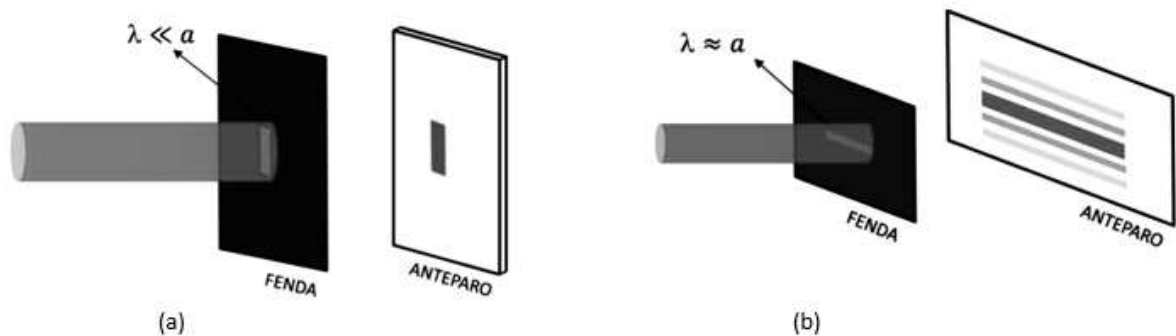
(sombra geométrica). De fato, esta é a imagem que se observa quando a largura da fenda tem dimensões bem superiores às do comprimento de onda do feixe incidente, ou seja, $\lambda \ll a$ (figura 3.14(a)). Mas quando a fenda é muito pequena, com dimensões aproximadas às do comprimento de onda ($\lambda \approx a$), e a distância até o anteparo de observação é suficientemente grande, verifica-se que a luz penetra na região de sombra geométrica, com o aparecimento de franjas claras e escuras na vizinhança do limite da sombra (figura 3.14(b)).

Figura 3.13 – Representação de ondas planas contornando obstáculo. As dimensões do obstáculo devem ter ordem de grandeza aproximada às do comprimento de onda.



Fonte: Criado pelo autor.

Figura 3.14 – (a) Quando a fenda tem largura a , tal que $\lambda \ll a$, vemos que não há padrão de interferência. (b) Quando a fenda tem largura a , tal que $\lambda \approx a$, vemos padrão de interferência.



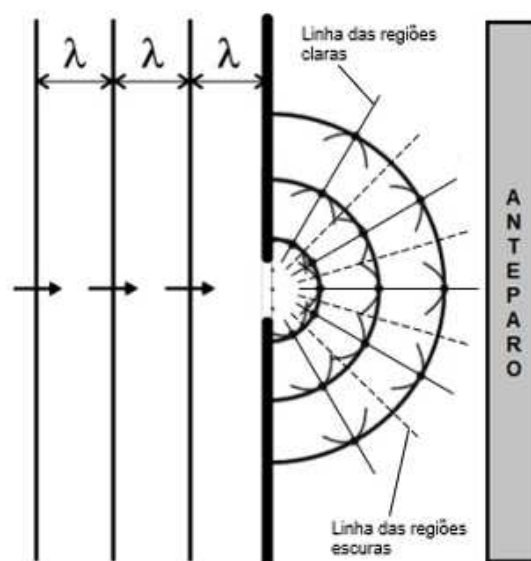
Fonte: Adaptado de Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 37, n. 4, 4311 (2015).

Segundo Halliday, Resnick e Walker (1996), o surgimento dessas regiões claras e escuras, devido ao espalhamento da luz por difração, é o resultado da combinação de dois fenômenos estreitamente ligados: difração e interferência; que demonstram o caráter ondulatório da luz.

Há, porém, mais do que o espalhamento, pois a luz exibe uma figura de interferência denominada figura de difração. Por exemplo, quando a luz monocromática de uma fonte distante (ou de um laser) passa por uma fenda estreita e é interceptada por um anteparo, exibe um padrão de difração constituído por um máximo central, largo e intenso, e vários máximos menos intensos e mais estreitos (denominados máximos secundários ou laterais) em ambos os lados do máximo central. Entre os máximos, observam-se os mínimos. (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 1996, v. 4, p. 91).

A explicação para este fato se baseia na não existência de ondas reemitidas em quantidade suficiente para recompor toda a frente incidente. As novas ondas reemitidas se propagam, atingindo certos pontos do espaço em fase (regiões claras) e outros pontos, defasados (regiões escuras), como mostrado na figura 3.15. A difração da luz só pode ser percebida quando esta atravessa fendas ou orifícios de dimensões muito pequenas, e isto se deve ao fato de seu comprimento de onda ser também muito pequeno. Por isso é difícil observar este fenômeno para a luz em nosso dia a dia, pois o comprimento de onda (λ) desta estende-se entre 400 nm e 700 nm.

Figura 3.15 – Esquema simplificado do padrão de propagação das ondas luminosas reemitidas. Uma figura de difração aparece sobre um anteparo atingido por uma luz que anteriormente havia passado por uma fenda estreita e horizontal. O processo de difração provoca o espalhamento da luz, perpendicularmente à dimensão maior da fenda. Este processo produz uma figura de interferência formada por um máximo central largo, máximos secundários (ou laterais) menos intensos e mais estreitos, e mínimos.



Fonte: Criado pelo autor.

3.5.2. Estudo da difração da luz por fendas

Uma onda de luz plana, de comprimento de onda λ , que incide sobre um anteparo opaco com uma fenda simples de largura a , sofre difração (figura 3.16). Após a difração, a luz espalhada atinge o anteparo de projeção, a uma distância D da fenda. Nele, as ondas provenientes de diferentes pontos da fenda sofrem interferência e produzem uma figura de difração com franjas brilhantes e escuras (máximos e mínimos de interferência).

A franja brilhante central (máximo central) que se pode observar, é formada pelas ondas provenientes de quaisquer pontos da fenda, que percorrem aproximadamente a mesma distância para chegar ao centro da figura, logo, nesse ponto, todas estão em fase. Quanto as outras franjas brilhantes, à direita e à esquerda, essas estão a meio caminho de duas franjas escuras adjacentes e observa-se que vão perdendo intensidade à medida que se analisa pontos no anteparo cada vez mais afastados do máximo central.

As franjas escuras surgem nos pontos em que a interferência é completamente destrutiva. Na figura 3.16 está representada no ponto P do anteparo de projeção uma franja escura de segunda ordem, acima do máximo central brilhante, para a situação em que $D \gg a$ (difração de Fraunhofer). Neste caso, as ondas luminosas r_1 e r_2 , que se originam da mesma frente de onda, estão em fase na fenda e são aproximadamente paralelas, formando então um ângulo θ com o eixo central. Estas duas ondas, quando atingem o ponto P estão fora de fase por $\lambda/2$, pois a onda de raio r_2 percorre um caminho maior, para chegar em P, do que a onda de raio r_1 . A diferença de percurso é justamente igual à metade do comprimento de onda.

Da figura 3.16 tira-se que:

$$\text{sen } \theta' = \frac{\lambda/2}{a/2}$$

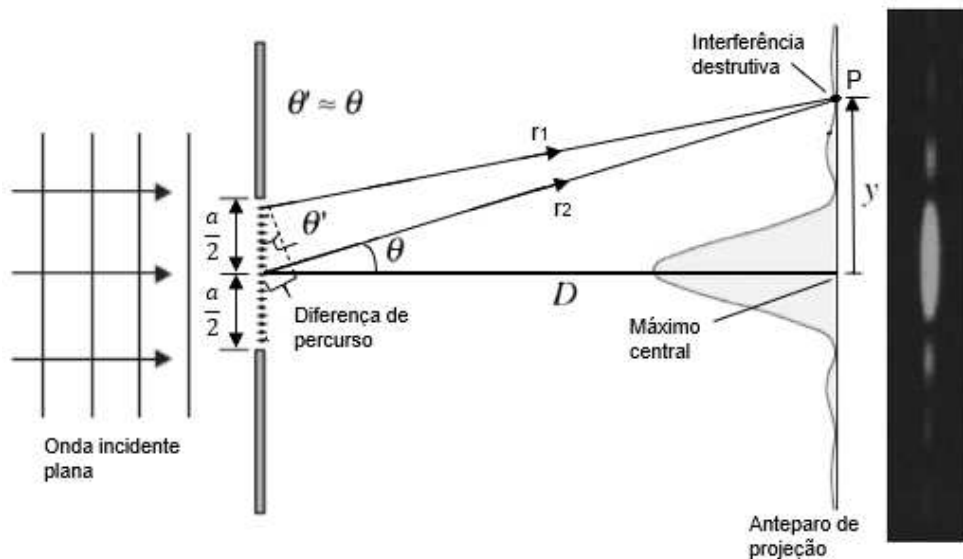
Como $D \gg a$, então θ' e θ são muito pequenos, sendo $\theta \approx \theta'$.

Logo, conhecendo-se a largura da fenda a e o comprimento de onda λ , pode-se encontrar o ângulo θ para qualquer ordem (m) dos mínimos de interferência (franjas escuras), através da seguinte equação geral:

$$\text{sen } \theta = \frac{m \cdot \lambda}{a}$$

Para $m = \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$ (mínimos).

Figura 3.16 – As ondas provenientes de todos os pontos da zona de largura a sofrem interferência completamente destrutiva no ponto P do anteparo de projeção. Com $D \gg a$, as ondas r_1 e r_2 podem ser consideradas paralelas, fazendo o ângulo θ com o eixo central.



Fonte: Adaptado de <<http://plato.if.usp.br/1-2004/fap0181d/LAB5.htm>>. Acesso em: 14 de janeiro de 2021.

Pode-se também encontrar as posições espaciais das franjas escuras a partir do ponto em que se forma o máximo central. Veja:

$$\tan \theta = \frac{y}{D}$$

Para θ muito pequeno, tem-se:

$$\tan \theta \approx \theta \approx \sin \theta \approx \frac{y}{D}$$

Logo:

$$\frac{m \cdot \lambda}{a} = \frac{y}{D}$$

Então:

$$y_m = \frac{m \cdot \lambda \cdot D}{a} \quad (45)$$

Para $m = \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$ (mínimos).

A expressão (45) é usada para calcular a que distância do máximo central ($y = 0$) cada franja escura de ordem m se forma.

Também, na figura 3.16, observar-se o gráfico da intensidade luminosa, que representa as posições das franjas escuras e a diminuição da luminosidade das franjas claras. A intensidade em cada ponto é calculada a partir da seguinte expressão:

$$I_P = I_{mc} \cdot \left[\frac{\sin\left(\frac{\phi}{2}\right)}{\frac{\phi}{2}} \right]^2 \quad (46)$$

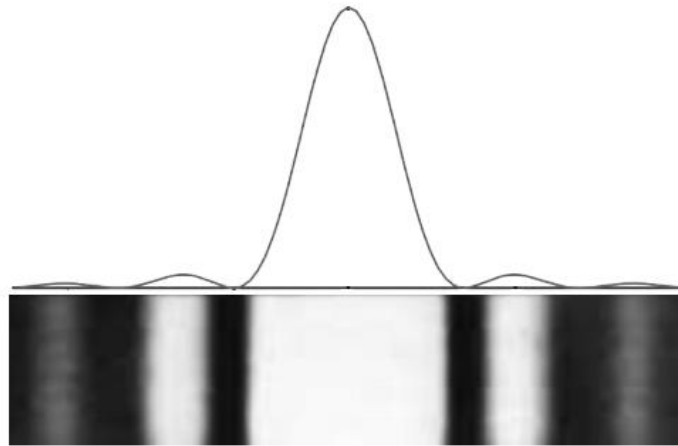
Em que,

$$\phi = \frac{a \cdot \sin \theta}{\lambda} \cdot 2\pi$$

onde I_{mc} é a intensidade do máximo central e ϕ é a diferença de fase referente à diferença de percurso entre os raios luminosos, ou seja, referente à largura da fenda.

Como foi visto, a difração da luz por uma fenda simples, para quando $D \gg a$, tem o padrão da figura 3.17.

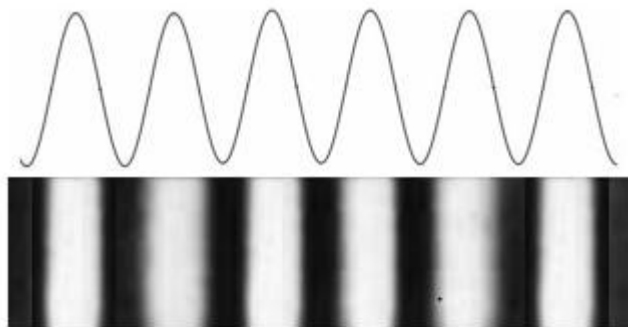
Figura 3.17 – Padrão da difração em fenda simples.



Fonte: Adaptado de <http://dfnae.fis.uerj.br/twiki/pub/DFNAE/FisicaExp/FisicalV-Lab_Aula05-06_T01-10_2017-2_2018-1.pdf>. Acesso em: 20 de janeiro de 2021.

Mas, quando um feixe luminoso atravessa duas fendas simples, infinitamente estreitas e próximas uma da outra (em uma adaptação do experimento de Thomas Young, originalmente realizado em 1801), o que surge são franjas uniformes (figura 3.18).

Figura 3.18 – Padrão de interferência por difração em duas fendas simples e infinitamente pequenas.

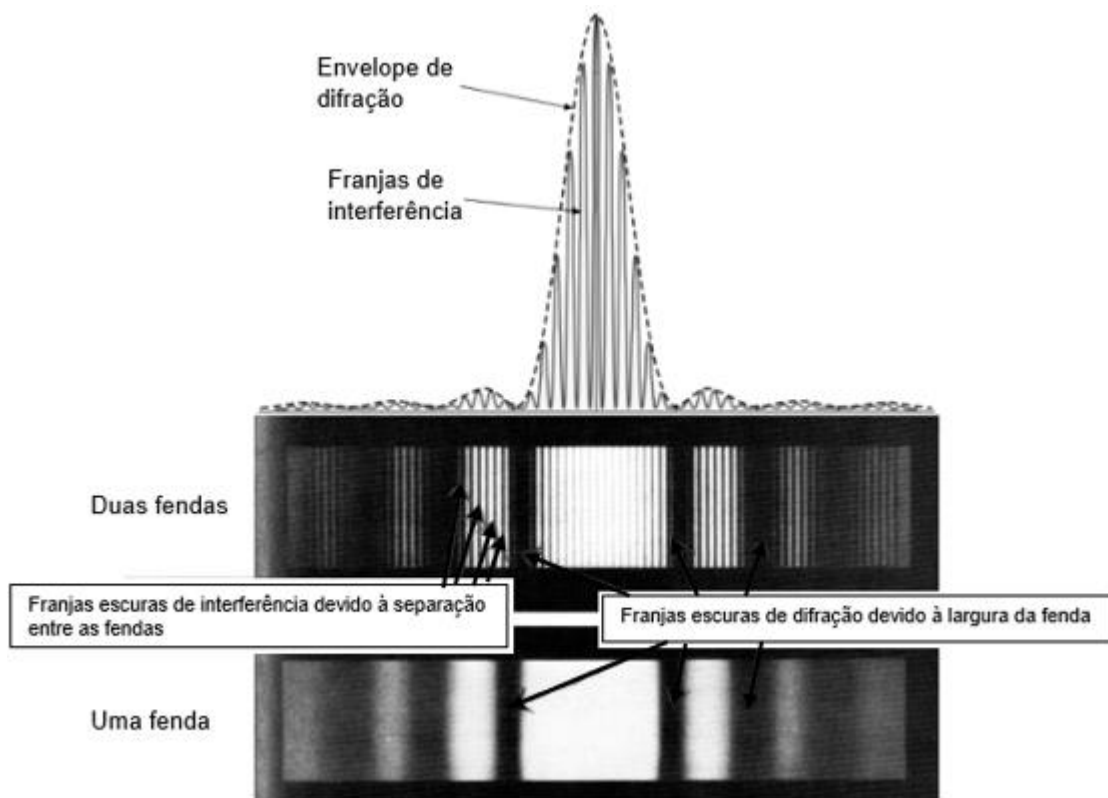


Fonte: Adaptado de <http://dfnae.fis.uerj.br/twiki/pub/DFNAE/FisicaExp/FisicalV-Lab_Aula05-06_T01-10_2017-2_2018-1.pdf>. Acesso em: 20 de janeiro de 2021.

Dessa forma, o que se observa quando a luz atravessa, simultaneamente, duas fendas paralelas e não infinitamente estreitas, é a combinação do espalhamento do feixe luminoso por difração em cada uma das fendas e da interferência que ocorre entre eles ao longo da propagação. Na figura 3.19 pode-se comparar a figura de difração por uma fenda com a figura de difração por duas fendas em que, verifica-se nessa, a presença de franjas brilhantes bem estreitas, intercaladas por finas franjas

escuras, formando grupos espaçados por franjas escuras mais largas. As finas franjas escuras dentro de cada um desses grupos, são formadas pela interferência devido à separação das fendas, enquanto as franjas escuras mais largas, que separam os grupos, são formadas pela difração, que é definida pela largura das fendas. A curva da intensidade luminosa também é mostrada na figura 3.19, onde as finas franjas de interferência aparecem envolvidas pela linha de difração, moldando a figura resultante.

Figura 3.19 – Comparação da figura de difração por fenda simples com a de difração por dupla fenda. A linha envoltória de difração (envelope de difração) molda o perfil dos grupos de linhas de interferência.

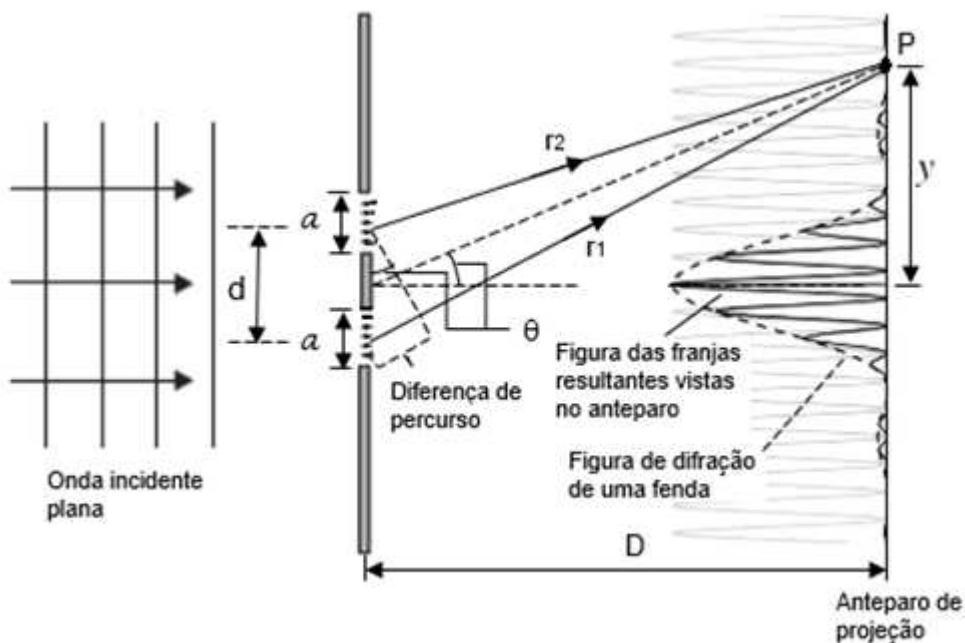


Fonte: Adaptado de <http://dfnae.fis.uerj.br/twiki/pub/DFNAE/FisicaExp/FisicaIV-Lab_Aula05-06_T01-10_2017-2_2018-1.pdf>. Acesso em: 20 de janeiro de 2021.

Considere então a situação esquematizada na figura 3.20, em que uma onda de luz plana de comprimento de onda λ , incide sobre um anteparo opaco com duas fendas simples, cada uma de largura a , separadas por um espaço d . Os feixes luminosos espalhados se interferem ao longo da propagação e ao atingirem o anteparo de projeção, situado a uma distância D das fendas, produzem a figura padrão

com estreitas franjas brilhantes e escuras (máximos e mínimos de interferência), agrupadas pela envoltória da difração. Neste caso, pode-se perceber que o grupo central de linhas de interferência é o mais brilhante, com os laterais diminuindo de intensidade à medida que os pontos observados se afastam do centro da figura.

Figura 3.20 – Esquema de difração em fenda dupla. Os raios luminosos que partem de cada uma das fendas se combinam em um ponto arbitrário P, situado a uma distância y do centro do anteparo de projeção. O ângulo θ também pode ser usado para definir a localização de P. Para $D \gg d$, podemos supor que os raios r_1 e r_2 são aproximadamente paralelos e fazem um ângulo θ com o eixo central.



Fonte: Adaptado de <<https://eadcampus.spo.ifsp.edu.br/course/view.php?id=14>>. Acesso em: 21 de janeiro de 2021.

Como cada franja estreita da figura é formada pela interferência, pode-se então determinar suas posições por expressões matemáticas desenvolvidas para esta situação. Para as franjas brilhantes tem-se a seguinte condição:

$$\text{sen } \theta = \frac{m \cdot \lambda}{d}$$

Para $m = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$ (máximos de interferência).

E para as franjas escuras tem-se:

$$\text{sen } \theta = \left(m + \frac{1}{2}\right) \cdot \frac{\lambda}{d}$$

Para $m = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$ (mínimos de interferência).

Em que d é a distância entre os centros das fendas e θ é o ângulo formado entre a linha que sai do ponto médio entre as fendas e atinge o ponto P, com a linha central que separa as fendas do anteparo de projeção (figura 3.20).

Também pode-se encontrar as posições dos mínimos de difração (franjas escuras mais largas), que separam os grupos de linhas de interferência, pela seguinte expressão:

$$\text{sen } \theta = \frac{m \cdot \lambda}{a}$$

Para $m = \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$ (mínimos de difração).

Em que a é a largura de cada fenda.

Agora, que é possível determinar a posição de cada franja, pode-se também encontrar as distâncias entre elas. Neste caso, analisando a figura 3.20, considere um triângulo formado pelos comprimentos: D , y e da linha que une o ponto médio entre as fendas e o ponto P. Na condição em que $D \gg d$, tem-se que o ângulo θ é muito pequeno, logo:

$$\tan \theta \approx \theta \approx \frac{y}{D}$$

Então, a distância espacial entre as franjas brilhantes e entre as franjas escuras, são determinadas pela mesma equação:

$$\Delta y_m = (m_{n+1} - m_n) \cdot \frac{\lambda \cdot D}{d} \quad (47)$$

Para $n = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$

Em que o índice subscrito em cada m , determina a sua ordem.

Pela expressão (47), todas as distâncias entre franjas claras subsequentes são iguais (sendo assim para franjas escuras também). Então, conclui-se que todas as franjas (claras e escuras) tem a mesma largura. Pode-se observar isto na imagem de difração por dupla fenda da figura 3.19.

As franjas escuras de difração (mínimos de difração) que separam os grupos de franjas de interferência, tem suas posições espaciais, em relação ao ponto central da figura, determinadas pela seguinte expressão:

$$y_m = \frac{m \cdot \lambda \cdot D}{a} \quad (48)$$

Para $m = \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$ (mínimos de difração).

Que permite encontrar também, o Δy_m entre os mínimos de difração subsequentes, o que corresponde à largura dos grupos.

Por fim, também pode-se calcular a intensidade (brilho) das franjas claras em qualquer ponto da figura de difração por duas fendas, através da seguinte equação:

$$I_P = I_c \cdot \cos^2\left(\frac{\alpha}{2}\right) \cdot \left[\frac{\text{sen}\left(\frac{\emptyset}{2}\right)}{\frac{\emptyset}{2}}\right]^2 \quad (49)$$

Em que:

$$\alpha = \frac{d \cdot \text{sen } \theta}{\lambda} \cdot 2\pi \quad e \quad \emptyset = \frac{a \cdot \text{sen } \theta}{\lambda} \cdot 2\pi$$

onde I_c é a intensidade luminosa central, α é a diferença de fase devido a distância entre as fendas e \emptyset é a diferença de fase devido à largura das fendas.

3.5.3. Estudo da difração da luz por obstáculos

Diferentemente da proposta anterior, de estudar a difração da luz por fendas, uma alternativa bastante prática é a técnica de difração por obstáculo, que consiste

em fazer um feixe luminoso incidir sobre um objeto de dimensões aproximadas às do comprimento de onda da luz utilizada, como por exemplo um fio de cabelo. Este procedimento, além de ser uma atividade complementar às outras técnicas de difração, não apresenta diferentes leis ou equações, visto que um obstáculo de espessura “ x ” é semelhante, no que se refere à difração, a uma fenda simples de espessura similar. Sobre esta similaridade, Nussenzveig (1998, v. 4, p. 112) explica o princípio de Babinet, onde afirma que: “[...] exceto pela direção de propagação, as figuras de difração de Fraunhofer associadas a dois dispositivos complementares são iguais. A figura de difração de Fraunhofer de um disco circular é portanto a mesma que a de uma abertura circular de mesmo raio, ou seja é formada de anéis circulares concêntricos.”. Em outras palavras, o padrão de mínimos e máximos é o mesmo para um obstáculo ou uma fenda se tiverem o mesmo tamanho e forma, isto é, uma fenda ou um fio de cabelo, ou um grafite, ou uma palha do mesmo tamanho.

Desta forma, o estudo feito para a difração em fenda simples é válido também para a difração em obstáculos, desde que o formato e as dimensões destes sejam iguais. Em um experimento de difração por fenda simples, como mostrado no esquema da figura 3.16, se substituir a fenda de largura a , por um fio de cabelo ou grafite de diâmetro d , em que $d \approx a$, poderá ser observado as mesmas franjas brilhantes e escuras (máximos e mínimos de interferência).

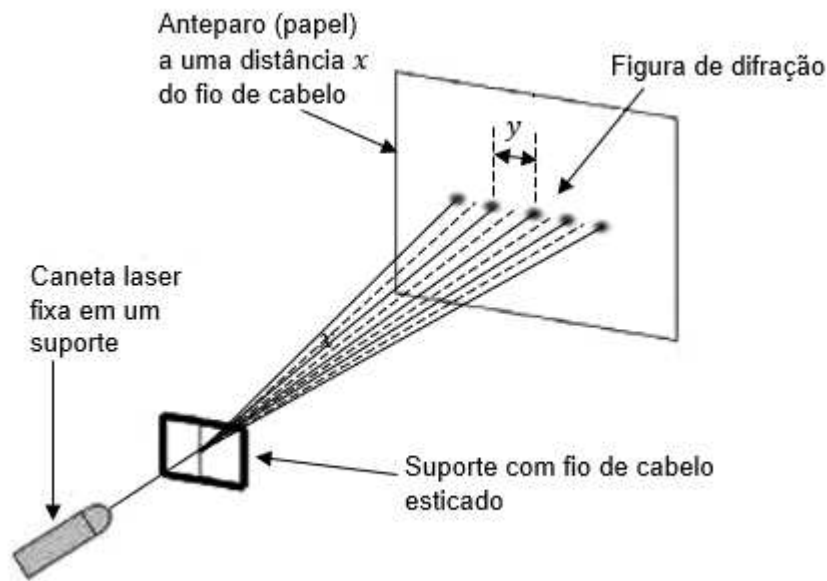
Suponha que durante uma aula sobre difração, o professor apresente um aparato experimental simples com o objetivo de calcular o diâmetro de um fio de cabelo de um dos alunos presentes. Este aparato consiste em uma caneta laser, um suporte vazado para fixar o fio, um papel em branco para servir de anteparo, uma régua e uma trena. A montagem do experimento é esquematizada na figura 3.21. Ele então inicia a atividade experimental fazendo a luz colimada do laser incidir sobre o fio de cabelo selecionado, onde ocorre o espalhamento do feixe luminoso por difração. No anteparo formam-se franjas claras e escuras, como consequência da interferência das frentes de onda.

Para possibilitar o cálculo do diâmetro do fio, é necessário que o professor associe, em uma expressão matemática, os parâmetros envolvidos no experimento. Dessa forma, a análise da figura 3.16 é perfeitamente válida para esta situação. Relacionando o diâmetro do fio de cabelo, d (que aqui substitui a largura da fenda, a),

com o comprimento de onda do laser, λ , e com a distância angular θ entre cada mínimo e o máximo central, obtém-se:

$$\text{sen } \theta = \frac{m \cdot \lambda}{d} \quad (50)$$

Figura 3.21 – Esquema de montagem experimental para o estudo da difração da luz em um fio de cabelo.



Fonte: Adaptado de < https://www.if.ufrj.br/~pef/provas_antigas/2009/fase2_prova_fisica.pdf>. Acesso em: 22 de janeiro de 2021.

Analisando a figura 3.21, obtém-se a seguinte relação:

$$\text{sen } \theta = \frac{y}{\sqrt{x^2 + y^2}} \quad (51)$$

sendo x a distância do fio até o anteparo, e y a distância entre o primeiro máximo lateral e o máximo central.

O diâmetro d do fio pode ser obtido combinando as equações (50) e (51). Logo:

$$d = \frac{m \cdot \lambda \cdot \sqrt{x^2 + y^2}}{y} \quad (52)$$

Estabelecida a equação e conhecendo-se o comprimento de onda do laser, basta o professor medir, por meio da trena e da régua, os valores de x e de y , respectivamente, e em seguida efetuar o cálculo do diâmetro do fio, considerando o erro experimental da atividade.

3.6. Capacitores

“Pode-se armazenar energia, na forma de energia potencial, esticando a corda de um arco, distendendo uma mola, comprimindo um gás ou levantando um livro. Pode-se também fazê-lo num campo elétrico; e um **capacitor** é um dispositivo apropriado para tal fim.” (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 1996, v. 3, p. 91).

Capacitores são dispositivos capazes de acumular cargas elétricas quando seus terminais ficam submetidos a uma diferença de potencial elétrico (ddp), resultando em uma quantidade de energia elétrica armazenada, associada ao posicionamento dessas cargas. São constituídos por pares de materiais condutores, chamados de armaduras ou de placas, entre os quais são inseridos dielétricos (materiais isolantes), que impedem o contato entre eles.

Quando um capacitor é ligado a uma bateria, seus condutores ficam eletricamente carregados, ou seja, uma de suas armaduras fica com uma quantidade de elétrons em excesso, enquanto a outra fica em falta. Totalmente carregado, o capacitor apresenta entre seus terminais uma diferença de potencial elétrico igual à da fonte que o carrega. Estando carregado, se conectado a algum dispositivo elétrico como um resistor, ou um indutor ou um receptor, os elétrons em excesso em uma das armaduras se deslocam para a outra, em falta destes, atravessando o dispositivo, onde a energia potencial elétrica é transformada em outra modalidade de energia, até que os potenciais elétricos das armaduras se igualem, cessando o processo e deixando o capacitor descarregado. Tanto o processo de carga quanto o de descarga não são instantâneos, ou seja, demandam um certo tempo para ocorrerem.

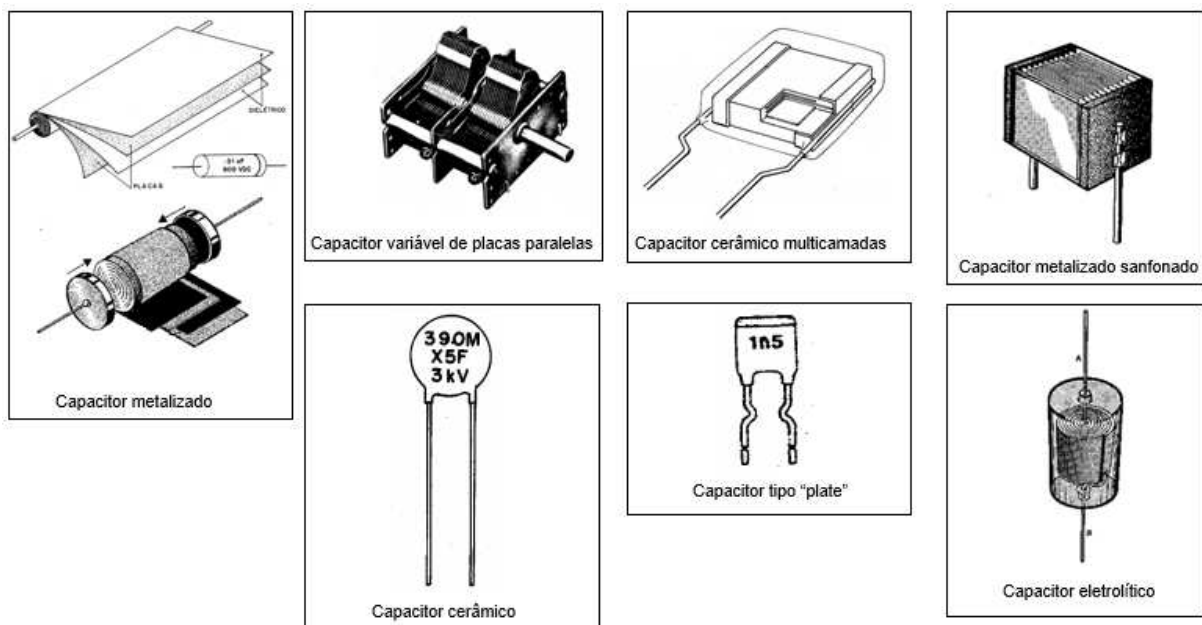
Os capacitores estão muito presentes no cotidiano humano – nas casas, no trabalho, e muitas vezes em dispositivos de uso pessoal. Algumas aplicações desses dispositivos são: armazenamento de carga elétrica em sistemas de flash de câmeras fotográficas; start de motores de portão eletrônico; sensores, como as telas *touchscreen* capacitivas; radares; osciladores; para absorver picos e preencher vales em sinais elétricos; filtro de ruídos em sinais de energia elétrica; como baterias

temporárias em som automotivo; laser de alta potência; aceleradores de partículas; sintonizadores de rádios; em fontes de alimentação, e muitos outros exemplos.

Nas aplicações desses dispositivos em circuitos elétricos, é importante destacar a diferença deles para as baterias. O capacitor tem uma estrutura muito simples, não transforma energia, se carrega e se descarrega com rapidez, divide frequências e suaviza sinais elétricos. Segundo Hewitt (2008, p. 386), “a energia armazenada em um capacitor provém do trabalho realizado para carregá-lo. A energia está armazenada no campo elétrico que se cria entre suas placas.”. Já a bateria transforma energia por processos químicos e se carrega ou se descarrega com lentidão.

As armaduras (placas) condutoras de um capacitor podem ser planas como, por exemplo, duas lâminas; podem ser esféricas (duas esferas concêntricas); ou cilíndricas (dois cilindros coaxiais ocultos). Há também capacitores constituídos por mais de um par de armaduras (como aqueles utilizados em aparelhos de rádio) ou então constituídos por várias placas metálicas separadas por isolantes e enroladas em espiral. Alguns tipos de capacitores estão ilustrados na figura 3.22.

Figura 3.22 – Alguns tipos de capacitores.



Fonte: Adaptado de <<https://www.inf.unioeste.br/~reginaldo/informatica/capacitor/capacitor1.pdf>> - Acesso em: 30 de janeiro de 2021.

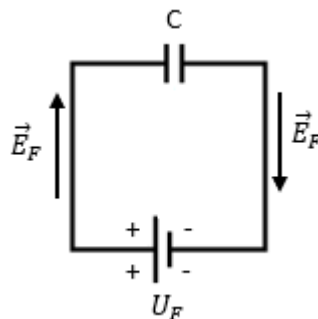
3.6.1. Carregando um capacitor

Segundo Halliday, Resnick e Walker,

Uma forma de carregar um capacitor é colocá-lo em um circuito elétrico com uma bateria. Um circuito elétrico é um caminho fechado que pode ser percorrido por uma corrente elétrica. Bateria é um dispositivo que mantém uma diferença de potencial entre dois terminais (pontos nos quais cargas elétricas podem entrar ou sair da bateria) através de reações eletroquímicas nas quais forças elétricas movimentam cargas no interior do dispositivo. (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2008, v. 3, p. 106).

Quando o capacitor é conectado à bateria surge um campo elétrico no circuito formado, como representado na figura 3.23. A presença deste campo elétrico provoca movimento dos elétrons livres do fio condutor no sentido contrário ao campo, uma vez que eles ficam sob a ação de uma força elétrica nesse sentido. Como entre as placas do capacitor há um material isolante (dielétrico), não há movimento de cargas no seu interior. Assim, os elétrons vão se acumulando em uma das placas, ao mesmo tempo em que a outra placa vai ficando com falta de elétrons.

Figura 3.23 – Campo elétrico (\vec{E}_F) produzido pela fonte.



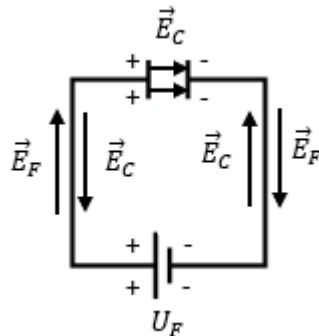
Fonte: Criado pelo autor.

Dessa forma, as placas do capacitor são carregadas: uma negativamente e a outra positivamente. Este acúmulo de cargas nas placas produz um campo elétrico, que tem sentido contrário ao campo criado pela fonte de energia. Esta situação está ilustrada na figura 3.24.

O campo elétrico, produzido pelo capacitor carregado, se superpõe ao existente no circuito e o resultado dessa superposição é um campo elétrico menos intenso. O movimento dos elétrons livres em direção a uma das placas continua até que o campo do capacitor tenha a mesma intensidade do campo criado pela fonte. Nesse momento o capacitor estará completamente carregado e a corrente elétrica no circuito cessará.

De acordo com Halliday, Resnick e Walker (2008, v.3, p. 106), “quando um capacitor está carregado, as placas contêm cargas de mesmo valor absoluto e sinais opostos, $+q$ e $-q$. Entretanto, por convenção, dizemos que a carga de um capacitor é q , o valor absoluto da carga de uma das placas. (Note que a carga total do capacitor é nula).”.

Figura 3.24 – Superposição de campos produzidos pela fonte (\vec{E}_F) e pelo capacitor (\vec{E}_C).



Fonte: Criado pelo autor.

A quantidade de cargas que um capacitor consegue acumular depende não só da tensão da fonte que o carregou, mas também da área de suas armaduras, da distância entre elas e do material isolante que as separa.

3.6.2. Capacitância

Como as placas de um capacitor são feitas de material condutor, elas formam superfícies equipotenciais: todos os pontos da placa de um capacitor estão no mesmo potencial elétrico. Além disso, existe uma diferença de potencial entre as duas placas.

A carga q e a diferença de potencial elétrico V de um capacitor são proporcionais:

$$q = C \cdot V \quad (53)$$

“A constante de proporcionalidade C é chamada de capacitância do capacitor; o valor de C depende da geometria das placas, mas não depende da carga nem da diferença de potencial.” (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2008, v. 3, p. 106). Existem capacitores de diversos formatos, cada qual com uma aplicação específica dentro de um circuito. No entanto, todos são caracterizados por uma capacitância, que é uma

medida da quantidade de carga que precisa ser acumulada nas armaduras para produzir certa diferença de potencial nos terminais do capacitor. Quanto maior a capacitância, maior a carga necessária. Por isso, uma forma de identificar os capacitores nos circuitos é através de sua capacitância.

No Sistema Internacional de Unidades a capacitância é medida em faraday (F). A capacitância de 1 faraday corresponde a 1 coulomb/1 volt. Esta é uma unidade muito grande, de modo que nos casos práticos são utilizados submúltiplos dessa unidade como, por exemplo:

- milifaraday: $1 \text{ mF} = 10^{-3} \text{ F}$
- microfaraday: $1 \text{ }\mu\text{F} = 10^{-6} \text{ F}$
- nanofaraday: $1 \text{ nF} = 10^{-9} \text{ F}$
- picofaraday: $1 \text{ pF} = 10^{-12} \text{ F}$

Segundo Halliday, Resnick e Walker (1996, v.3, p. 94), “a capacitância só depende dos fatores geométricos do capacitor, isto é, da área A e da separação d entre as placas.”. Para um capacitor de placas paralelas, por exemplo, a seguinte expressão é válida.

$$C = \epsilon_0 \cdot \frac{A}{d} \quad (54)$$

onde ϵ_0 é a permissividade elétrica do vácuo ($\epsilon_0 = 8,85 \times 10^{-12} \text{ F/m}$).

Preenchendo-se os espaços entre as placas de um capacitor com um dielétrico, que é um material isolante tal como óleo mineral ou plástico, pode-se aumentar a sua capacitância. De acordo com Halliday, Resnick e Walker (1996, v.3), foi Michael Faraday o primeiro a investigar sobre este fenômeno, usando aparatos experimentais simples. Ele teria percebido que a capacitância aumentava por um fator k , que denominou de **constante dielétrica** do material introduzido.

A constante dielétrica do material (k) é dada pela seguinte expressão:

$$k = \frac{\epsilon_m}{\epsilon_0}$$

onde ε_m é a permissividade elétrica do material isolante. Como k é um valor relativo, é adimensional.

De acordo com a descoberta de Faraday, para um capacitor com um dielétrico preenchendo completamente o espaço entre as placas, pode-se escrever

$$C = k \cdot C_{ar} \quad (55)$$

onde C_{ar} é o valor da capacitância com ar entre as placas.

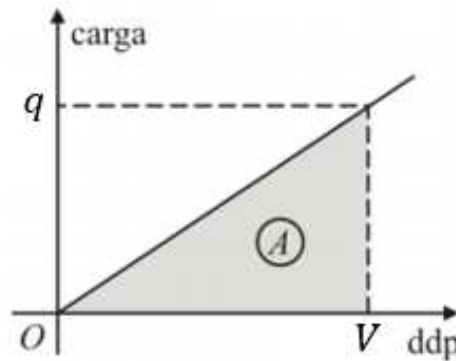
3.6.3. Energia elétrica armazenada

A principal função de um capacitor em um circuito é armazenar energia elétrica para, por exemplo, fornecê-la em momentos de picos de consumo, ou quando ocorre uma falha em um gerador. Esta energia é proporcional à quantidade de carga q acumulada em suas armaduras. Segundo Halliday, Resnick e Walker (2008, v.3), para que esse armazenamento se processe, é necessário que um gerador de energia elétrica realize trabalho, transferindo elétrons de uma das armaduras do capacitor para a outra. À medida que as cargas vão se acumulando, um campo elétrico crescente entre as armaduras, oposto ao movimento das cargas elétricas transferidas, vai dificultando a chegada de novas cargas. Ou seja, para conseguir transferir mais cargas, é preciso realizar um trabalho cada vez maior. O trabalho total realizado para carregar o capacitor, corresponde à energia potencial elétrica armazenada no campo elétrico entre as suas armaduras.

O trabalho necessário para carregar um capacitor é convertido na energia potencial elétrica U do campo elétrico que existe entre as placas. Podemos recuperar essa energia descarregando o capacitor através de um circuito elétrico, da mesma forma como recuperar a energia potencial armazenada em um arco distendido soltando a corda e deixando que se transforme em energia cinética da flecha. (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2008, v. 3, p. 116).

Visto que a carga de um capacitor é proporcional à diferença de potencial entre suas armaduras, um gráfico que associe essas duas grandezas será sempre uma reta que passa pela origem das coordenadas (figura 3.25).

Figura 3.25 – Gráfico de carga (q) em função da diferença de potencial (V).



Fonte: Criado pelo autor.

Nesse gráfico, pode-se interpretar a área sob a curva como numericamente igual ao trabalho realizado para carregar o capacitor.

Matematicamente, a expressão (53) fornece a diferença de potencial entre as armaduras como função da carga armazenada. Dessa forma, quando uma pequena quantidade de carga dq é transferida, surge uma pequena diferença de potencial V . Logo, o cálculo do trabalho para essa condição é dado por:

$$dw = V dq = \frac{q}{C} dq$$

Assim, o trabalho necessário para carregar o capacitor de $q = 0$ até a carga final q , é:

$$W = \int_0^q \frac{q}{C} dq = \frac{q^2}{2C}$$

Como o trabalho total realizado para carregar o capacitor corresponde à parte da energia elétrica do gerador convertida em energia potencial elétrica armazenada, então:

$$U = \frac{q^2}{2C} = \frac{1}{2} \cdot C \cdot (V)^2 \quad (56)$$

onde:

U = energia potencial elétrica [J];

q = quantidade de carga elétrica [C];

V = diferença de potencial [V];

C = capacitância [F].

A expressão (56) é válida para qualquer que seja a geometria do capacitor.

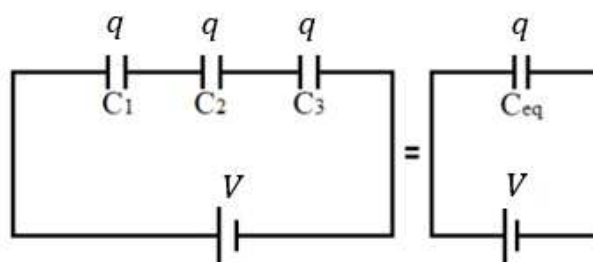
3.6.4. Associações de capacitores

Os circuitos elétricos possuem, muitas vezes, uma combinação de dois, três ou n capacitores, sendo possível substituí-los por um único capacitor com capacitância equivalente ao do conjunto de capacitores associados, simplificando assim o circuito. Essa combinação de capacitores pode ser uma associação em série ou em paralelo.

“Dizemos que capacitores combinados estão ligados em série quando uma diferença de potencial aplicada através da combinação é a soma das diferenças de potencial resultantes através de cada capacitor.” (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 1996, v. 3, p. 97).

Numa associação em série, os capacitores estão ligados um após o outro e é aplicada uma diferença de potencial nas extremidades do conjunto. Assim, todos os capacitores armazenam uma igual quantidade de carga elétrica. Nesta associação, existe somente um caminho para as cargas se transferirem de um capacitor para outro. É possível simplificar uma associação em série por um capacitor equivalente com a mesma carga elétrica total, submetido à mesma diferença de potencial. A figura 3.26 mostra uma associação em série de capacitores e a representação do capacitor equivalente.

Figura 3.26 – Associação de capacitores em série e capacitor equivalente



Fonte: Criado pelo autor.

A diferença de potencial aplicada nas extremidades desta associação, se divide entre os capacitores de maneira que, quanto maior a capacitância de um, menor a diferença de potencial sobre ele.

A associação de capacitores em série apresenta as seguintes propriedades:

- Todos os capacitores na associação adquirem a mesma carga elétrica.

$$q_{eq} = q_1 = q_2 = q_3 = \dots = q_n \quad (57)$$

- A diferença de potencial nos terminais do capacitor equivalente é igual à soma das diferenças de potencial nos terminais de cada capacitor.

$$V_{eq} = V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_n \quad (58)$$

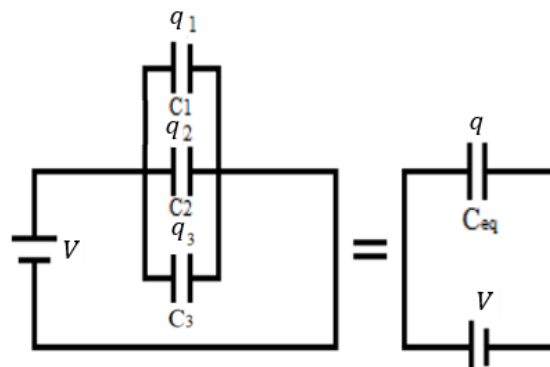
- A capacitância equivalente é definida da seguinte forma:

$$\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n} \quad (59)$$

A equação da capacitância equivalente (C_{eq}), demonstra que o seu inverso é igual à soma algébrica dos inversos das capacitâncias individuais, sendo o seu valor sempre menor que qualquer capacitância individual da associação.

Na associação de capacitores em paralelo, a interligação é feita de tal forma que uma das armaduras de cada capacitor se conecta a um dos polos do gerador e a outra armadura se conecta ao outro polo (figura 3.27).

Figura 3.27 – Associação de capacitores em paralelo e capacitor equivalente



Fonte: Criado pelo autor.

“Dizemos que capacitores combinados estão ligados em paralelo quando uma diferença de potencial aplicada através da combinação resulta na mesma diferença de potencial através de cada capacitor.” (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 1996, v. 3, p. 96).

Desta forma, a diferença de potencial nos terminais de cada um deles são iguais, sendo a mesma diferença de potencial do gerador. A figura 3.27 também mostra a simplificação da associação em paralelo por um capacitor equivalente, o qual apresenta a mesma carga elétrica total estando submetido a mesma diferença de potencial que os capacitores da associação.

A associação de capacitores em paralelo apresenta as seguintes propriedades:

- A carga elétrica equivalente (total) é a soma de todas as cargas elétricas acumuladas em cada capacitor. Assim que se liga os capacitores associados a um gerador, cada um deles se carrega rapidamente, alcançando sua máxima carga elétrica.

$$q_{eq} = q_1 + q_2 + q_3 + \dots + q_n \quad (60)$$

- A diferença de potencial nos terminais do capacitor equivalente é igual à diferença de potencial nos terminais de cada capacitor da associação.

$$V_{eq} = V_1 = V_2 = V_3 = \dots = V_n \quad (61)$$

- A capacitância equivalente é a soma das capacitâncias de cada capacitor, produzindo no circuito o mesmo efeito que a associação, ou seja,

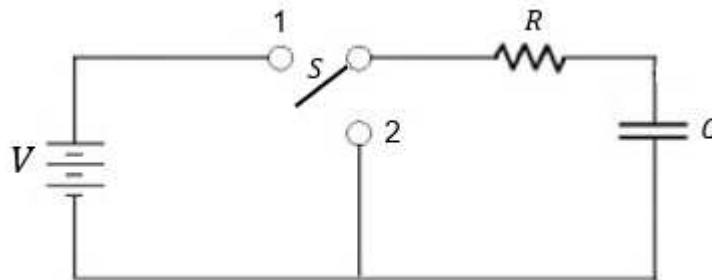
$$C_{eq} = C_1 + C_2 + \dots + C_n \quad (62)$$

3.6.5. Carga e descarga do capacitor em um circuito RC

Quando capacitores são conectados a um gerador de eletricidade em um circuito elétrico, dificilmente eles são os únicos dispositivos presentes. Geralmente, outros elementos também compõe o circuito, como resistores, indutores, receptores etc.

Um modelo de circuito bem simples que se pode construir com um capacitor é o circuito de corrente contínua RC , representado na figura 3.28. Este circuito é chamado assim por ser uma combinação de um resistor de resistência R e um capacitor de capacitância C , associados em série, que determinam o tempo necessário para carregar ou descarregar o capacitor.

Figura 3.28 – Circuito RC apropriado para definir um tempo de carga e descarga de um capacitor.



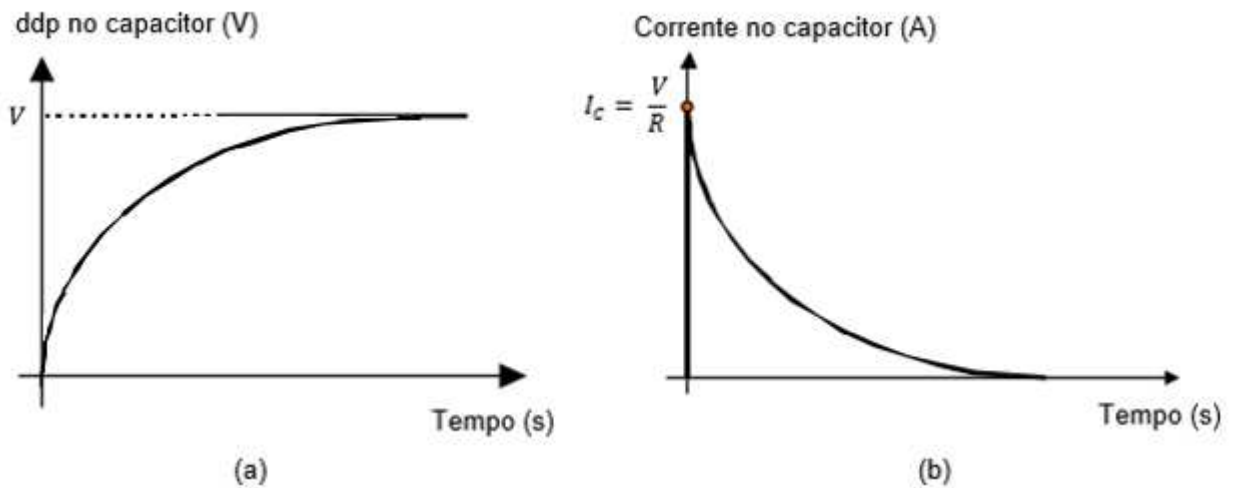
Fonte: Criado pelo autor.

Suponha que, em um circuito como o da figura 3.28, o capacitor esteja inicialmente descarregado. No instante em que a chave S é ligada na posição 1, a diferença de potencial sobre o capacitor é nula, enquanto a corrente elétrica no circuito é máxima, devido à forte repulsão eletrostática que provoca um máximo fluxo de elétrons. O valor dessa corrente depende da resistência elétrica ligada em série ao capacitor. À medida em que o capacitor se carrega, a corrente elétrica diminui, enquanto a diferença de potencial em seus terminais se eleva. Quando o capacitor completa totalmente a carga, a diferença de potencial sobre ele é máxima, sendo igual à diferença de potencial da fonte (gerador de corrente contínua), e a corrente no circuito cessa. Pode-se então descrever o carregamento de um capacitor por uma curva que relaciona a variação da diferença de potencial em seus terminais ao tempo gasto no processo.

No caso da corrente elétrica neste circuito, ela é mais intensa quando o valor do resistor é menor, proporcionando assim um carregamento mais rápido do capacitor. Caso contrário, se o resistor tiver um alto valor o processo de carga é mais demorado. Outro fator que interfere no tempo de carregamento do capacitor é a sua capacitância, que se é alta, exige uma quantidade maior de carga, deixando o processo mais lento. A figura 3.29(a) apresenta a curva da variação da ddp sobre o

capacitor durante o seu carregamento, enquanto que a figura 3.29(b) apresenta o comportamento da corrente.

Figura 3.29 – (a) Variação da diferença de potencial sobre um capacitor em um circuito RC – carga. (b) Variação da corrente elétrica sobre um capacitor em um circuito RC – carga.



Fonte: Adaptado de <<https://www.inf.unioeste.br/~reginaldo/informatica/capacitor/capacitor1.pdf>> - Acesso em: 30 de janeiro de 2021.

Conclui-se então que, no instante em que a chave S é ligada na posição 1, toda a ddp da bateria aparece sobre o resistor e nenhuma sobre o capacitor. Neste instante, o capacitor se comporta como um curto-circuito. A diferença de potencial sobre o resistor decresce com o tempo enquanto a diferença de potencial sobre o capacitor aumenta com o tempo. O capacitor bloqueia o fluxo de corrente contínua quando se carrega por completo, ou seja, ele carregado se comporta como um circuito aberto.

As expressões matemáticas que descrevem as curvas de carga de um capacitor em um circuito RC , de corrente contínua, são:

$$q_C(t) = C \cdot V \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{R \cdot C}}\right) \quad (63)$$

$$V_C(t) = V \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{R \cdot C}}\right) \quad (64)$$

A equação (63) trata da carga acumulada no capacitor em função do tempo, em que C é a capacitância dele e V é a ddp do gerador. A equação (64) fornece a diferença de potencial nos terminais do capacitor em função do tempo.

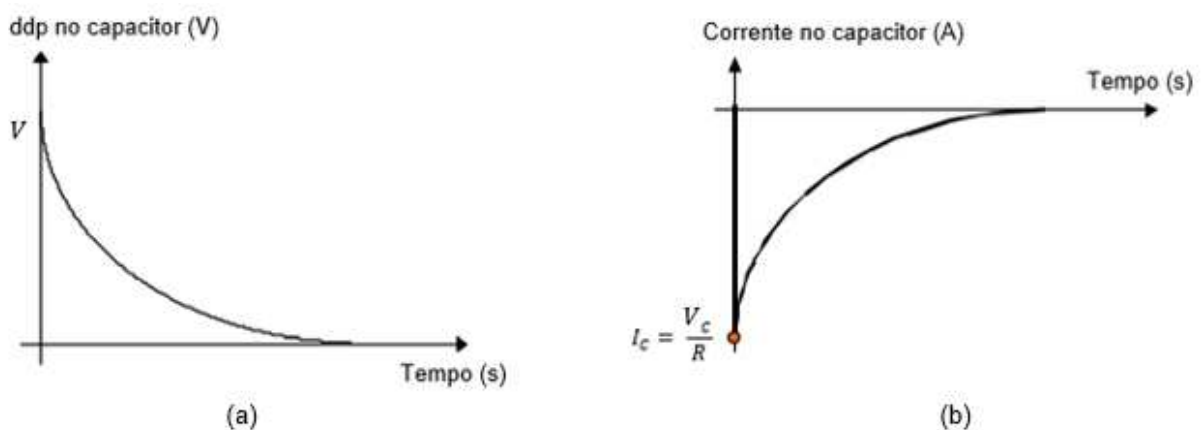
A corrente elétrica no circuito e a diferença de potencial sobre o resistor, durante o carregamento do capacitor, são definidas pelas seguintes expressões:

$$i(t) = \frac{V}{R} \cdot e^{-\frac{t}{R \cdot C}} \quad (65)$$

$$V_R(t) = V \cdot e^{-\frac{t}{R \cdot C}} \quad (66)$$

Quanto ao processo de descarga de um capacitor, suponha agora que, em um circuito como o da figura 3.28, o capacitor esteja inicialmente carregado. No instante em que a chave S é ligada na posição 2, os elétrons da armadura carregada negativamente são atraídos pelas cargas positivas em excesso da outra armadura, provocando uma corrente elétrica proporcionada pela diferença de potencial entre os terminais do capacitor. A corrente elétrica flui através do resistor até que a diferença de potencial do capacitor seja nula, como indicam as curvas da figura 3.30.

Figura 3.30 – (a) Variação da diferença de potencial nos terminais de um capacitor em um circuito RC – descarga. (b) Variação da corrente elétrica sobre um capacitor em um circuito RC – descarga.



Fonte: Adaptado de <<https://www.inf.unioeste.br/~reginaldo/informatica/capacitor/capacitor1.pdf>> - Acesso em: 30 de janeiro de 2021.

As expressões matemáticas que descrevem as curvas de descarga de um capacitor em um circuito RC , são:

$$q_C(t) = q_0 \cdot e^{-\frac{t}{R \cdot C}} \quad (67)$$

$$V_C(t) = V_0 \cdot e^{-\frac{t}{R \cdot C}} \quad (68)$$

A equação (67) trata da diminuição da carga acumulada no capacitor em função do tempo, em que q_0 é a sua carga inicial. A equação (68) fornece a diminuição da diferença de potencial nos terminais do mesmo em função do tempo, em que V_0 é a diferença de potencial inicial sobre ele.

A corrente elétrica no circuito e a diferença de potencial sobre o resistor, durante a descarga do capacitor, são definidas pelas seguintes expressões:

$$i(t) = \frac{V_C(t)}{R} \quad (69)$$

$$V_R(t) = V_C(t) \quad (70)$$

4. METODOLOGIA

Para a nossa pesquisa, selecionamos uma turma de cada série do ensino médio de uma escola pública, para as quais desenvolvemos demonstrações experimentais, no ano de 2018. A elaboração de tais demonstrações se fundamentou em uma proposta metodológica voltada para a interação ativa entre o professor e os alunos, com o objetivo de envolvê-los efetivamente e enriquecer as aulas de exposições teóricas de alguns conteúdos de Física desse nível de ensino. Para a realização da pesquisa, planejamos o procedimento metodológico para ser desenvolvido em cinco aulas, cada uma com duração de 45 minutos, como forma de explorar bem cada etapa do processo. Para compararmos os resultados obtidos com a aplicação da metodologia nessas turmas, selecionamos outras três, também de cada série, para as quais planejamos o mesmo desenvolvimento, porém sem a realização das demonstrações experimentais e respeitando a isonomia na explicação dos conteúdos. Dessa forma, definimos para cada série do ensino médio (1^a, 2^a e 3^a) uma turma de aplicação da metodologia proposta (com demonstração experimental) e uma turma de controle (sem demonstração experimental), para, ao final do procedimento, analisarmos os resultados e verificarmos se o interesse, a participação e a compreensão conceitual dos alunos das turmas em que ocorreram as demonstrações foram melhores, quando comparados aos alunos das turmas onde as aulas foram tradicionais.

4.1. A instituição

A escola na qual se desenvolveu a pesquisa está localizada na cidade de Ipatinga/MG, em um bairro central. A instituição pertence à rede pública estadual e tem atualmente turmas de Ensino Fundamental I, Fundamental II e Médio, somando aproximadamente mil e cem alunos. Pelo ranking do Enem de 2019, foi classificada como a melhor escola estadual da cidade, estando à frente de algumas instituições privadas.

A escola conta com uma boa estrutura física e pedagógica. Todas as salas de aula possuem televisão de 50", computador e acesso à internet de alta velocidade. Há também uma sala de informática com vinte computadores conectados à internet, uma

biblioteca com um acervo bem grande de livros e revistas e um laboratório de ciências com alguns aparatos experimentais para as aulas de Química e Biologia.

Apesar da existência deste laboratório, não havia até o momento que iniciamos este trabalho, nenhum equipamento ou material para o ensino de Física experimental, tampouco um espaço apropriado para esta atividade. Então, para acondicionarmos os materiais adquiridos e os aparatos experimentais construídos para o desenvolvimento da nossa pesquisa, foi disponibilizada uma sala permanente para tal fim, servindo também para as aulas práticas de Física. A esta sala demos o nome de “Sala de apoio ao ensino de Física”. Para divulgar as atividades experimentais criadas para serem usadas no emprego da metodologia proposta neste trabalho, estamos desenvolvendo um site no qual postamos fotos, vídeos e arquivos explicativos sobre tais atividades. Este site pode ser acessado pelo link:

<<https://apoioensinodefisica.wixsite.com/saefctpm>>.

4.2. O corpo discente

O corpo discente alvo deste trabalho é composto por 182 alunos do ensino médio, do turno matutino do ano letivo de 2018, na faixa etária de 15 a 18 anos, distribuídos em 2 turmas de 1ª série, 2 turmas de 2ª série e 2 turmas de 3ª série.

Nesta escola, os conteúdos de Física são apresentados aos alunos pela primeira vez no 9º ano do ensino fundamental II, de uma forma bem conceitual, com poucas abordagens matemáticas. Estudam sobre as leis de Newton, trabalho e energia, impulso e quantidade de movimento, astronomia, cinemática, hidrostática, óptica geométrica, ondas mecânicas, temperatura e calor, eletricidade e magnetismo. Dessa forma, quando os alunos chegam à 1ª série do ensino médio, os conteúdos do planejamento anual de Física não são, a princípio, novidades para eles. A carga horária semanal de Física é composta de 4 aulas, das quais 1 experimental, com duração de 45 minutos cada.

Os alunos da 2ª série do ensino médio participam de um projeto científico, onde devem pesquisar e desenvolver, em equipes, trabalhos com temáticas sobre: meio ambiente, saúde, tecnologia e, mais recentemente, dispositivos controlados por Arduíno. Os trabalhos iniciam na primeira etapa letiva e se realizam ao longo do ano, sendo apresentados para a comunidade escolar, em uma feira científica ao final da

última etapa letiva. Para eles são ministradas 4 aulas semanais de Física, das quais 1 experimental, com duração de 45 minutos cada.

Já os alunos da 3ª série, em sua grande maioria, frequentam cursos preparatórios para o ENEM e para o vestibular, no turno vespertino ou noturno. Também, há alunos deste ano escolar que desenvolvem atividades laborais, como aprendizes, nos comércios da cidade. Para eles são ministradas 5 aulas semanais de Física, das quais 1 experimental, com duração de 45 minutos cada.

As turmas do ensino médio são definidas pelas nomenclaturas: “Turma 1001” e “Turma 1002” – 1ª série; “Turma 2001” e “Turma 2002” – 2ª série; “Turma 3001” e “Turma 3002” – 3ª série. A distribuição de alunos em cada uma delas não considera o rendimento ou a capacidade intelectual destes, mas sim uma ordem no processo de matrícula, ou seja, quando este processo se inicia, os alunos de cada série são alocados primeiramente na turma com terminação “1” até sua capacidade máxima, após esta se esgotar os alunos são direcionados para a turma com terminação “2”, até sua capacidade máxima.

De forma arbitrária, decidimos eleger, para cada série, a turma com terminação “1” como a de aplicação da demonstração experimental e a turma com terminação “2” como a de controle (sem a demonstração experimental). Dessa maneira, serão analisados aqui os resultados das turmas:

- 1001 – aplicação (27 alunos).
- 1002 – controle (27 alunos).
- 2001 – aplicação (29 alunos).
- 2002 – controle (32 alunos).
- 3001 – aplicação (31 alunos).
- 3002 – controle (36 alunos).

4.3. Os aparatos experimentais

Para as aulas de aplicação da metodologia proposta neste trabalho, foram desenvolvidos aparatos experimentais didáticos, construídos com materiais de fácil obtenção, com o objetivo de servirem para as demonstrações dos fatos e fenômenos, antes e durante as explicações dos conteúdos abordados.

Como argumentado no início do capítulo anterior, escolhemos trabalhar com demonstrações experimentais dos seguintes conteúdos:

- 1ª série – Movimento de projéteis.
- 2ª série – Difração da luz.
- 3ª série – Circuito com capacitores.

Para a construção do aparato experimental empregado na aula da 1ª série, foram utilizados os seguintes materiais: pedaços de madeira em MDF, pregos e parafusos, cola para madeira, 3 bolas de sinuca (2 de massas iguais e 1 com maior massa), 1 copo de plástico, linha 10, 3 ganchos de metal, 1 transferidor e 1 trena.

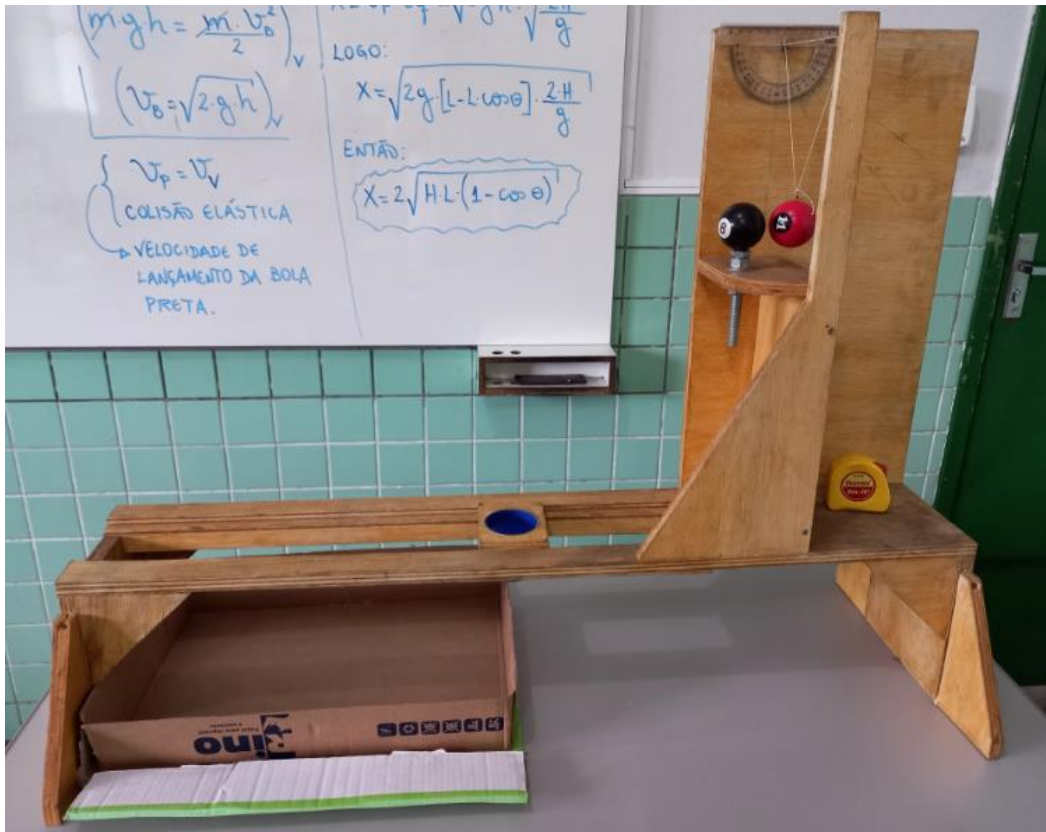
Na figura 4.1, apresentamos o aparato experimental em sua fase de construção e na figura 4.2, já preparado para o uso.

Figura 4.1 – Aparato experimental, para a aula com demonstração na 1ª série do ensino médio, em fase de construção.



Fonte: Acervo próprio.

Figura 4.2 – Aparato experimental, para a aula com demonstração na 1ª série do ensino médio, preparado para ser utilizado.



Fonte: Acervo próprio.

Para a construção do aparato experimental empregado na aula da 2ª série, foram utilizados os seguintes materiais: pedaços de papelão, suporte metálico, estilete, fio de cabelo, lâmina de barbear, caneta laser verde, fita adesiva, garrafa pet cortada, 1 régua e 1 trena.

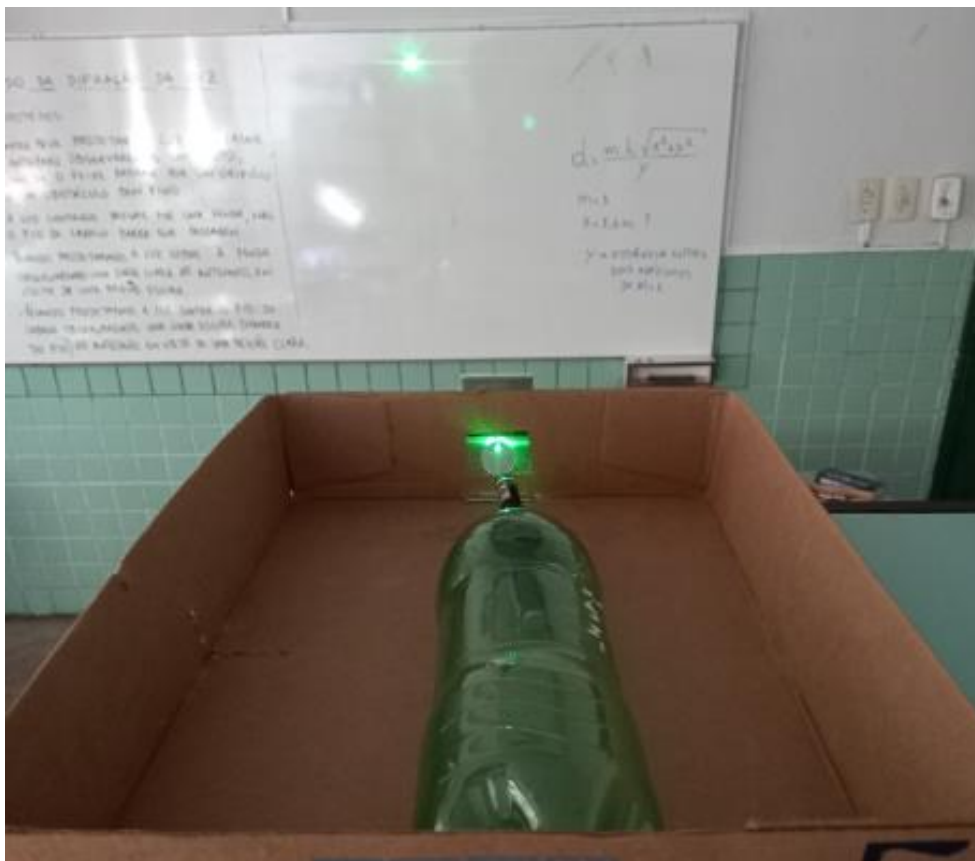
Na figura 4.3, apresentamos alguns dos itens utilizados na montagem do aparato e na figura 4.4, o aparato sendo utilizado para a observação da difração do feixe de laser em um fio de cabelo.

Figura 4.3 – Alguns dos itens do aparato experimental para a aula com demonstração na 2ª série do ensino médio.



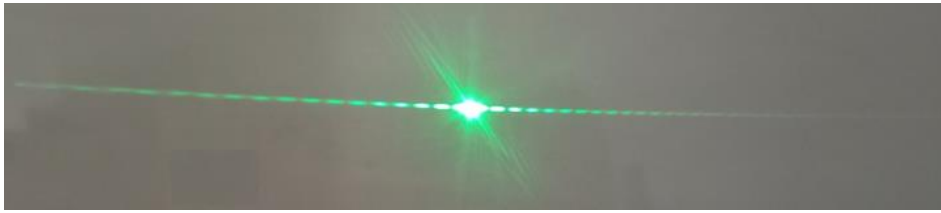
Fonte: Acervo próprio.

Figura 4.4 – Aparato experimental, para a aula com demonstração na 2ª série do ensino médio, sendo utilizado para a observação do fenômeno da difração do feixe de laser em um fio de cabelo.



Fonte: Acervo próprio.

Figura 4.5 – Figura de difração obtida pela passagem do feixe de laser verde pelo fio de cabelo.

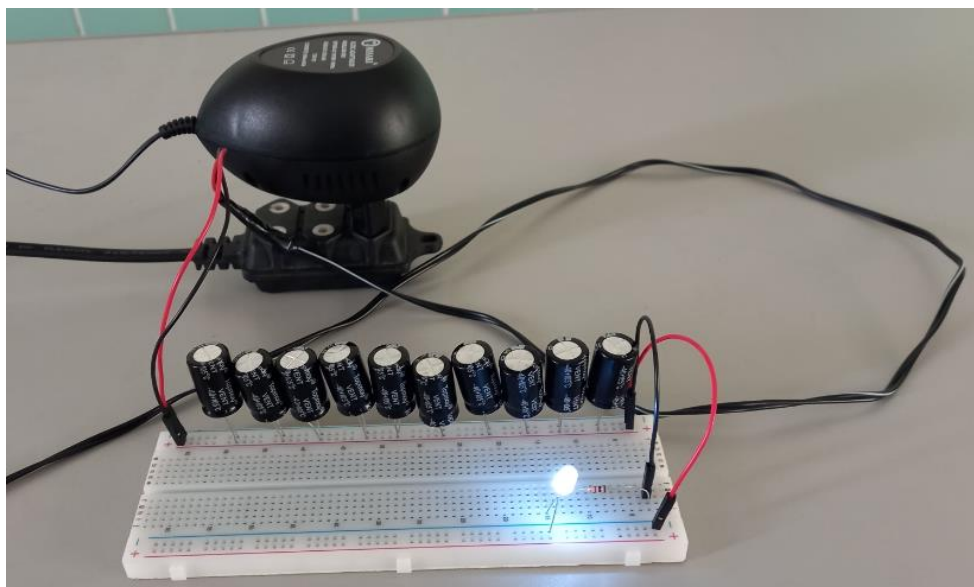


Fonte: Acervo próprio.

Para a construção do aparato experimental empregado na aula da 3ª série, foram utilizados os seguintes materiais: 10 capacitores eletrolíticos de capacitância igual a 1 mF e máxima ddp igual a 35 V_{cc}, 1 LED de alto brilho branco de 5 mm (3,0 V_{cc} e 30 mA), 1 resistor de 1 K Ω (com 5% de tolerância e 0,25 W), 1 Protoboard 830 pontos MB-102, 1 transformador de energia elétrica (entrada 127 V_{ca} e saída 9,0 V_{cc}), 1 multímetro, fios elétricos e 1 extensão elétrica.

Na figura 4.6, apresentamos o aparato experimental sendo utilizado para a medida do tempo de descarga da associação em paralelo dos 10 capacitores, através do brilho do LED. Na figura 4.7 representamos o esquema do circuito elétrico (RC) que foi montado de acordo com a figura 4.6.

Figura 4.6 – Aparato experimental, para a aula com demonstração na 3ª série do ensino médio, sendo utilizado para a medida do tempo de descarga da associação em paralelo de 10 capacitores de 1 mF.



Fonte: Acervo próprio.

Figura 4.7 – Esquema representativo do circuito elétrico (RC) do aparato experimental montado para a aula com demonstração na 3ª série do ensino médio.



Fonte: Criado pelo autor.

4.4. A organização da sequência de aulas

Como mencionado no início deste capítulo, o procedimento metodológico desta pesquisa se desenvolveu ao longo de cinco aulas de 45 minutos cada. Para as turmas de aplicação o desenvolvimento de cada uma dessas aulas foi organizado, de forma geral, com a seguinte estrutura:

- Aula 1 – Aplicação da avaliação pré-aula.
- Aula 2 – Desenvolvimento da demonstração experimental.
- Aula 3 – Apresentação do modelo científico que explica a demonstração.
- Aula 4 – Aplicação da avaliação pós-aula.
- Aula 5 – Discussão dos resultados da avaliação pós-aula.

Já para as turmas de controle, cada aula se desenvolveu da seguinte forma:

- Aula 1 – Aplicação da avaliação pré-aula.
- Aula 2 – Apresentação do modelo científico, que explica o conceito ou o fenômeno estudado, por meio de desenhos esquemáticos no quadro ou em slides.
- Aula 3 – Resolução de exercícios do livro didático adotado, sobre o conteúdo estudado.
- Aula 4 – Aplicação da avaliação pós-aula.
- Aula 5 – Realização do experimento de demonstração e discussão dos resultados da avaliação pós-aula.

4.4.1. As avaliações pré-aula e pós-aula.

O principal objetivo deste trabalho é verificar os benefícios que as demonstrações experimentais, realizadas durante o desenvolvimento de aulas teóricas, podem fornecer ao processo de ensinar Física para estudantes do ensino médio; se é possível, por meio destas demonstrações, tornar mais expressivo o interesse pelas aulas e o engajamento nestas pelos estudantes, bem como dar mais significado para eles quanto a compressão de conceitos e fenômenos. Dessa forma, para examinarmos se os efeitos desta proposta são realmente significativos, planejamos e desenvolvemos aulas com demonstrações para um grupo de alunos (turmas de aplicação) e aulas sem demonstrações para outro grupo (turmas de controle), preocupando-nos em manter a isonomia nas explicações dos conteúdos. Então, para analisarmos o quanto a compreensão conceitual dos estudantes de ambos os grupos evoluiu, em relação aos temas abordados, elaboramos avaliações (anexo A) para serem aplicadas no momento anterior as aulas (pré-aula) e no momento posterior a elas (pós-aula), como forma de compararmos os resultados quantitativos obtidos por eles.

As avaliações foram compostas por questões objetivas (fechadas) e discursivas (abertas), alinhadas aos habituais modelos aplicados aos alunos da escola pesquisada. A razão em adotarmos este modelo de avaliação foi pelo fato de acreditarmos que dessa forma o número de respostas aleatórias (“chutes”), dadas pelo não conhecimento integral do conteúdo, seria menor, pois os alunos deveriam descrever realmente o que sabiam nas questões abertas.

De acordo com Galhardi e Azevedo (2013), para o tipo de análise quantitativa que desenvolvemos neste trabalho – o ganho normalizado de Hake, as avaliações pré-aula e pós-aula devem ser idênticas, então assim fizemos. Para a 1ª série estas avaliações foram preparadas com 6 questões objetivas contendo 4 alternativas de respostas (apenas 1 verdadeira) e 6 questões discursivas. Para a 2ª e a 3ª séries as avaliações foram preparadas com 6 questões objetivas contendo 4 alternativas de respostas (apenas 1 verdadeira) e 4 questões discursivas.

Cada avaliação iniciou com uma breve descrição esquemática do aparato experimental e do procedimento adotado para o seu funcionamento, seguido das questões para serem desenvolvidas. Na avaliação pré-aula, os estudantes tiveram

que responder as perguntas baseados em seus conhecimentos prévios e na imaginação da demonstração experimental descrita.

Os resultados das avaliações pré-aula também serviram para nortear os planejamentos das atividades, pois ao identificarmos os pontos críticos, definimos a dinâmica de abordagem mais coerente para as aulas, proporcionando aos alunos um melhor entendimento dos conceitos estudados.

4.4.2. As ações em cada aula da sequência

Programamos para a aula 1 a aplicação da avaliação pré-aula, para ser realizada durante os 45 minutos do tempo disponível. Dessa forma, avisamos com antecedência os alunos das turmas envolvidas (aplicação e controle) a data da avaliação, mas sem falar sobre o conteúdo que seria abordado, para evitar que eles estudassem previamente, comprometendo o objetivo da ação. Como forma de contar com a presença integral dos alunos de cada turma, informamos a eles que tal avaliação, assim como toda a sequência de aulas, seria pontuada como nota destinada a participação e conceito na etapa letiva. Na data agendada, a aplicação da avaliação em cada turma ocorreu no mesmo horário, de forma individual e sem consulta, sob nossa vigilância e de um docente colaborador, não permitindo saídas ao pátio até findar a atividade. Após a aplicação da avaliação pré-aula, rapidamente fizemos a sua correção e através dos resultados obtidos planejamos a aula 2. As respostas e resultados desta avaliação não foram repassadas aos alunos.

Para as turmas de aplicação, na aula 2 inicialmente apresentamos o aparato experimental e fizemos, junto aos alunos, o levantamento de previsões e de hipóteses dos possíveis acontecimentos, em seguida procedemos com o desenvolvimento das demonstrações, observando as interações e os fenômenos envolvidos nos conceitos estudados, destacando a confirmação ou não das hipóteses levantadas. Para as turmas de controle ministramos as aulas com as exposições dos conteúdos, mas sem o desenvolvimento das demonstrações experimentais, apresentando os modelos científicos e matemáticos dos conceitos estudados através de desenhos esquemáticos no quadro da sala.

Na 1ª série, ao iniciarmos a aula 2 na turma de aplicação, procuramos saber dos alunos o que eles esperavam com a demonstração, haja vista que, apesar de não terem estudado nada sobre movimento de projéteis, energia mecânica, trabalho e

momento linear naquele ano letivo, estes conteúdos já haviam sido apresentados a eles no 9º ano do ensino fundamental II. Para facilitar as observações dos alunos, apresentamos perguntas diretamente relacionadas com a demonstração e procuramos reunir as respostas e ideias apresentadas por eles no quadro da sala. Nossa intenção foi tornar claras para os estudantes suas próprias concepções acerca do fenômeno a ser estudado. Observamos que os alunos tiveram muita dificuldade para apresentar suas ideias de uma maneira organizada, sistematizada dentro de qualquer contexto explicativo. Mesmo inseguros sobre a explicação que poderiam dar, muitos se animaram a expor suas hipóteses, provavelmente motivados pela presença do aparato experimental sobre a mesa e pelo que esperavam ver em seguida.

Durante a realização da demonstração experimental, orientamos os alunos a permanecerem em seus lugares e procuramos refazer os questionamentos iniciais a respeito do que eles estavam observando, reforçando assim as suas expectativas em relação às previsões que haviam feito e ao que poderia ocorrer. Eles então apresentaram explicações espontâneas, desvinculadas de qualquer modelo teórico, apresentadas pelo interesse de acertar a explicação do que viam, ou de adivinhar o que iriam ver.

Dessa forma, na aula 3 (geminada com a aula 2) repetimos a demonstração experimental e fizemos as devidas intervenções explicativas, apresentando aos alunos os modelos científicos e matemáticos que representam as interações e os fenômenos observados, ponderando sobre as explicações dadas por eles e respondendo aos seus questionamentos. Após este momento, resolvemos dois exercícios de aplicação (um teórico e um matemático) para ilustrar a aplicação dos conceitos estudados e o restante da aula reservamos para a interação dos alunos com o aparato experimental, permitindo-os manusearem e “brincarem”.

Para a turma de controle, a aula 3 foi destinada para soluções de exercícios – três teóricos e três matemáticos – do livro didático adotado, como forma de fixar os conteúdos abordados na aula 2.

Na aula 4, aplicamos a avaliação pós-aula para a turma de aplicação e para a turma de controle, contendo as mesmas questões da avaliação pré-aula e sob os mesmos critérios em que esta foi aplicada. Sem demora fizemos a correção da avaliação pós-aula e através dos resultados obtidos planejamos a aula 5. Dessa forma, na última aula da sequência programada, para a turma de aplicação, realizamos a correção da avaliação com os alunos, discutindo todas as questões com

base na demonstração experimental da qual eles tiveram a oportunidade de presenciar. Percebemos que a maioria deles ficaram satisfeitos em verificar a evolução que tiveram no número de acertos das questões, demonstrando o comprometimento com a atividade. Já, para a turma de controle, na última aula realizamos a demonstração experimental durante a correção da avaliação. Para cada questão que corrigimos, demonstramos a ocorrência das interações e dos fenômenos por meio do aparato experimental. Assim, evitamos causar prejuízos pedagógicos aos alunos da turma de controle, proporcionando a eles a mesma experiência vivida pelos alunos da turma de aplicação, embora em um momento diferente. Esta turma também evoluiu na quantidade de acertos das questões.

Todos os procedimentos descritos nos parágrafos anteriores para as turmas da 1ª série (aplicação e controle), foram igualmente desenvolvidos para as respectivas turmas da 2ª e da 3ª séries, diferenciando-se apenas nos conteúdos abordados. Para os alunos dessas duas séries, os conteúdos escolhidos para o desenvolvimento desta pesquisa apresentaram-se como novidades. No caso dos alunos da 2ª série, apesar de já saberem os fundamentos da óptica geométrica e terem estudado um pouco sobre ondulatória no 9º ano do ensino fundamental II, não conheciam praticamente nada sobre a difração da luz. Já os alunos da 3ª série, nesta escola não haviam estudado capacitores ainda, mas eletrostática, eletrodinâmica e circuitos elétricos já haviam sido ensinados a eles.

Reiteramos que, para todas as turmas de controle foram ministradas aulas de acordo com o modelo que predomina na maioria das escolas públicas do Brasil (que neste trabalho chamamos de modelo tradicional), em que as aulas são exclusivamente teóricas, conduzidas por um professor “palestrante” e sem o uso de demonstrações experimentais.

5. RESULTADOS

Desenvolver, para alunos das turmas de aplicação, demonstrações experimentais durante aulas teóricas de Física e verificar os benefícios dessa ação é o principal objetivo deste trabalho. Dentre esses benefícios, propomos analisar aqui a influência deste método no interesse e engajamento nas aulas pelos estudantes; se é significativa ou não. Também, propomos avaliar, de forma quantitativa, se a compreensão de conceitos e fenômenos é mais expressiva por este método ou pelo método tradicional (desenvolvido com alunos das turmas de controle), no qual aulas puramente teóricas predominam.

Para fazermos a avaliação quantitativa e comparativa entre estes dois métodos, utilizamos os resultados das questões das avaliações pré-aula e pós-aula, as quais foram idênticas e abordaram tanto conceitos quanto raciocínio físico-matemático. Neste caso, optamos por aplicar a avaliação pós-aula igual a pré-aula, por assim entendermos ser a melhor maneira de avaliar a evolução da compreensão conceitual dos estudantes das turmas de aplicação e das turmas de controle.

É apresentado a seguir os resultados qualitativos e quantitativos, obtidos com o desenvolvimento deste trabalho nas seis turmas selecionadas – três turmas de aplicação e três turmas de controle, como descrito no capítulo anterior. As análises quantitativas e comparativas dos resultados das avaliações pré-aula e pós-aula, são realizadas através de gráficos, pelos ganhos normalizados das médias ($\langle g \rangle$) e pelas médias dos ganhos normalizados individuais (g_{ave}).

5.1. Análise qualitativa dos resultados

Percebemos, ao longo do desenvolvimento das demonstrações experimentais nas turmas de aplicação, que alguns aspectos qualitativos das aulas se fortaleceram. Fatores positivos puderam ser verificados desde o momento da chegada do professor em sala de aula, com o aparato experimental em mãos, passando pelas aulas com perguntas feitas aos alunos sobre as expectativas e hipóteses fenomenológicas, até o desfecho final da atividade, em que eles puderam comparar os conceitos que foram estudados com as ideias prévias trazidas por cada um. Mas, o que mais nos chamou a atenção foram os aspectos relacionados à participação e à motivação para as aulas.

Em nossa prática docente é muito comum percebermos a falta de interesse de parte dos alunos durante uma aula expositiva, principalmente quando não há atrativos pedagógicos sensoriais e o discurso conteudista do professor predomina. Dificilmente os alunos fazem questionamentos ou emitem opiniões e a interação com os outros colegas da classe é sobre assuntos divergentes ao tema da aula. Nesse sentido, ao realizarmos as demonstrações experimentais durante as aulas de exposição de conteúdos, ficou claro para nós o poder motivacional deste método; a capacidade de envolver os alunos e fazê-los comparar suas concepções prévias com a realidade dos fatos, possibilitando-os assim reconstruir os seus conhecimentos sobre os conceitos dos conteúdos estudados.

Comparando o desenvolvimento da sequência de aulas planejadas para as turmas de aplicação com a sequência de aulas para as turmas de controle, detectamos que, em função da curiosidade do funcionamento do aparato experimental e da observação dos eventos e fenômenos demonstrados, os estudantes das turmas onde ocorreram as demonstrações experimentais, apresentaram maior motivação e maior engajamento durante as aulas. Nitidamente, a concentração e a participação dos alunos das turmas de aplicação, foram mais expressivas do que estas mesmas posturas observadas nos alunos das turmas de controle, nas quais as demonstrações não foram desenvolvidas durante as aulas de explicação de conteúdos. Nas turmas de aplicação anotamos um número maior de questionamentos e uma maior frequência na emissão de opiniões explicativas. Destacamos que, nas três séries observamos o mesmo comportamento, ou seja, na média, os alunos das três turmas de aplicação foram mais ativos nas aulas do que os alunos das três turmas de controle.

Sendo assim, podemos afirmar que se o professor oferecer aos estudantes a oportunidade de presenciarem uma demonstração experimental durante uma aula de Física, orientando-os enquanto observam os eventos e os fenômenos acontecendo de forma concreta, irá aguçar a motivação e a participação destes, proporcionando uma interação significativa entre ele e os estudantes, bem como destes com seus pares.

Acreditamos que os resultados qualitativos que aqui observamos, foi devido a postura que adotamos ao desenvolvermos demonstrações experimentais, colaborando para uma maior eficiência no processamento das informações, contribuindo assim para melhores assimilações e melhores compreensões conceituais para o aprendizado.

5.2. Análise quantitativa dos resultados

Analisar quantitativamente a evolução do aprendizado de um indivíduo ou de um grupo de indivíduos, não é uma tarefa simples, pois pela forma como o processo de ensino-aprendizagem é estruturado, a maneira de se coletar dados para viabilizar tal análise ainda é pelo método de avaliações. Dessa forma, a ação de avaliar deve ser muito bem planejada e executada, para que os fatores inerentes aos objetivos propostos sejam pontualmente verificados e para que atos ilícitos não interfiram durante a realização do instrumento avaliativo.

Um dos objetivos deste trabalho é fazer um estudo quantitativo e comparativo da evolução da compreensão conceitual em Física de um grupo de estudantes do ensino médio de uma determinada escola pública. Verificamos, através de nossa pesquisa, que este tipo de estudo não é comum, muito por conta de contradições que surgem diante de diferentes interpretações dos resultados obtidos, fazendo com que pesquisadores desta área não invistam tanto nesta linha. Para fazermos o estudo quantitativo, utilizamos os resultados das questões das avaliações pré-aula e pós-aula para plotarmos gráficos de barras, calcularmos os ganhos normalizados $\langle g \rangle$ das médias de cada avaliação e as médias dos ganhos normalizados (g_{ave}) de cada estudante. Através dos gráficos de barras analisamos a evolução no número de acertos das questões pelos estudantes das turmas de aplicação e das turmas de controle. Pelos ganhos normalizados, comparamos os percentuais de mudança nas pontuações médias das turmas e dos estudantes, submetidos às avaliações, como forma de verificar se a nossa hipótese, de que aulas de Física com demonstrações experimentais provocam uma maior evolução na compreensão conceitual dos estudantes, é aceitável.

A seguir, apresentamos com mais detalhes os resultados das turmas de aplicação e de controle, de cada uma das três séries em que este trabalho foi desenvolvido.

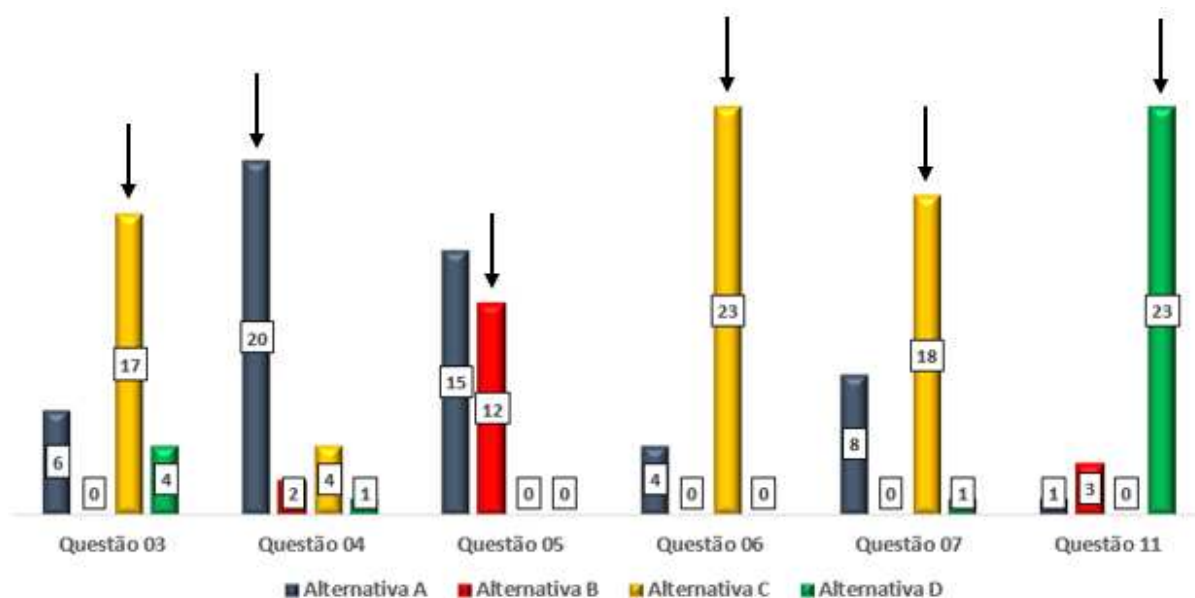
5.2.1. 1ª série – Estudo do movimento de projéteis

As avaliações pré-aula e pós-aula (anexo A), aplicadas aos estudantes das turmas da 1ª série (aplicação e controle), foram idênticas. Em estrutura, a avaliação

foi composta por doze questões, sendo seis questões conceituais objetivas com 4 opções de resposta (A, B, C, D) e apenas uma verdadeira, cinco questões conceituais discursivas e uma questão discursiva com aplicação de expressões matemáticas relacionadas aos conceitos físicos estudados. Atribuímos o valor de 100 pontos para cada avaliação, distribuídos igualmente entre as questões.

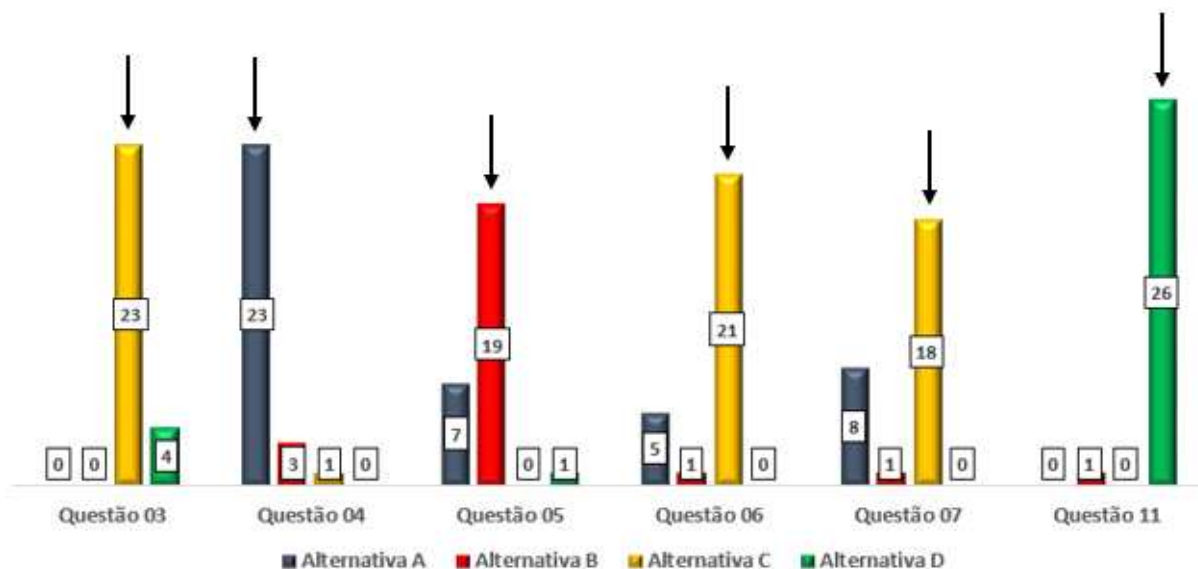
Os resultados, referentes às respostas dadas pelos estudantes da turma de aplicação em cada questão objetiva na avaliação pré-aula e na avaliação pós-aula, estão apresentados nos gráficos 5.1 e 5.2, respectivamente. A turma de aplicação foi composta por 27 estudantes.

Gráfico 5.1 – Resultados das questões objetivas da avaliação pré-aula da turma de aplicação. As setas indicam a opção correta em cada questão.



Fonte: Criado pelo autor.

Gráfico 5.2 – Resultados das questões objetivas da avaliação pós-aula da turma de aplicação. As setas indicam a opção correta em cada questão.

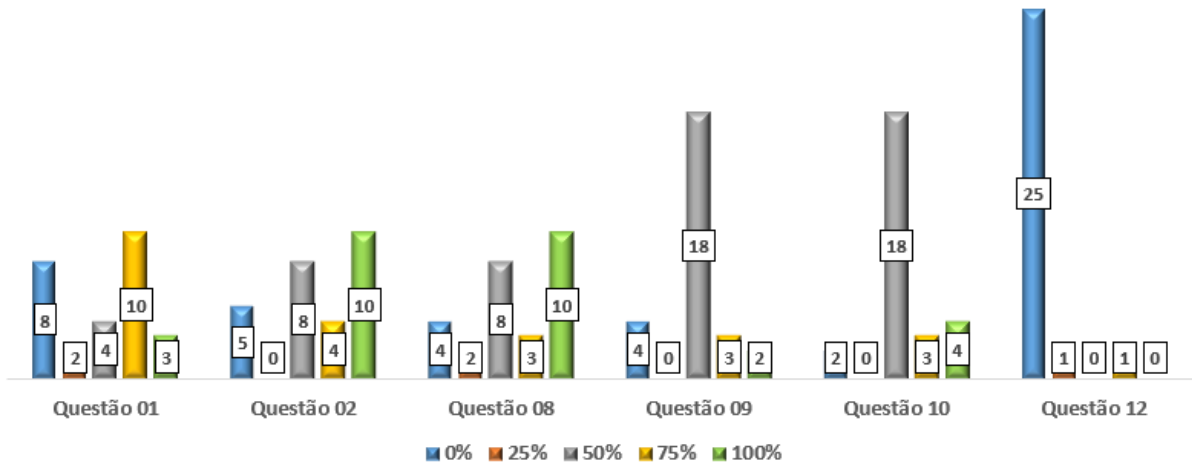


Fonte: Criado pelo autor.

Na parte objetiva da avaliação pré-aula, podemos perceber que a média de acertos é alta. Uma das hipóteses para este resultado, é a de que os estudantes da 1ª série desta escola tiveram o primeiro contato com os conteúdos da Física no 9º ano do ensino fundamental II, ou seja, um ano antes, o que pode ter contribuído para um número grande de acertos. Outra hipótese, são as respostas aleatórias (“chutes”), quando o estudante intuitivamente escolhe uma alternativa por não conhecer completamente o assunto da questão, sendo possível alguns acertos. Mesmo assim, comparando os gráficos 5.1 e 5.2, podemos notar uma evolução nas questões 3, 4, 5 e 11, um retrocesso na questão 6 e uma estagnação na questão 7. A média de acertos da avaliação pós-aula também é elevada, porém superior à da pré-aula.

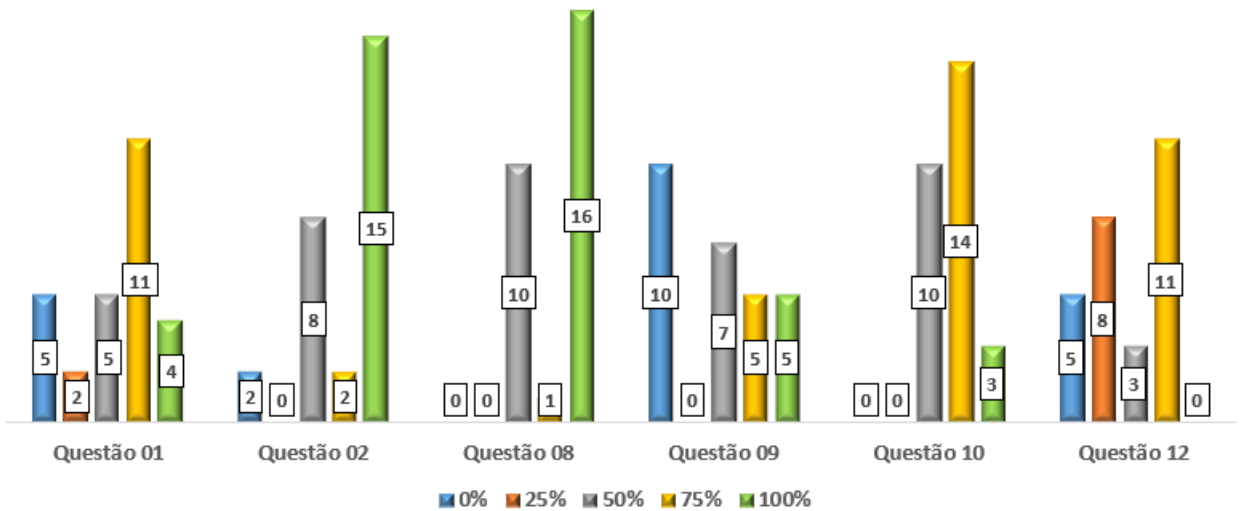
Os resultados referentes ao percentual de acertos alcançados pelos estudantes da turma de aplicação, em cada questão discursiva da avaliação pré-aula e da avaliação pós-aula, estão apresentados nos gráficos 5.3 e 5.4, respectivamente.

Gráfico 5.3 – Resultados das questões discursivas da avaliação pré-aula da turma de aplicação. Cada questão foi avaliada em frações de 25%, obtendo 100% em caso de acerto integral.



Fonte: Criado pelo autor.

Gráfico 5.4 – Resultados das questões discursivas da avaliação pós-aula da turma de aplicação. Cada questão foi avaliada em frações de 25%, obtendo 100% em caso de acerto integral.



Fonte: Criado pelo autor.

Na parte discursiva da avaliação pré-aula, percebemos que a média de acertos das questões não é alta. Encontramos questões sem respostas (“em branco”) e notamos, ao analisar as questões que foram respondidas, que os estudantes tiveram

dificuldades em descrever os eventos e os fenômenos físicos, relacionados aos conteúdos abordados. Nesse sentido, entendemos que esta dificuldade pode estar associada a uma importante característica da questão discursiva, que é a de fornecer um resultado real diante do questionamento, ou seja, por meio deste tipo de questão podemos identificar o nível de compreensão do estudante sobre um determinado assunto; diferente da questão objetiva que permite uma resposta aleatória (“chute”), mesmo que o estudante não tenha muito conhecimento sobre o assunto do questionamento, e neste caso, uma resposta aleatória (“chute”) pode fornecer um resultado correto.

Comparando os gráficos 5.3 e 5.4, podemos notar a evolução das questões 1, 2, 8, 10 e 12, com uma ascensão do percentual de acertos. Aqui, vale destacar a questão 12, que exigiu um raciocínio matemático para o emprego de expressões associadas às grandezas físicas envolvidas, complexas para esta série, mas que apresentou um avanço significativo no percentual de acertos, embora nenhum estudante tenha atingido 100%. Na questão 9, observamos um retrocesso inesperado, caindo de 23 estudantes com percentual de acerto $\geq 50\%$, para 17 estudantes neste intervalo. A hipótese mais provável é a de que, antes da aula os estudantes tinham uma ideia bem próxima da realidade, mas após presenciarem a demonstração experimental e a explicação do professor sobre a descrição vetorial do movimento do projétil, alguns tenham confundido o movimento em duas dimensões (sob a ação da gravidade) com o movimento unidimensional constante (na horizontal), que foi a resposta dada por 10 estudantes na avaliação pós-aula, 6 a mais que na avaliação pré-aula. Ou seja, quando foi apresentada a descrição matemática do movimento parabólico, por falta de maturidade cognitiva nesta área do conhecimento, alguns estudantes podem não ter compreendido o que foi exposto, talvez necessitando de um tempo mais longo para a assimilação dos conceitos.

Por meio dos resultados das questões objetivas e dos resultados das questões discursivas, calculamos a média das notas das avaliações (pré e pós-aula) da turma de aplicação, sendo a média pré-aula igual a 58,4%, enquanto a média pós-aula igual a 71,0%. Com estas médias, calculamos o ganho normalizado (aumento percentual das médias), através da expressão (1), cujo resultado que encontramos foi:

$$\langle g \rangle = 0,30 \quad (RA1)$$

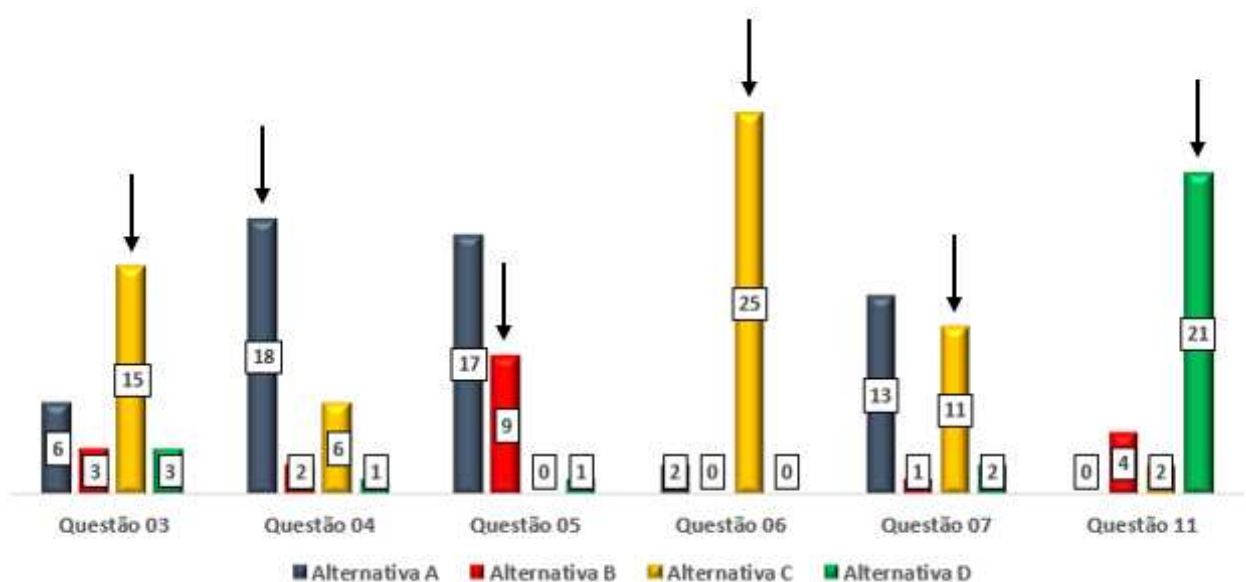
Também, efetuamos o cálculo da média dos ganhos normalizados individuais, através da expressão (2), e obtemos o seguinte resultado:

$$g_{ave} = 0,26 \quad (RA2)$$

Percebemos que os resultados *RA1* e *RA2* foram bem próximos, sendo o segundo mais adequado para turmas pequenas (HAKE, 1998; BAO, 2006), que se enquadra neste trabalho. Dessa forma, de acordo com a classificação do ganho normalizado de Hake (página 31), o resultado obtido pela turma de aplicação (*RA2*) foi baixo ($< 0,30$).

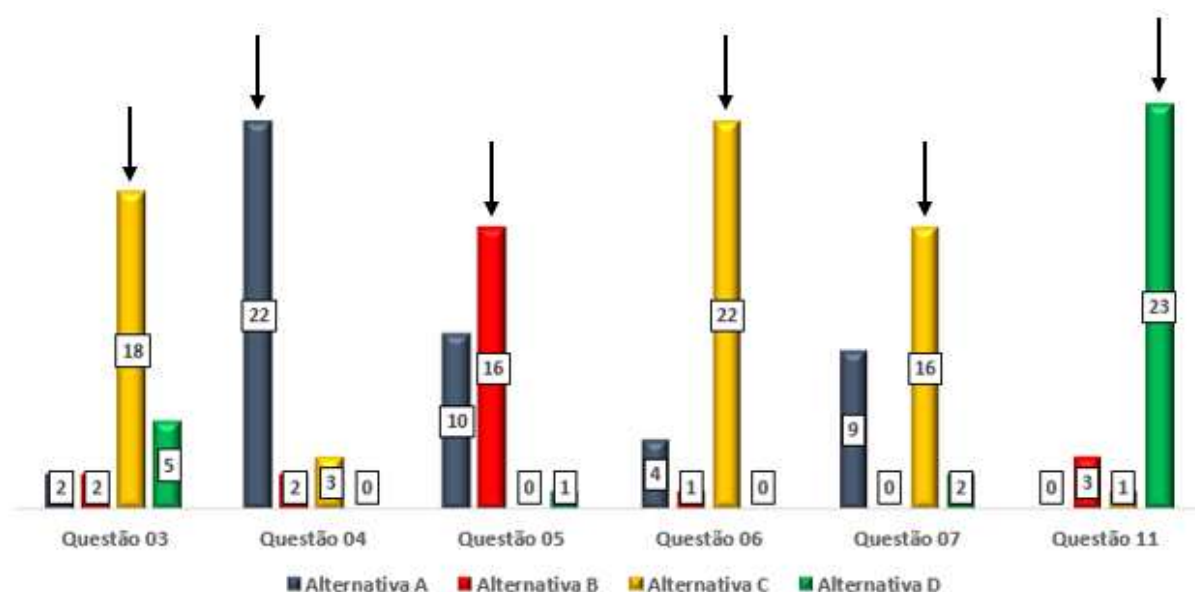
Na sequência, apresentamos nos gráficos 5.5 e 5.6 os resultados referentes às respostas dadas pelos estudantes da turma de controle em cada questão objetiva da avaliação pré-aula e da avaliação pós-aula, respectivamente. A turma de controle também foi composta por 27 estudantes.

Gráfico 5.5 – Resultados das questões objetivas da avaliação pré-aula da turma de controle. As setas indicam a opção correta em cada questão.



Fonte: Criado pelo autor.

Gráfico 5.6 – Resultados das questões objetivas da avaliação pós-aula da turma de controle. As setas indicam a opção correta em cada questão.

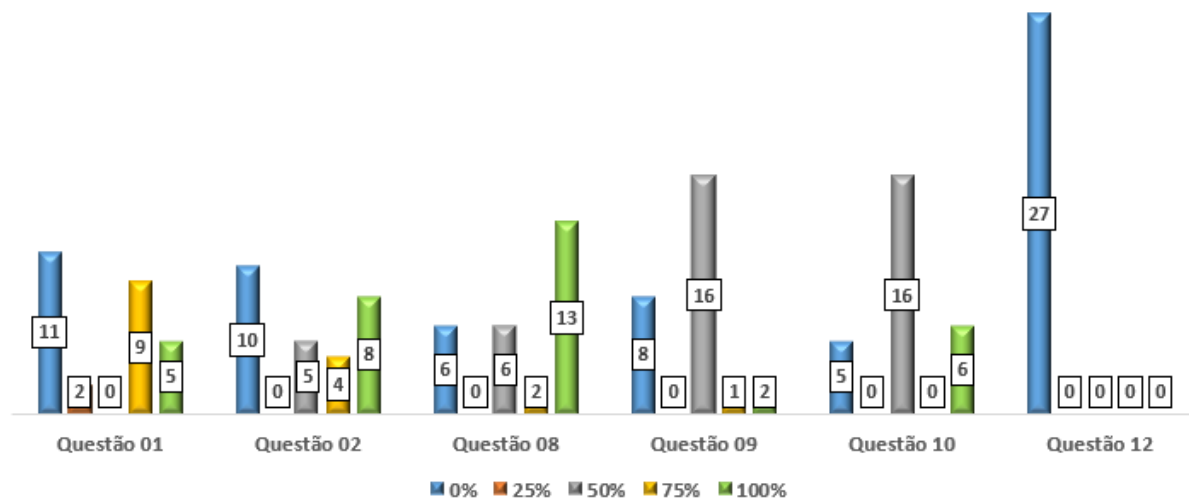


Fonte: Criado pelo autor.

Na parte objetiva da avaliação pré-aula, foi nítida a proximidade dos resultados da turma de controle com os resultados da turma de aplicação, ou seja, a média de acertos da turma de controle nesta avaliação também foi alta. Dessa forma, as hipóteses para explicar tal resultado, são os mesmos apresentados para a turma de aplicação. Comparando os gráficos 5.5 e 5.6, podemos perceber evolução nas questões 3, 4, 5, 7 e 11, e retrocesso na questão 6. A média de acertos da avaliação pós-aula também é elevada, porém superior à da pré-aula.

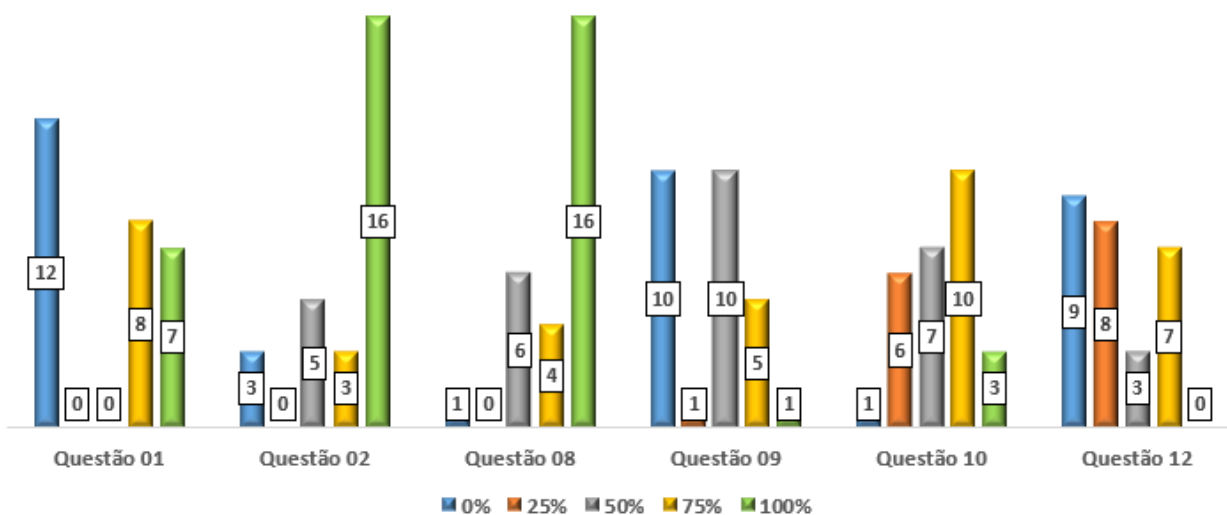
Os resultados referentes ao percentual de acertos alcançados pelos estudantes da turma de controle, em cada questão discursiva da avaliação pré-aula e da avaliação pós-aula, estão apresentados nos gráficos 5.7 e 5.8, respectivamente.

Gráfico 5.7 – Resultados das questões discursivas da avaliação pré-aula da turma de controle. Cada questão foi avaliada em frações de 25%, obtendo 100% em caso de acerto integral.



Fonte: Criado pelo autor.

Gráfico 5.8 – Resultados das questões discursivas da avaliação pós-aula da turma de controle. Cada questão foi avaliada em frações de 25%, obtendo 100% em caso de acerto integral.



Fonte: Criado pelo autor.

Nas questões discursivas, avaliamos que a média de acertos desta turma na pré-aula não foi alta, sendo um pouco inferior que a média da turma de aplicação. Assim como na avaliação pré-aula da turma de aplicação, também encontramos

questões sem respostas (“em branco”) na avaliação pré-aula da turma de controle; analisando as questões respondidas, também nesta turma percebemos a dificuldade que os estudantes tiveram para dissertar sobre os conceitos e fenômenos abordados. As hipóteses para os resultados desta turma na avaliação pré-aula são as mesmas que apontamos para a turma de aplicação.

Comparando os gráficos 5.7 e 5.8, percebemos evolução nas questões 2, 8, 10 e 12. Observamos que o resultado da questão 12, que exigiu um raciocínio matemático para o emprego de expressões associadas às grandezas físicas envolvidas, aqui também apresentou evolução. Na questão 1, podemos notar que os estudantes não apresentaram um bom desempenho na avaliação pós-aula, praticamente não evoluíram. Vale destacar também, que apesar do resultado da questão 10 apresentar evolução, esta é inferior ao da turma de aplicação, uma provável hipótese neste caso é o fato dos estudantes da turma de controle não terem presenciado a demonstração experimental durante a explicação do conteúdo. Na questão 9, observa-se o deslocamento de alguns estudantes para percentuais mais baixos, caindo de 19 com percentual de acerto $\geq 50\%$, para 16 neste mesmo intervalo. As hipóteses mais prováveis para este resultado são as mesmas apresentadas para a turma de aplicação.

Por meio dos resultados das questões objetivas e dos resultados das questões discursivas, calculamos a média das notas das avaliações (pré e pós-aula) da turma de controle, sendo a média pré-aula igual a 51,5%, enquanto a média pós-aula igual a 63,9%. Com estas médias, calculamos o ganho normalizado (aumento percentual das médias), através da expressão (1), cujo resultado que encontramos foi:

$$\langle g \rangle = 0,26 \quad (RC1)$$

Também, efetuamos o cálculo da média dos ganhos normalizados individuais, através da expressão (2), e obtivemos o seguinte resultado:

$$g_{ave} = 0,25 \quad (RC2)$$

Percebemos que os resultados $RC1$ e $RC2$ foram muito próximos, sendo o segundo mais adequado, conforme já destacado nos resultados da turma de

aplicação. Dessa forma, de acordo com a classificação do ganho normalizado de Hake (página 31), o resultado obtido pela turma de controle (*RC2*) foi baixo ($< 0,30$).

Comparando os resultados (*RA2*) e (*RC2*), das turmas de aplicação e de controle, respectivamente, encontramos que (*RA2*) \approx (*RC2*). Desta forma, pela comparação das médias dos ganhos normalizados dos estudantes pesquisados na 1ª série, não podemos concluir que exista diferença significativa na evolução da compreensão dos conceitos abordados entre aqueles que presenciaram a demonstração experimental e aqueles que não presenciaram. Nossa expectativa de que, ao desenvolvermos as demonstrações experimentais durante as aulas, verificaríamos de forma quantitativa (pelos resultados das avaliações) que a aprendizagem dos estudantes da turma de aplicação seria mais expressiva do que a dos estudantes da turma de controle, não se confirmou. Embora a motivação e a participação dos estudantes da turma de aplicação tenham sido mais expressivas que a dos estudantes das turmas de controle, este envolvimento maior não correspondeu a um rendimento quantitativo mais relevante.

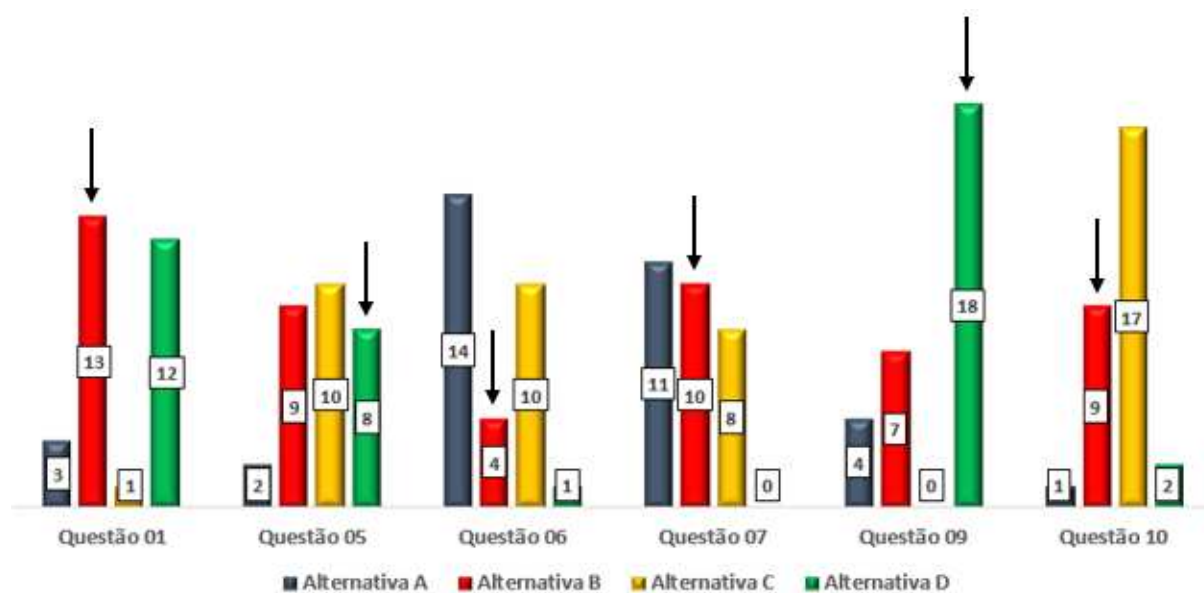
Diante deste resultado deduzimos que, mesmo fazendo uso da demonstração experimental, os conteúdos abordados (movimento de projéteis, teorema trabalho-energia e conservação do momento linear) não são facilmente assimilados pelos estudantes. Concluímos que a quantidade de conceitos abordados na aula (composição vetorial do movimento bidimensional, força, trabalho, energia, momento linear e impulso) também pode ter sido um fator desfavorável ao entendimento destes em 90 minutos, sendo necessário um tempo maior ou a fragmentação dos conteúdos em mais aulas teórica-demonstrativas. Outro fator relevante em nossa análise, que pode ter contribuído para uma baixa assimilação dos conceitos, é a imaturidade cognitiva dos estudantes que pode ser um fator resistente às mudanças de paradigma, ou seja, eles estudaram os 4 anos do ensino fundamental I e os 4 anos do ensino fundamental II por meio de aulas predominantemente teóricas, sem presenciarem demonstrações experimentais em aulas de ciências e, ao serem submetidos a uma metodologia diferente ficaram “desorientados” com a novidade, demandando um certo tempo de assimilação e maturação, que extrapola a duração da aula.

5.2.2. 2ª série - Estudo da difração da luz

As avaliações pré-aula e pós-aula (anexo A), aplicadas aos estudantes das turmas da 2ª série (aplicação e controle), foram idênticas. Em estrutura, a avaliação foi composta por dez questões, sendo seis questões conceituais objetivas com 4 opções de resposta (A, B, C, D) e apenas uma verdadeira, três questões conceituais discursivas e uma questão discursiva com aplicação de expressões matemáticas relacionadas ao conceito físico estudado. Atribuímos o valor de 100 pontos para cada avaliação, distribuídos igualmente entre as questões.

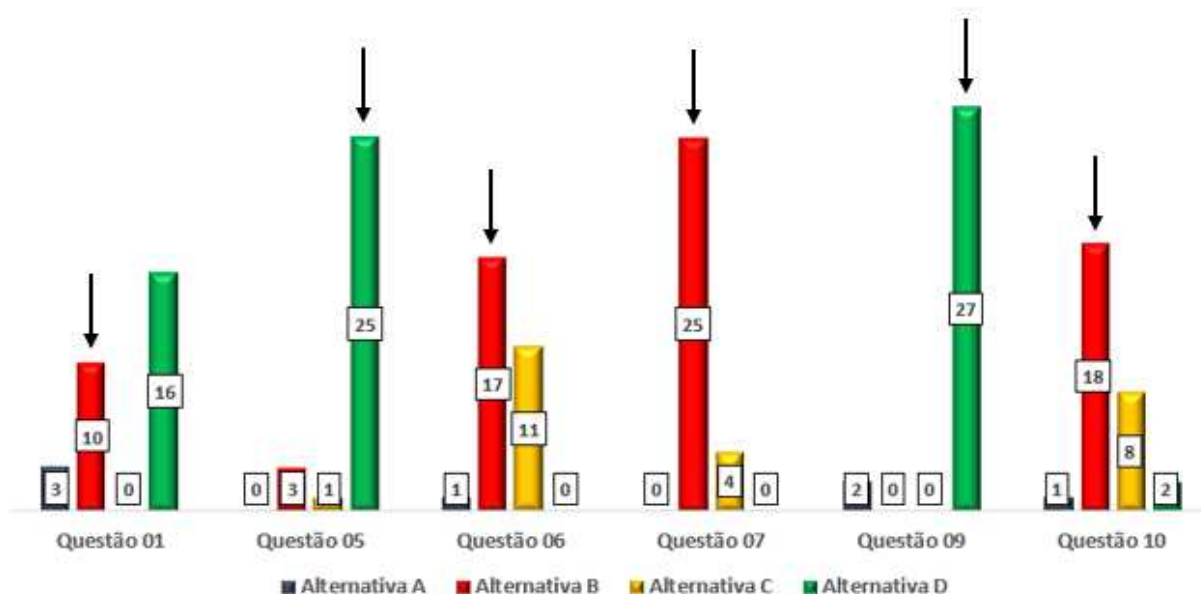
Os resultados, referentes às respostas dadas pelos estudantes da turma de aplicação em cada questão objetiva na avaliação pré-aula e na avaliação pós-aula, estão apresentados nos gráficos 5.9 e 5.10, respectivamente. A turma de aplicação foi composta por 29 estudantes.

Gráfico 5.9 – Resultados das questões objetivas da avaliação pré-aula da turma de aplicação. As setas indicam a opção correta em cada questão.



Fonte: Criado pelo autor.

Gráfico 5.10 – Resultados das questões objetivas da avaliação pós-aula da turma de aplicação. As setas indicam a opção correta em cada questão.



Fonte: Criado pelo autor.

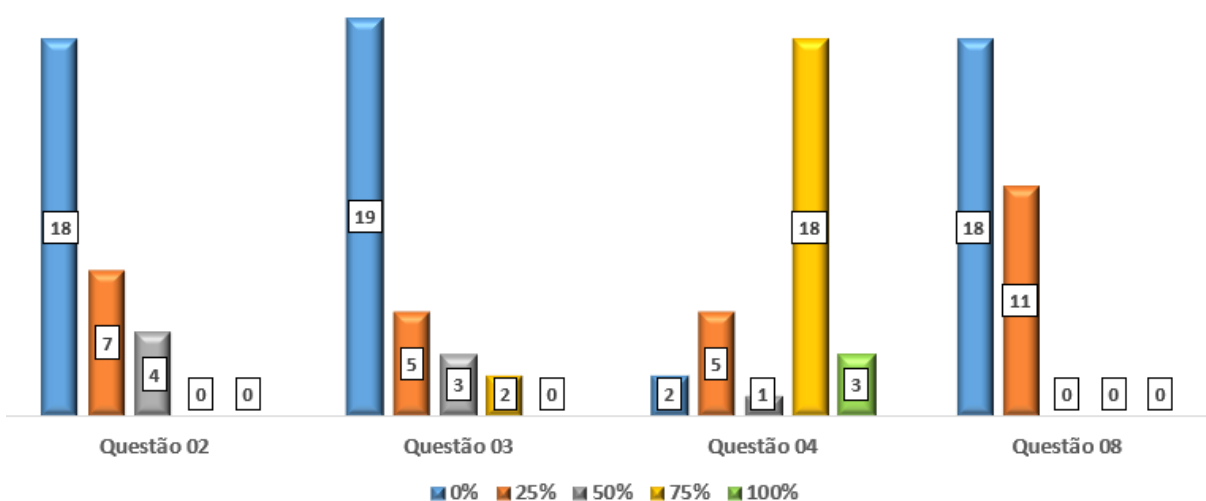
Na parte objetiva da avaliação pré-aula, podemos perceber que a média de acertos não foi alta; mas o resultado da questão 9 foi surpreendente, visto que os alunos não haviam estudado difração da luz ainda. A nossa hipótese para o expressivo número de acertos nesta questão na pré-aula, pode ser o fato de os estudantes já saberem sobre este fenômeno do estudo de ondas mecânicas e terem, por suposição, feito uma associação com a difração da luz. Outra hipótese, tem a ver com resposta aleatória (“chute”), uma vez que a opção D tem o texto um pouco longo, diferindo das outras opções com textos mais curtos, o que pode ter influenciado intuitivamente na sua escolha.

Comparando os gráficos 5.9 e 5.10, podemos notar progresso nas questões 5, 6, 7, 9 e 10, sendo expressivos os resultados da 5 e da 7 na avaliação pós-aula, mostrando que o conhecimento sobre a formação das franjas de difração foi bem compreendido. Identificamos um retrocesso no desempenho da questão 1, o qual acreditamos ter sido causado por um erro interpretativo dos estudantes após a demonstração experimental. Percebemos, ao esclarecermos e discutirmos as respostas das questões na aula 5, que uma parcela significativa deles entenderam que uma parte da demonstração tinha como objetivo apenas representar o experimento de Young, então marcaram como verdadeira na questão 1 apenas a

afirmativa que tratava deste assunto, embora o fato de a luz ser um fenômeno eletromagnético ter sido destacado em sala.

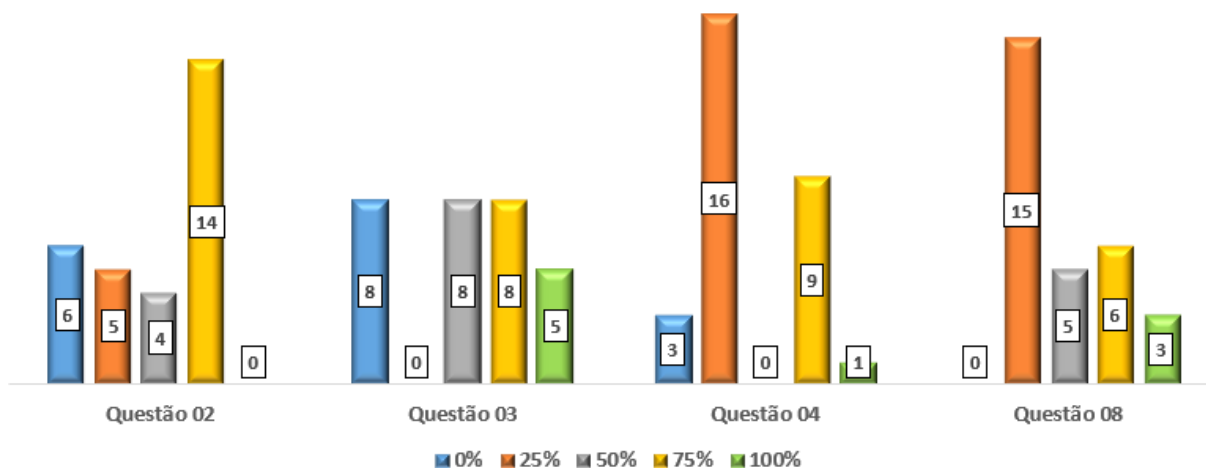
Os resultados referentes ao percentual de acertos alcançados pelos estudantes da turma de aplicação, em cada questão discursiva da avaliação pré-aula e da avaliação pós-aula, estão apresentados nos gráficos 5.11 e 5.12, respectivamente.

Gráfico 5.11 – Resultados das questões discursivas da avaliação pré-aula da turma de aplicação. Cada questão foi avaliada em frações de 25%, obtendo 100% em caso de acerto integral.



Fonte: Criado pelo autor.

Gráfico 5.12 – Resultados das questões discursivas da avaliação pós-aula da turma de aplicação. Cada questão foi avaliada em frações de 25%, obtendo 100% em caso de acerto integral.



Fonte: Criado pelo autor.

Na parte discursiva da avaliação pré-aula, percebemos que a média de acertos das questões não é alta. Encontramos questões sem respostas (“em branco”) e notamos, ao analisar as questões que foram respondidas, que os estudantes tiveram dificuldades em descrever os eventos e os fenômenos físicos, relacionados aos conteúdos abordados. Assim como na análise dos resultados da 1ª série, entendemos que as questões discursivas forneceram resultados mais reais do que as questões objetivas.

Comparando os gráficos 5.11 e 5.12, podemos notar a evolução das questões 2, 3 e 8, com uma ascensão do percentual de acertos. Aqui, vale destacar a questão 8, que exigiu um raciocínio matemático para emprego de expressões associadas às grandezas físicas envolvidas, que apresentou um avanço significativo no percentual de acertos, com 3 estudantes atingido 100% na pós-aula. Na questão 4, observamos um retrocesso inesperado, caindo de 22 estudantes com percentual de acerto $\geq 50\%$, para 10 estudantes neste intervalo. Neste caso, analisando as respostas da avaliação pré-aula, verificamos que a maioria dos estudantes entenderam que as duas primeiras figuras, que representam a propagação retilínea da luz ao passar por um orifício, retratavam situações reais, mas a terceira figura, que representa o espalhamento da luz por difração ao passar pelo orifício, não era possível; já na avaliação pós-aula, a resposta da maioria mostrou que somente a terceira figura retratava uma situação real, invalidando as duas primeiras. Percebemos que, ao esclarecermos e discutirmos as respostas das questões na aula 5, uma parcela significativa dos estudantes nunca tinham presenciado o fenômeno do espalhamento da luz por difração até o momento da demonstração, então não acreditavam que a terceira figura representasse uma situação provável; após a atividade experimental acompanhada da explicação do professor, embora o mesmo tenha destacado a condição necessária para se observar a difração da luz (dimensões aproximadas entre o comprimento de onda e o orifício), os estudantes interpretaram que, toda vez que a luz passa por um orifício ela difrata, independente das dimensões deste. Esta questão foi bastante argumentada com eles durante a aula de discussão dos resultados, com o objetivo de esclarecer a confusão.

Por meio dos resultados das questões objetivas e dos resultados das questões discursivas, calculamos a média das notas das avaliações (pré e pós-aula) da turma de aplicação, sendo a média pré-aula igual a 31,4%, enquanto a média pós-aula igual a 60,9%. Com estas médias, calculamos o ganho normalizado (aumento percentual das médias), através da expressão (1), cujo resultado que encontramos foi:

$$\langle g \rangle = 0,43 \quad (RA1)$$

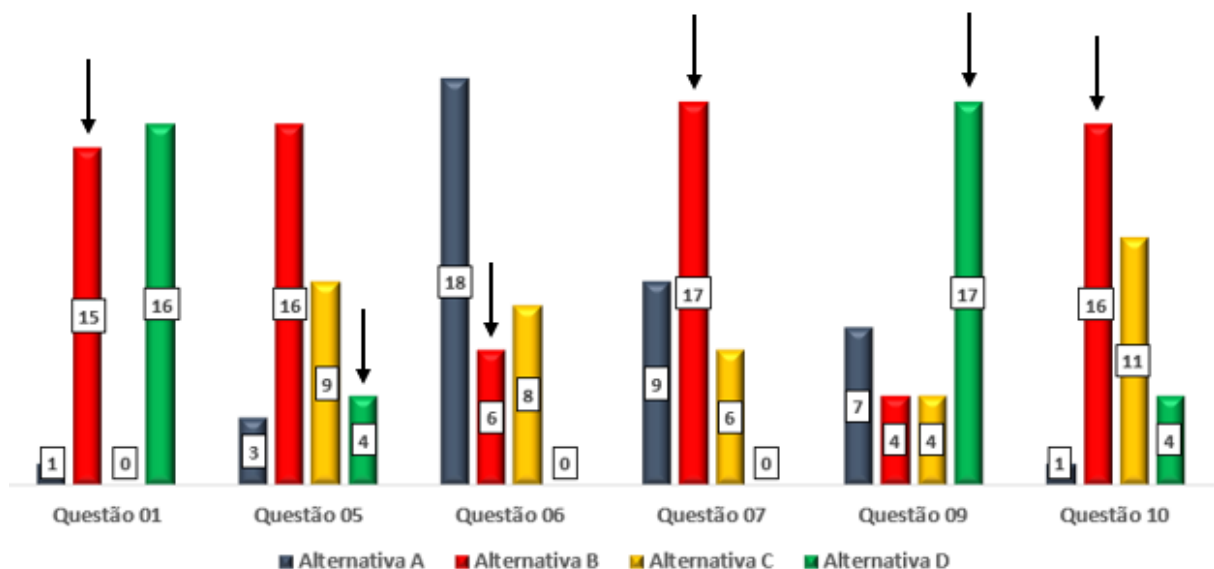
Também, efetuamos o cálculo da média dos ganhos normalizados individuais, através da expressão (2), e obtivemos o seguinte resultado:

$$g_{ave} = 0,42 \quad (RA2)$$

Percebemos que os resultados *RA1* e *RA2* foram bem próximos, sendo o segundo mais adequado para turmas pequenas (HAKE, 1998; BAO, 2006), que se enquadra neste trabalho. Dessa forma, de acordo com a classificação do ganho normalizado de Hake (página 31), o resultado obtido pela turma de aplicação (*RA2*) foi médio ($0,7 > g_{ave} \geq 0,3$).

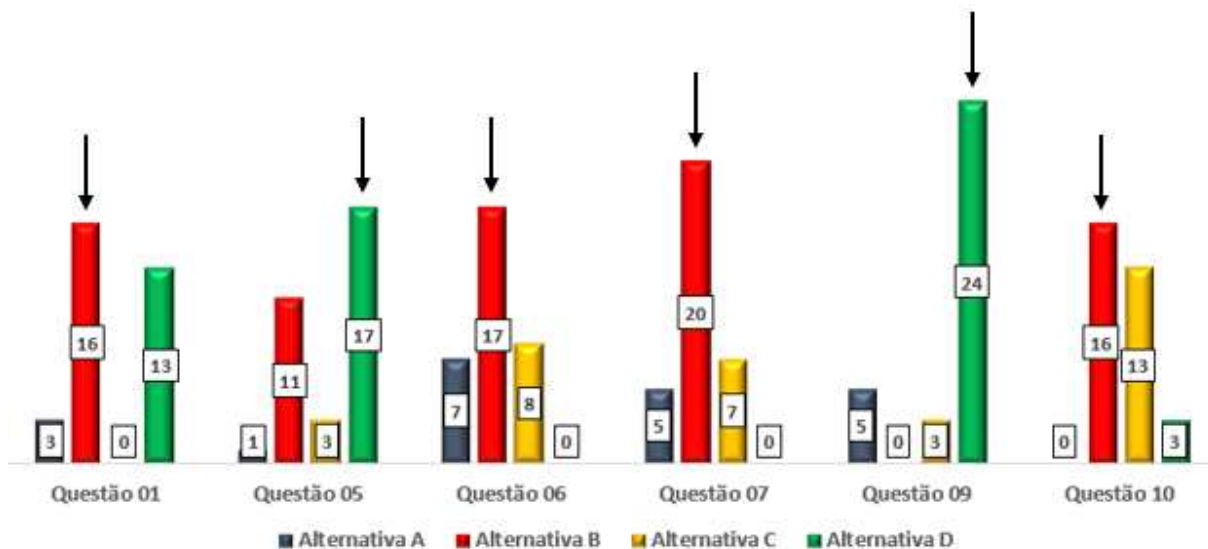
Na sequência, apresentamos nos gráficos 5.13 e 5.14 os resultados referentes às respostas dadas pelos estudantes da turma de controle em cada questão objetiva da avaliação pré-aula e da avaliação pós-aula, respectivamente. A turma de controle foi composta por 32 estudantes.

Gráfico 5.13 – Resultados das questões objetivas da avaliação pré-aula da turma de controle. As setas indicam a opção correta em cada questão.



Fonte: Criado pelo autor.

Gráfico 5.14 – Resultados das questões objetivas da avaliação pós-aula da turma de controle. As setas indicam a opção correta em cada questão.



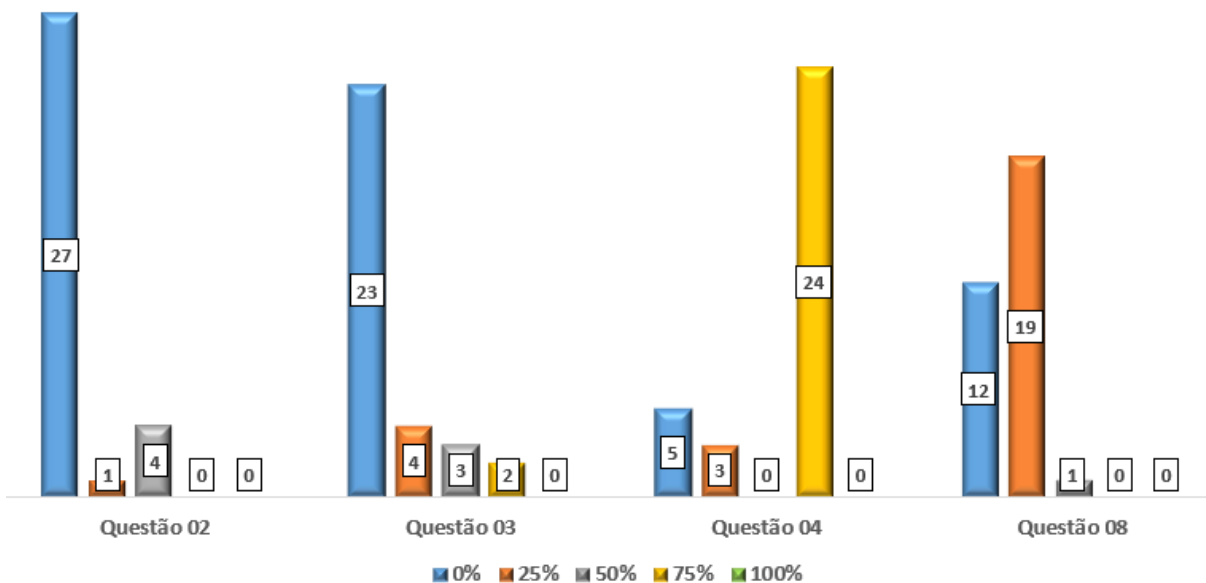
Fonte: Criado pelo autor.

Na parte objetiva da avaliação pré-aula, a turma de controle teve um desempenho levemente superior ao da turma de aplicação. Nos surpreendemos com o resultado da questão 9 na avaliação pré-aula, da mesma forma que com o da turma de aplicação; então, consideramos as mesmas hipóteses apresentadas para aquela turma. O resultado da questão 10 também nos causou surpresa na avaliação pré-aula, com 50% de assertividade, sendo que os alunos nunca haviam estudado difração da luz por dupla fenda. Acreditamos que a hipótese mais razoável para este resultado, tem a ver com possíveis respostas aleatórias (“chutes”), uma vez que a opção B tinha o texto um pouco mais longo, diferindo das outras opções de textos mais curtos, podendo ter influenciado intuitivamente na escolha desta opção.

Comparando os gráficos 5.13 e 5.14, podemos notar progresso nas questões 5, 6, 7, e 9, sendo os resultados da 5 e da 6 um pouco mais expressivos que os das outras, mas ainda próximos da média, indicando que parte dos estudantes da turma conseguiu compreender e sistematizar o conhecimento sobre a formação das franjas de difração. O resultado da questão 1 praticamente não evoluiu na pós-aula, assim como o da questão 10, indicando que parte dos estudantes continuou ignorando o fato da luz ter uma natureza eletromagnética e a importância dela ser monocromática em um experimento de dupla fenda. Estas questões foram discutidas com bastante atenção na aula 5, com o objetivo de esclarecer bem os fenômenos envolvidos.

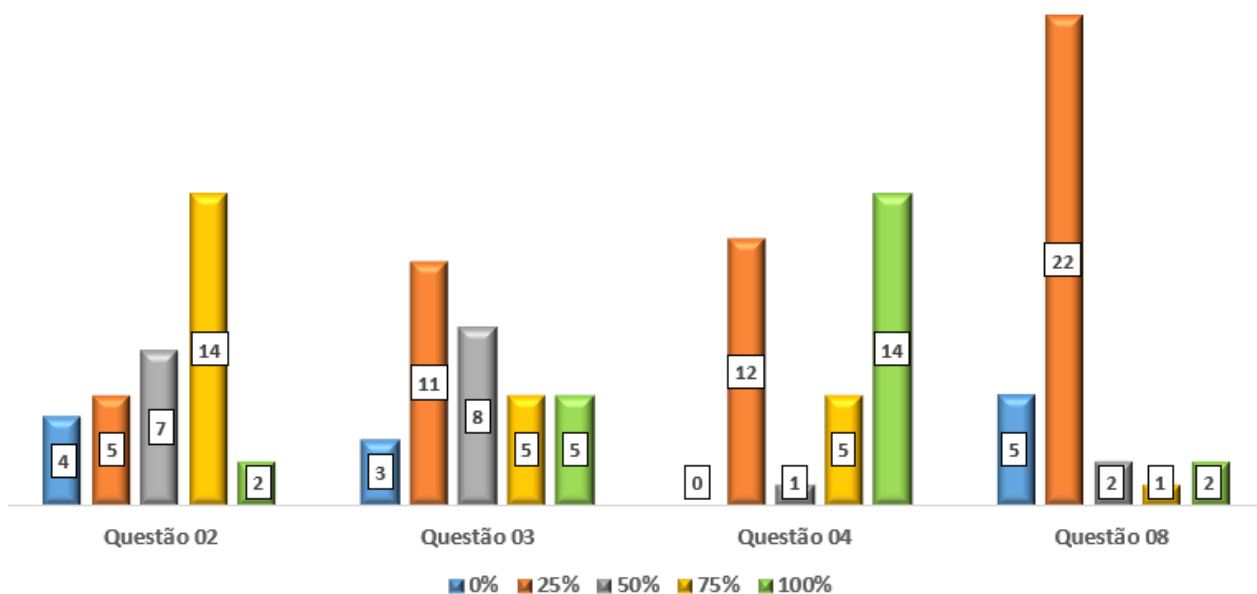
Os resultados referentes ao percentual de acertos alcançados pelos estudantes da turma de controle, em cada questão discursiva da avaliação pré-aula e da avaliação pós-aula, estão apresentados nos gráficos 5.15 e 5.16, respectivamente.

Gráfico 5.15 – Resultados das questões discursivas da avaliação pré-aula da turma de controle. Cada questão foi avaliada em frações de 25%, obtendo 100% em caso de acerto integral.



Fonte: Criado pelo autor.

Gráfico 5.16 – Resultados das questões discursivas da avaliação pós-aula da turma de controle. Cada questão foi avaliada em frações de 25%, obtendo 100% em caso de acerto integral.



Fonte: Criado pelo autor.

Nas questões discursivas avaliamos que a média de acertos das questões 2, 3 e 8 da avaliação pré-aula não foi alta, como ocorreu na turma de aplicação; enquanto que a questão 4 apresentou um bom resultado nesta avaliação. Encontramos questões sem respostas (“em branco”) e notamos, ao analisar as questões que foram respondidas, que os estudantes tiveram dificuldades em descrever os eventos e os fenômenos físicos, relacionados aos conteúdos abordados, assim como os da turma de aplicação. Também, para esta turma, entendemos que as questões discursivas forneceram resultados mais concretos do que as questões objetivas, por motivos já esclarecidos anteriormente.

Comparando os gráficos 5.15 e 5.16, podemos notar as evoluções nos resultados das questões 2, 3 e 8, com uma ascensão do percentual de acertos. A questão 10, que exigiu raciocínio matemático para o emprego de expressões associadas às grandezas físicas envolvidas, apresentou uma discreta ascensão nos resultados, sendo que dois estudantes atingiram 100% na avaliação pós-aula. Na questão 4 notamos um resultado interessante, pois na avaliação pré-aula 24 estudantes alcançaram uma nota igual a 75%, enquanto que na avaliação pós-aula este número caiu para 5, ao passo que 14 obtiveram 100% e os demais 25%. Avaliamos que na turma de controle, aproximadamente 60% dos estudantes adquiriram uma maior compreensão sobre a difração da luz por fendas e obstáculos, embora não tenham presenciado a demonstração experimental durante a explicação teórica deste fenômeno. Por fim, apresentamos e discutimos na aula 5 os resultados de cada questão, concomitante a realização da demonstração experimental, enfatizando bem aquelas que geraram mais dúvidas.

Por meio dos resultados das questões objetivas e dos resultados das questões discursivas, calculamos a média das notas das avaliações (pré e pós-aula) da turma de controle. A média pré-aula igual a 32,9%, enquanto a média pós-aula igual a 54,1%. Com estas médias, calculamos o ganho normalizado (aumento percentual das médias), através da expressão (1), cujo resultado que encontramos foi:

$$\langle g \rangle = 0,32 \quad (RC1)$$

Também, efetuamos o cálculo da média dos ganhos normalizados individuais, através da expressão (2), e obtivemos o seguinte resultado:

$$g_{ave} = 0,30 \quad (RC2)$$

Percebemos que os resultados *RC1* e *RC2* foram bem próximos, sendo o segundo mais adequado para turmas pequenas (HAKE, 1998; BAO, 2006), que se enquadra neste trabalho. Dessa forma, de acordo com a classificação do ganho normalizado de Hake (página 31), o resultado obtido pela turma de controle (*RC2*) foi médio ($0,7 > g_{ave} \geq 0,3$).

Comparando os resultados (*RA2*) e (*RC2*), das turmas de aplicação e de controle, respectivamente, encontramos que (*RA2*) > (*RC2*). Este resultado se deve ao fato da nota média na avaliação pós-aula da turma de aplicação ter sido maior que a nota média da turma de controle. Comparando as notas médias das duas turmas nas avaliações pré-aula, verificamos que foram muito próximas. Esta aproximação valida o fato de termos considerado que os estudantes das duas turmas apresentavam, na média, o mesmo nível de compreensão conceitual sobre a difração da luz, antes do desenvolvimento das aulas planejadas. Interpretamos que, como o resultado (*RA2*) foi maior que o resultado (*RC2*), o desenvolvimento da demonstração experimental para a turma de aplicação durante a explicação teórica dos conceitos e fenômenos, pode ter contribuído para o melhor resultado obtido pelos estudantes desta turma, pois foi a única ação diferente realizada com eles em comparação às ações realizadas com os estudantes da turma de controle.

Percebemos, durante a realização das aulas, que os estudantes da 2ª série da escola onde se desenvolveu a pesquisa, são mais maduros quando comparados aos estudantes da 1ª série e possuem maior facilidade em assimilar os conteúdos de Física, possivelmente por já terem um certo conhecimento em alguns conceitos desta disciplina, adquirido no ano anterior. Também avaliamos que os estudantes da 2ª série, para os quais realizamos a demonstração experimental concomitante a explicação conceitual, participaram de forma mais efetiva e foram mais engajados durante o desenvolvimento da aula quando comparamos aos estudantes da 1ª série submetidos ao mesmo processo; eles fizeram perguntas mais objetivas, expressaram suas opiniões e suas hipóteses de forma mais fundamentada e apresentaram uma capacidade de concentração superior aos estudantes da 1ª série. Acreditamos que estas características associadas a uma demonstração experimental mais simples, com menor número de fenômenos explorados – comparado à demonstração realizada

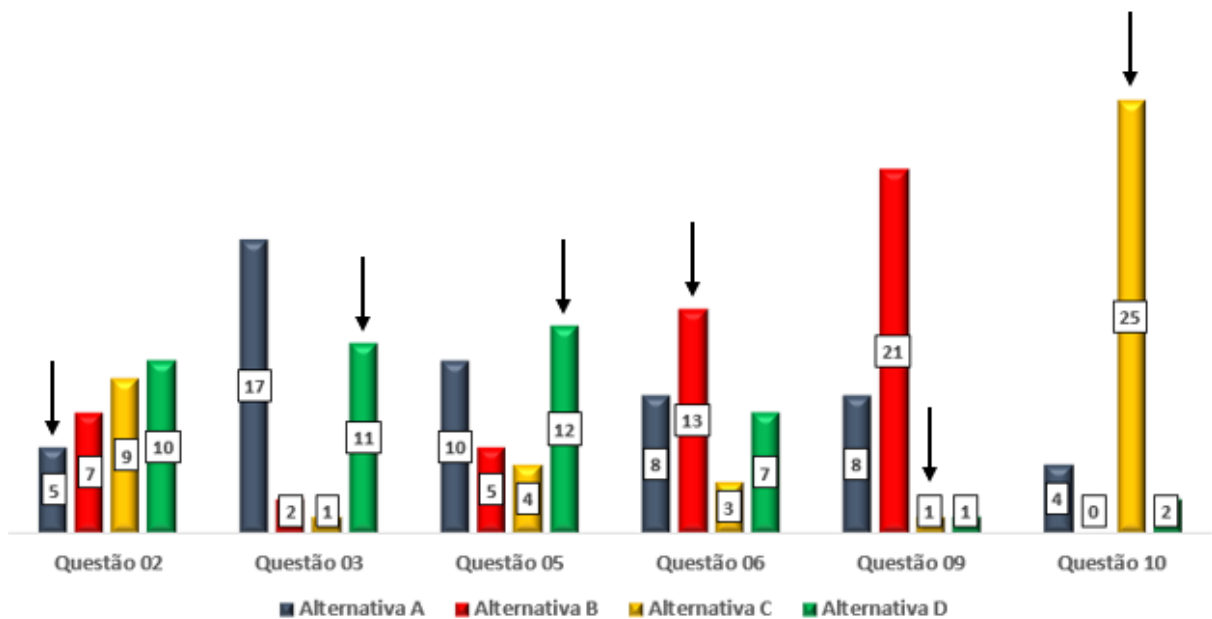
para os estudantes da 1ª série, proporcionou aos estudantes da 2ª série uma maior capacidade em assimilar os conceitos abordados e conseqüentemente em obterem melhores resultados quantitativos.

5.2.3. 3ª série – Estudo de um circuito elétrico simples com capacitores

As avaliações pré-aula e pós-aula (anexo A), aplicadas aos estudantes das turmas da 3ª série (aplicação e controle), foram idênticas. Em estrutura, a avaliação foi composta por dez questões, sendo seis questões conceituais objetivas com 4 opções de resposta (A, B, C, D) e apenas uma verdadeira, três questões conceituais discursivas e uma questão discursiva com aplicação de expressões matemáticas relacionadas ao conceito físico estudado. Atribuímos o valor de 100 pontos para cada avaliação, distribuídos igualmente entre as questões.

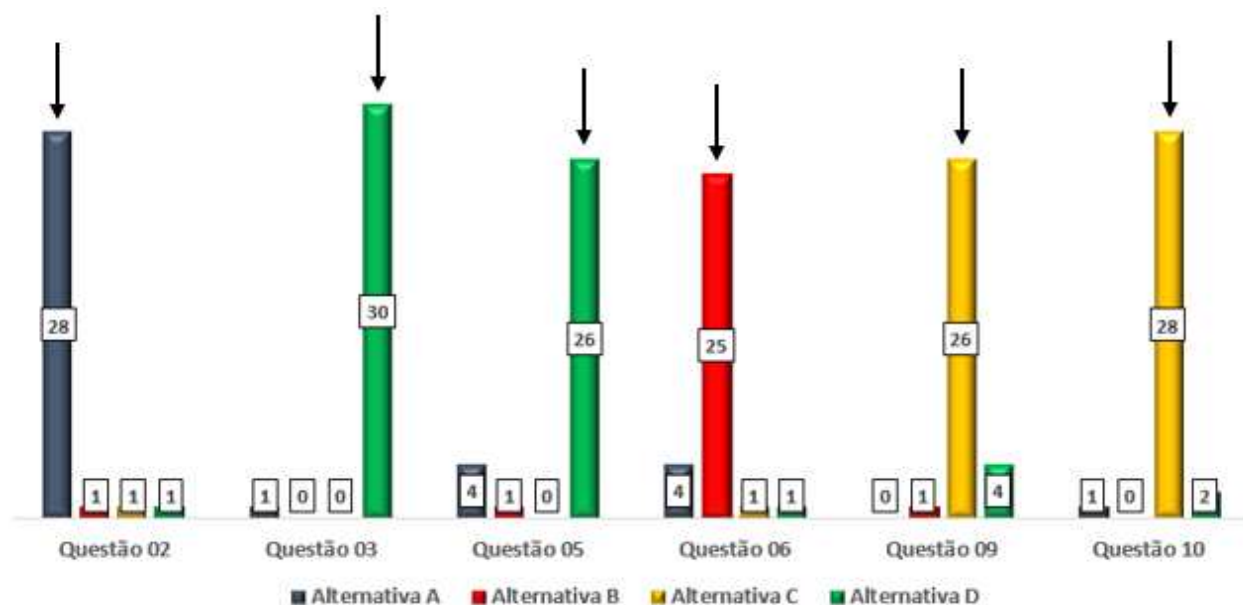
Os resultados, referentes às respostas dadas pelos estudantes da turma de aplicação em cada questão objetiva na avaliação pré-aula e na avaliação pós-aula, estão apresentados nos gráficos 5.17 e 5.18, respectivamente. A turma de aplicação foi composta por 31 estudantes.

Gráfico 5.17 – Resultados das questões objetivas da avaliação pré-aula da turma de aplicação. As setas indicam a opção correta em cada questão.



Fonte: Criado pelo autor.

Gráfico 5.18 – Resultados das questões objetivas da avaliação pós-aula da turma de aplicação. As setas indicam a opção correta em cada questão.



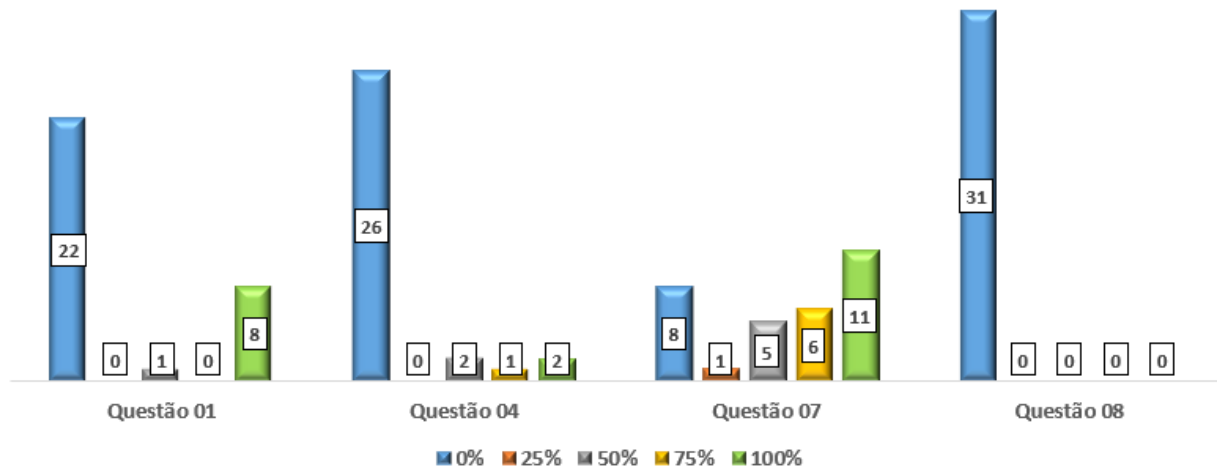
Fonte: Criado pelo autor.

Na parte objetiva da avaliação pré-aula, excetuando a questão 10, podemos perceber que a média de acertos não foi alta. Na escola em que desenvolvemos este trabalho, os professores de Física ainda não haviam ensinado aos estudantes da 3ª série o conteúdo de capacitores até o momento das nossas aulas planejadas acontecerem, apenas eletrostática e eletrodinâmica; desta forma, o desempenho deles na questão 10 da avaliação pré-aula nos surpreendeu. Acreditamos que este número expressivo de acertos teve associação com o fato da maioria dos estudantes desta turma frequentarem na época, em outro turno, cursos preparatórios para o ENEM e para os vestibulares; logo, a probabilidade de que já tivessem conhecimento sobre tal conteúdo não é irrelevante.

Comparando os gráficos 5.17 e 5.18, podemos notar o expressivo progresso nos resultados das questões 2, 3, 5, 6 e 9, na avaliação pós-aula, bem como a evolução no resultado da questão 10, apontando que o aprendizado sobre capacitores e de circuitos simples com capacitores foi bem assimilado pelos estudantes.

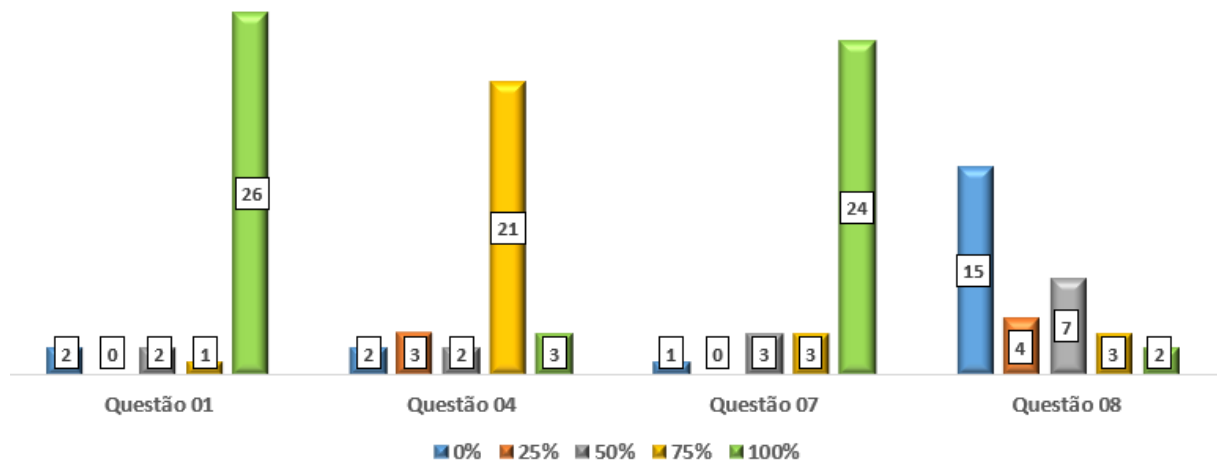
Os resultados referentes ao percentual de acertos alcançados pelos estudantes da turma de aplicação, em cada questão discursiva da avaliação pré-aula e da avaliação pós-aula, estão apresentados nos gráficos 5.19 e 5.20, respectivamente.

Gráfico 5.19 – Resultados das questões discursivas da avaliação pré-aula da turma de aplicação. Cada questão foi avaliada em frações de 25%, obtendo 100% em caso de acerto integral.



Fonte: Criado pelo autor.

Gráfico 5.20 – Resultados das questões discursivas da avaliação pós-aula da turma de aplicação. Cada questão foi avaliada em frações de 25%, obtendo 100% em caso de acerto integral.



Fonte: Criado pelo autor.

Na parte discursiva da avaliação pré-aula, percebemos que a média de acertos das questões não é alta. Encontramos questões sem respostas (“em branco”) e notamos, ao analisar as questões que foram respondidas, que os estudantes tiveram dificuldades em descrever os eventos e os fenômenos físicos, relacionados aos conteúdos abordados. Assim como na análise dos resultados da 1ª série e da 2ª série,

entendemos que as questões discursivas forneceram resultados mais reais do que as questões objetivas.

Comparando os gráficos 5.19 e 5.20, podemos notar a evolução em todas as questões, com uma ascensão do percentual de acertos. Aqui, vale destacar a questão 8, que exigiu um raciocínio matemático para emprego de expressões associadas às grandezas físicas envolvidas, que apresentou um avanço significativo no percentual de acertos, com 2 estudantes atingido 100% na pós-aula. Percebemos um expressivo aumento no desempenho das questões 1, 4 e 7, todas com médias $\geq 75\%$ na avaliação pós-aula.

Por meio dos resultados das questões objetivas e dos resultados das questões discursivas, calculamos a média das notas das avaliações (pré e pós-aula) da turma de aplicação, sendo a média pré-aula igual a 31,5%, enquanto a média pós-aula igual a 79,9%. Com estas médias, calculamos o ganho normalizado (aumento percentual das médias), através da expressão (1), cujo resultado que encontramos foi:

$$\langle g \rangle = 0,71 \quad (RA1)$$

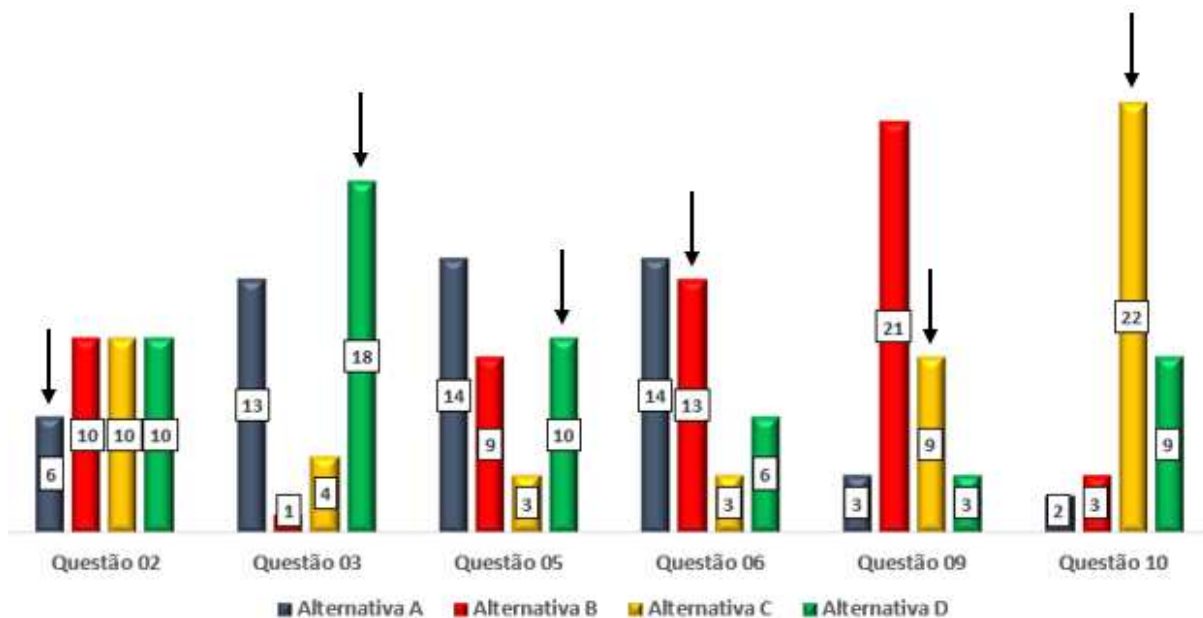
Também, efetuamos o cálculo da média dos ganhos normalizados individuais, através da expressão (2), e obtivemos o seguinte resultado:

$$g_{ave} = 0,70 \quad (RA2)$$

Percebemos que os resultados *RA1* e *RA2* foram bem próximos, sendo o segundo mais adequado para turmas pequenas (HAKE, 1998; BAO, 2006), que se enquadra neste trabalho. Dessa forma, de acordo com a classificação do ganho normalizado de Hake (página 31), o resultado obtido pela turma de aplicação (*RA2*) foi elevado ($\langle g \rangle \geq 0,7$).

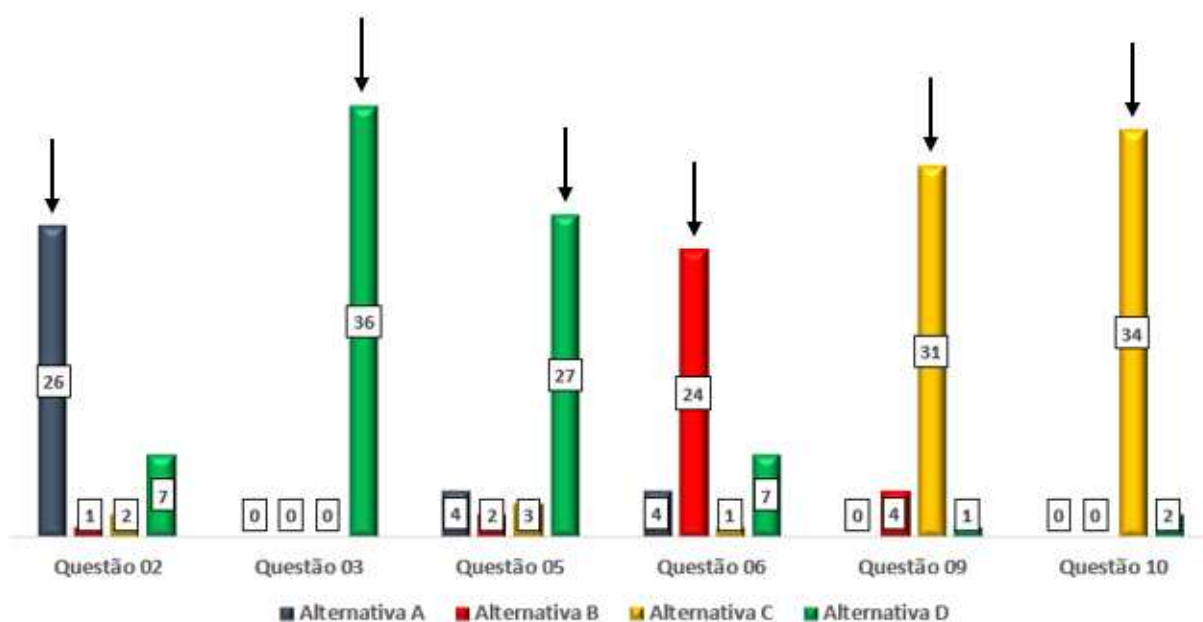
Na sequência, apresentamos nos gráficos 5.21 e 5.22 os resultados referentes às respostas dadas pelos estudantes da turma de controle em cada questão objetiva da avaliação pré-aula e da avaliação pós-aula, respectivamente. A turma de controle foi composta por 36 estudantes.

Gráfico 5.21 – Resultados das questões objetivas da avaliação pré-aula da turma de controle. As setas indicam a opção correta em cada questão.



Fonte: Criado pelo autor.

Gráfico 5.22 – Resultados das questões objetivas da avaliação pós-aula da turma de controle. As setas indicam a opção correta em cada questão.



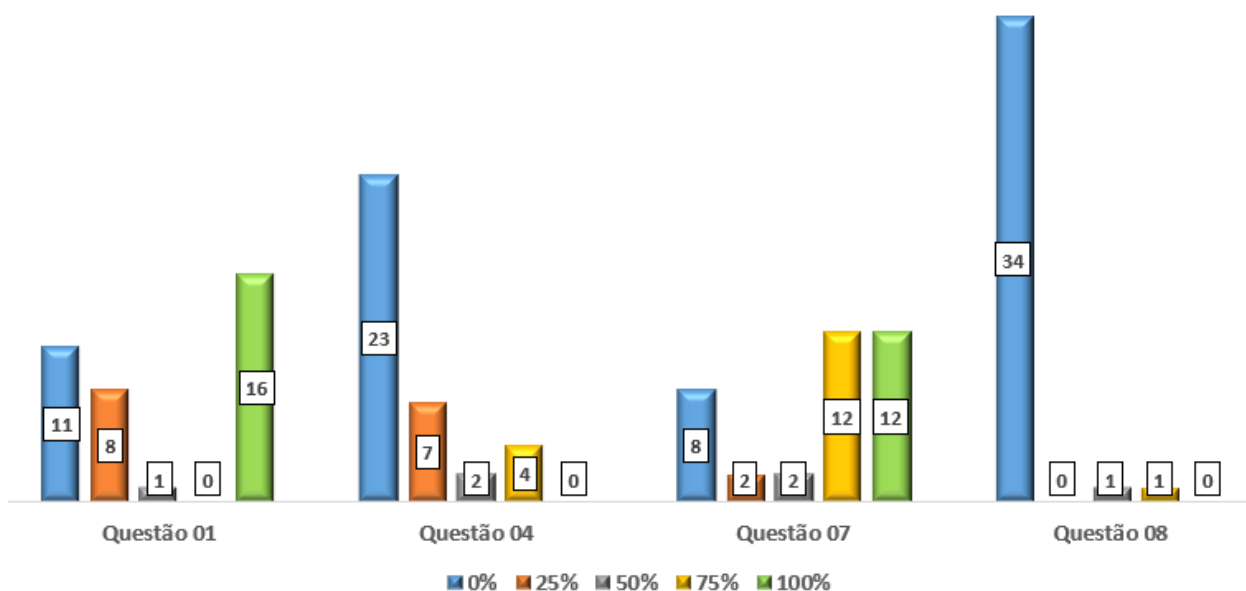
Fonte: Criado pelo autor.

Na parte objetiva da avaliação pré-aula, podemos observar que a média de acertos nas questões 2, 5, 6 e 9, não foi alta. Nos surpreendeu os resultados das questões 3 e 10, pois como explicamos anteriormente, os estudantes desta série ainda não haviam sido apresentados ao conteúdo de capacitores pelos professores de Física da escola pesquisada. Desta forma, para a turma de controle, a hipótese que justifica o expressivo número de acertos nestas questões, é a mesma levantada para a turma de aplicação.

Comparando os gráficos 5.21 e 5.22, podemos notar o expressivo progresso nos resultados de todas as questões na avaliação pós-aula, principalmente no da questão 10 que surpreendentemente atingiu 100% de assertividade. Estes resultados apontam que o aprendizado sobre capacitores e sobre circuitos simples com capacitores foi bem assimilado pelos estudantes.

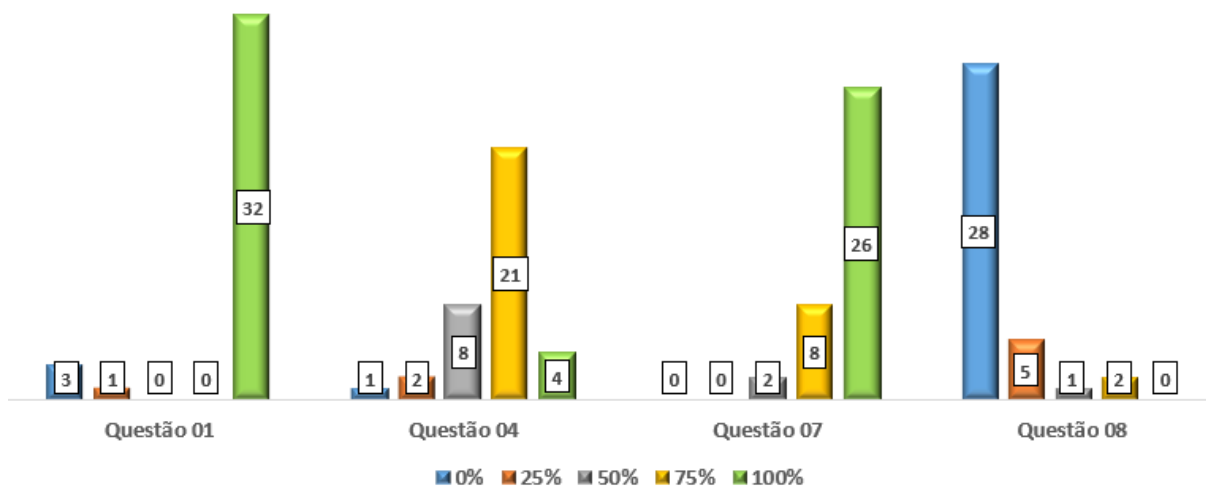
Os resultados referentes ao percentual de acertos alcançados pelos estudantes da turma de controle, em cada questão discursiva da avaliação pré-aula e da avaliação pós-aula, estão apresentados nos gráficos 5.23 e 5.24, respectivamente.

Gráfico 5.23 – Resultados das questões discursivas da avaliação pré-aula da turma de controle. Cada questão foi avaliada em frações de 25%, obtendo 100% em caso de acerto integral.



Fonte: Criado pelo autor.

Gráfico 5.24 – Resultados das questões discursivas da avaliação pós-aula da turma de controle. Cada questão foi avaliada em frações de 25%, obtendo 100% em caso de acerto integral.



Fonte: Criado pelo autor.

Na parte discursiva da avaliação pré-aula, percebemos que a média de acertos das questões não é alta, assim como a média da turma de aplicação. Encontramos questões sem respostas (“em branco”) e notamos, ao analisar as questões que foram respondidas, que os estudantes tiveram dificuldades em descrever os eventos e os fenômenos físicos, relacionados aos conteúdos abordados. Neste caso também, entendemos que questões discursivas fornecem resultados mais reais que questões objetivas.

Comparando os gráficos 5.23 e 5.24, podemos notar a evolução em todas as questões, com uma ascensão do percentual de acertos. Aqui, vale destacar a questão 8, que exigiu um raciocínio matemático para emprego de expressões associadas às grandezas físicas envolvidas, que apresentou um discreto avanço no percentual de acertos. Percebemos um expressivo aumento no desempenho das questões 1 e 7, ambas com médias $\geq 75\%$ na avaliação pós-aula.

Por meio dos resultados das questões objetivas e dos resultados das questões discursivas, calculamos a média das notas das avaliações (pré e pós-aula) da turma de controle, sendo a média pré-aula igual a 35,0%, enquanto a média pós-aula igual a 75,2%. Com estas médias, calculamos o ganho normalizado (aumento percentual das médias), através da expressão (1), cujo resultado que encontramos foi:

$$\langle g \rangle = 0,62 \quad (RC1)$$

Também, efetuamos o cálculo da média dos ganhos normalizados individuais, através da expressão (2), e obtivemos o seguinte resultado:

$$g_{ave} = 0,61 \quad (RC2)$$

Percebemos que os resultados *RC1* e *RC2* foram bem próximos, sendo o segundo mais adequado para turmas pequenas (HAKE, 1998; BAO, 2006), que se enquadra neste trabalho. Dessa forma, de acordo com a classificação do ganho normalizado de Hake (página 31), o resultado obtido pela turma de controle (*RC2*) foi médio ($0,7 > g_{ave} \geq 0,3$).

Percebe-se que os resultados *RC1* e *RC2* são praticamente idênticos, lembrando que *RC2* é o resultado mais adequado para este trabalho. Dessa forma, de acordo com a tabela de classificação do ganho normalizado de Hake, o resultado obtido pela turma de controle (*RC2*) foi médio ($0,7 > g_{ave} \geq 0,3$).

Comparando os resultados (*RA2*) e (*RC2*), das turmas de aplicação e de controle, respectivamente, percebe-se que (*RA2*) > (*RC2*). Este resultado se deve ao fato da nota média na avaliação pós-aula da turma de aplicação ter sido maior que a nota média da turma de controle. Comparando as notas médias das duas turmas nas avaliações pré-aula, verificamos que a turma de controle obteve um desempenho percentual (35,0%) um pouco melhor que a turma de aplicação (31,5%). Estes resultados validam o fato de termos considerado que os estudantes das duas turmas apresentavam, na média, um nível bem próximo da compreensão conceitual sobre capacitores e circuitos simples com capacitores, antes do desenvolvimento das aulas planejadas. Interpretamos que, como o resultado (*RA2*) foi maior que o resultado (*RC2*), o desenvolvimento da demonstração experimental para a turma de aplicação durante a explicação teórica dos conceitos e fenômenos, pode ter contribuído para o melhor resultado obtido pelos estudantes desta turma, pois foi a única ação diferente realizada com eles em comparação às ações realizadas com os estudantes da turma de controle.

Percebemos, durante a realização das aulas, que os estudantes da 3ª série da escola onde se desenvolveu a pesquisa, são mais maduros quando comparados aos estudantes da 1ª série e da 2ª série, por já terem percorrido quase que todo o ensino médio e ainda frequentarem, em sua maioria, cursos preparatórios para o ENEM e para os vestibulares, demonstrando assim maior facilidade em assimilar os conteúdos de Física. Os estudantes do 3ª série da turma de aplicação participaram efetivamente do desenvolvimento da proposta metodológica, fazendo perguntas objetivas, interferindo em momentos pontuais com opiniões e hipóteses bem fundamentadas e apresentando uma grande capacidade de concentração durante a exposição da demonstração experimental. Acreditamos que estas características associadas a uma demonstração experimental atrativa e com menor número de fenômenos explorados – comparado à demonstração realizada para os estudantes da 1ª série, proporcionou aos estudantes da 3ª série uma maior capacidade em assimilar os conceitos abordados e conseqüentemente em obterem melhores resultados quantitativos.

6. CONCLUSÕES

Com o propósito de apresentarmos os benefícios de um método para o ensino de Física, com características de ser mais atrativo, mais interativo e de estar ao alcance de qualquer professor, relatamos neste trabalho a experiência vivida na implementação de demonstrações experimentais em sala de aula, concomitante à exposição dos conteúdos, como forma de proporcionar ao estudante uma maneira diferente de assimilar conceitos e fenômenos físicos, auxiliando-o no aprendizado desta disciplina.

Destacamos que a pesquisa para este trabalho foi desenvolvida com um grupo de estudantes do ensino médio de uma escola pública, na qual selecionamos duas turmas de cada série – uma para aplicação do método e outra para controle. Descrevemos como foi o desenvolvimento das aulas teóricas, planejadas com demonstrações experimentais para as turmas de aplicação e sem demonstrações para a turma de controle, onde apresentamos aos estudantes os fatos, as ideias e as razões lógicas sobre os conceitos e os fenômenos dos conteúdos escolhidos.

Como forma de verificarmos os objetivos qualitativos deste trabalho, observamos o comportamento das turmas durante o desenvolvimento das aulas, analisando a motivação, a interação, a concentração e a participação dos estudantes de cada uma. Já, para verificarmos os aspectos quantitativos, ou seja, compararmos os rendimentos percentuais das turmas, elaboramos avaliações para serem aplicadas no momento anterior as aulas (pré-aula) e no momento posterior a elas (pós-aula), com o objetivo de coletarmos os dados necessários para plotarmos os gráficos de acertos por questões e calcularmos os ganhos normalizados, que foram os instrumentos que utilizamos para a análise quantitativa.

Assim, após a realização das atividades planejadas para este trabalho e à análise dos resultados obtidos, chegamos às nossas conclusões quanto a preparação para o desenvolvimento das aulas, quanto o que observamos no comportamento das turmas ao longo do processo e quanto às comparações dos valores das médias dos ganhos normalizados por estudante.

Quanto ao planejamento das aulas com demonstrações experimentais para as turmas de aplicação, foi exigido de nós um bom nível de conhecimento teórico e prático sobre os conteúdos que foram selecionados e sobre a forma como foram abordados. Foi necessário construirmos os aparatos experimentais e estudarmos

tanto a parte conceitual quanto a pedagógica, buscando informações e ideias criativas em livros e publicações de reconhecimento acadêmico, o que nos evitou possíveis equívocos e constrangimentos durante o desenvolvimento das atividades, pois os estudantes fizeram questionamentos diversos e expressaram hipóteses que necessitaram da nossa intervenção explicativa.

Quanto ao comportamento das turmas durante o desenvolvimento das aulas, avaliamos que a motivação, a participação e o engajamento dos estudantes das turmas de aplicação tiveram maior representatividade do que estas mesmas características observadas nos estudantes das turmas de controle. Verificamos, por meio de nossas anotações e análises, que os estudantes das turmas de aplicação questionaram mais, realizaram debates em torno das hipóteses levantadas – o que não ocorreu nas turmas de controle, interagiram cognitivamente uns com outros e com o professor, apresentaram um maior número de respostas aos questionamentos relativos aos conceitos abordados e tiveram maior concentração nas aulas. Então, podemos concluir que as demonstrações experimentais, realizadas em sincronia com as aulas teóricas, provocou nos estudantes das turmas de aplicação uma vontade maior em participar e concentrar nas aulas, o que possibilitou a eles terem uma maior consciência sobre a importância da Física no nosso cotidiano e a contribuição dela para o progresso da sociedade. Este método mostrou ser uma excelente ferramenta motivacional, com capacidade de captar a atenção dos alunos, promover criatividade, curiosidade e interesse pela investigação da Física, bem como integrar as exposições teóricas à esfera histórica e experimental desta Ciência.

Quanto aos resultados quantitativos, ao compararmos os gráficos de acertos por questões – construídos com as respostas das avaliações pré-aula e pós-aula, verificamos que em todas as turmas de aplicação a média do número de acertos, da avaliação pré-aula para a pós-aula, teve uma evolução positiva maior que a da média das turmas de controle. Verificamos também que, ao compararmos os ganhos normalizados das médias (aumentos percentuais das médias das avaliações pós-aula em relação às médias das avaliações pré-aula) e ao compararmos as médias dos ganhos normalizados por aluno, todas as turmas de aplicação tiveram uma leve vantagem sobre as turmas de controle. Interpretamos este resultado, embora não tão expressivo, como uma possível influência das demonstrações experimentais nas assimilações dos conceitos físicos apresentados, indicando que este método pode ser um facilitador no processo de ensino-aprendizagem dos estudantes.

Uma recomendação que emerge deste trabalho, para estudo futuro, é analisar quantitativamente a evolução na compreensão conceitual de cada aluno, como forma de verificar se os efeitos das demonstrações experimentais beneficiam a todos e em qual proporção.

Por fim, sugerimos que os professores de Física do ensino médio se envolvam no processo de mudança de atitude em relação ao ensino desta disciplina, promovendo a utilização de ferramentas didáticas motivadoras, aprofundando o estudo dos tópicos desta Ciência e expandindo seu campo de ensino para os ramos da Física Moderna, da Nanotecnologia, das aplicações tecnológicas ou outros afins. Recomendamos aos professores de Física e disciplinas afins que estimulem nos seus alunos o interesse pelo estudo das ciências, independentemente da didática, metodologia ou estratégia, é necessário direcionar as futuras gerações para a pesquisa científica e, desta forma, contribuir para o crescimento da sociedade.

Desnecessário dizer algo sobre a importância de o estudante enxergar a Física como uma ciência altamente aplicada, que oferece muitas possibilidades para o seu futuro profissional e o bem-estar para a sociedade.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA JR., J. B. **A evolução do ensino de física no Brasil**. Revista de Ensino de Física, São Paulo, v. 1, n. 2, p. 45-58, 1979. Disponível em: <<http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/vol01a17>>. Acesso em: 13 de setembro de 2020.
- ARAÚJO, M. S. T.; ABIB, M. L. V. S. **Atividades experimentais no ensino de Física: diferentes enfoques, diferentes finalidades**. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 25, n. 2, pp. 176-194, 2003.
- ARRUDA, S. M.; SILVA, M. R.; LABURÚ, C. E. **Laboratório didático de Física a partir de uma perspectiva kuhniana**. Investigações em Ensino de Ciências, v. 6(1), pp. 97-106, 2001.
- ASTOLFI, J. P.; PETERFALVI, B.; VÉRIN, A. **Como as crianças aprendem as ciências**. Tradução: Maria José Figueiredo. Lisboa, Portugal: Instituto Piaget, 1998.
- BAO, L. **Theoretical comparisons of average normalized gain calculations**. American Journal of Physics, n. 74, pp. 917-922, 2006.
- BARBERÁ, O.; VALDÉZ, P. **El trabajo práctico en las ciencias: Una revisión**. Investigación y Experiencias Didácticas - Enseñanza de las Ciências, v. 14(3), pp. 365-379, 1996.
- BARREIRO E BAGNATO. **Aulas demonstrativas nos cursos básicos de física**. Caderno Catarinense de Ensino de Física, Florianópolis, v. 9, n. 3, pp. 238-244, 1992.
- BODMER, W. F. **The Public Understanding of Science**. Report of a Royal Society ad hoc Group endorsed by the Council of the Royal Society. London: Royal Society, 1985.
- CARVALHO, R. **História do gabinete de física da Universidade de Coimbra**. Biblioteca Geral, 1978.
- CARVALHO, A. M. P. **Crítérios estruturantes para o ensino de Ciências**. In: Carvalho, A. M. P. Ensino de Ciências – Unindo a Pesquisa e a Prática. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2004.
- CARVALHO, P. S. *et al.* **Ensino experimental das ciências: Um guia para professores do ensino secundário - Física e Química**. 2. ed. [s. l.]: U.Porto, 2012. ISBN 9789897460142.
- CHAVES, J. M. F.; HUNSCHE, S. **Atividades experimentais demonstrativas no ensino de Física: panorama a partir de eventos da área**. Universidade Federal do Pampa. Rio Grande do Sul, 2014.
- CHESMAN, C.; SALVADOR, C.; SOUSA, E. S.; ALBINO Jr, A. **Colisão elástica: um exemplo didático e lúdico**. Física na Escola, v. 6, n. 2, pp. 23-25, 2005.

COELHO, L.; PISONI, S. **Vygotsky: sua teoria e a influência na educação**. Revista e-Ped – FACOS/CNEC Osório, v. 2, n. 1, pp. 144-152, ago. 2012. ISSN 2237-7077 Disponível em: <http://facos.edu.br/publicacoes/revistas/e-ped/agosto_2012/pdf/vygotsky_-_sua_teorica_e_a_influencia_na_educacao.pdf>. Acesso em: 30 de setembro de 2020.

COLETTA, V. P.; PHILLIPS, J. A. **Interpreting FCI scores: Normalized gain, preinstruction scores, and scientific reasoning ability**. American Journal of Physics, n. 73, 1172, 2005.

COLETTA, V. P.; STEINERT, J. J. **Why normalized gain should continue to be used in analyzing preinstruction and postinstruction scores on concept inventories**. Physical Review Physics Education Research, n. 16, 010108, 2020.

DARROZ, L. M.; ROSA, C. W.; GHIGGI, C. M. **Método tradicional x aprendizagem significativa: investigação na ação dos professores de Física**. Aprendizagem Significativa em Revista, v. 5(1), pp. 70-85, 2015.

FEYNMAN, R. P. **Física em 12 lições fáceis e não tão fáceis**. Rio de Janeiro. Editora Ediouro, 2005. ISBN 8500016353.

FIGUEROA. *et al.* **Demonstraciones de física: Para quê?**. Enseñanza de Las Ciências, v. 12(3), pp. 443-446, 1994.

GALHARDI, A. C.; AZEVEDO, M. M. **O ganho de Hake: uma técnica de avaliação de absorção de conhecimento e replanejamento de disciplina**. VII Workshop de Pós-Graduação e Pesquisa do Centro Paula Souza, ISSN: 2175-1897, pp. 193-199, 2013.

GASPAR, A. **Experiências de ciências para o Ensino Fundamental**. São Paulo. Editora Ática, 2003. ISBN 8508089171.

GASPAR, A.; MONTEIRO, I. C. C. **Atividades experimentais de demonstrações: Uma análise segundo o referencial da teoria de Vygotsky**. Investigações em Ensino de Ciências, v. 10, n. 2, pp. 227-254, 2005.

GASPAR, A.; MONTEIRO, I. C. C.; MONTEIRO, M. A. A. **Um estudo sobre as atividades experimentais de demonstração em sala de aula: Proposta de uma fundamentação teórica**. Enseñanza de las Ciencias, n. extra, VII Congresso, 2005.

GRAF: Grupo de Reelaboração do Ensino de Física. **Física 1 - Mecânica**. 7. ed. São Paulo: Edusp, 2002. ISBN 8531400147.

GRAF: Grupo de Reelaboração do Ensino de Física. **Física 2 - Física Térmica e Óptica**. 5. ed. São Paulo: Edusp, 2005. ISBN 8531400252.

GRAF: Grupo de Reelaboração do Ensino de Física. **Física 3 - Eletromagnetismo**. 5. ed. São Paulo: Edusp, 2006. ISBN 8531401151.

HAKE, R. R. **Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand students survey of mechanics test data for introductory physics courses**. American Journal of Physics, n. 66, p. 64, 1998.

HAKE, R. R. **Relationship of individual student normalized learning gains in mechanics with gender, high-school physics, and pretest scores on mathematics and spatial visualization**. Physics Education Research Conference, Boise, Idaho, 2002.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de física – Mecânica**. Editora LTC. v. 1. 4ª ed. Rio de Janeiro, 1996. ISBN 8521610696.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de física – Mecânica**. Editora LTC. v. 1. 8ª ed. Rio de Janeiro, 2008. ISBN 8521616054.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de física – Gravitação, Ondas e Termodinâmica**. Editora LTC. v. 2. 4ª ed. Rio de Janeiro, 1996. ISBN 852161070X.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de física – Eletromagnetismo**. Editora LTC. v. 3. 4ª ed. Rio de Janeiro, 1996. ISBN 8521610718.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de física – Eletromagnetismo**. Editora LTC. v. 3. 8ª ed. Rio de Janeiro, 2008. ISBN 8521616078.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de física – Ótica e Física Moderna**. Editora LTC. v. 4. 4ª ed. Rio de Janeiro, 1996. ISBN 8521610343.

HEWITT, P. G. **Física conceitual**. 9. ed. Porto Alegre: Bookman, 2002. ISBN 0321052021

HOWE, A. C. **Development of science concepts within a vygotskian framework**. Science Education, n. 80(1), pp. 35-51, 1996.

KUBLI, F. **Piaget's Cognitive Psychology and its Consequences for the Teaching of Science**. European Journal of Science Education, 1:1, 5-20, 1979. DOI: 10.1080/014052 8790010103.

KURI, N. P. **O ensino das disciplinas com altos índices de reprovação nos cursos de engenharia: Aspectos metodológicos**. Dissertação (Mestrado) UFSCar, 1990.

LA TAILLE, I.; Dantas, H. e Oliveira, M.K. **Piaget, Vygotsky e Wallon: Teorias genéticas em discussão**. São Paulo: Summus, 1992.

LABURÚ, C. E. **Fundamentos para um experimento cativante**. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 23, n. 3, pp. 382-404, 2006.

LASRY, N. *et al.* **Losing it: The Influence of Losses on Individuals Normalized Gains**. Physics Education Research Conference, v. 1289, pp. 229-232, Portland, Oregon, 2010.

LOPES, E. M.; LABURÚ, C. E. **Diâmetro de um fio de cabelo por difração (um experimento simples)**. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 21, n. especial, pp. 258-264, 2004.

MARX, J. D.; CUMMINGS K. **Normalized change**. American Journal of Physics n. 75, pp. 87-91, 2007.

MESEGUER DUEÑAS E MAS ESTELLÉS. **Experiências de cátedra em las clases de física de primer curso de escuelas técnicas**. Enseñanza de las ciencias, v. 12(3), pp. 381-391, 1994.

MCKAGAN, S.; SAYRE, E.; MADSEN, A. **Normalized gain: What is it and When and how should i use it?** PhysPort - Supporting physics teaching whit researche-based resources, 2017. Disponível em: <<https://www.physport.org/recommendations/Entry.cfm?ID=93334>>. Acesso em: 10 de janeiro de 2021.

MIRANDA, J. C. **Uso de novas tecnologias no ensino**. Educação Pública, ISSN: 1984-6290, 2017. Disponível em: <<https://educacaopublica.cecierj.edu.br/artigos/17/22/uso-de-novas-tecnologias-no-ensino>>. Acesso em: 24 março de 2020.

MONTEIRO, I. C. C.; MONTEIRO, M. A. A.; GASPAR, A. **Atividades experimentais de demonstração e o discurso do professor no ensino de Física**. IV Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, 2003.

MOREIRA, M. A. **Uma análise crítica do ensino de Física**. Estudos Avançados, n. 32 (94), pp. 73-80, 2018.

MOREIRA, M. A. **Teorias de aprendizagem**. São Paulo: EPU, 1999. ISBN 8512321407.

NARDI, Roberto (Org.). **Questões atuais no ensino de ciências**. São Paulo: Escrituras Editora, 1998. ISBN 9788586303333.

NASCIMENTO, M. M. **Abordando os temas conservação de energia mecânica, conservação de momentum linear e movimento de projéteis a partir de uma estratégia de ensino Lakatosiana**. XX Simpósio Nacional de Ensino de Física – SNEF, 2013.

NETO, J. M.; PACHECO, D. **Pesquisas sobre o ensino de Física no nível médio no Brasil**. In: NARDI, R. (Ogr.). Pesquisas em Ensino de Física. 2 ed. São Paulo: Escrituras Editora, pp. 15-30, 2001.

NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de Física Básica: Mecânica**. Editora Edgard Blücher LTDA. v. 1. 4ª ed. São Paulo, 2002. ISBN 85212002989.

NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de Física Básica: Eletromagnetismo**. Editora Edgard Blücher LTDA. v. 3. 1ª ed. São Paulo, 1997. ISBN 8521201346.

NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de Física Básica: Ótica, Relatividade e Física Quântica**. Editora Edgard Blücher LTDA. 1ª ed. São Paulo, 1998. v. 4. ISBN 8521201632.

OLIVEIRA, M. K. **Vygotsky: Aprendizado e Desenvolvimento - Um processo sócio-histórico**. São Paulo: Scipione, 1993.

PAULA, A. C.; ARAÚJO, I. S. C. **James Wertsch: Influência de Vygotsky, ideias principais e implicações para a educação científica**. 33º EDEQ, 2013.

REGO, T. C. **Vygotsky: Uma perspectiva histórico-cultural da educação**. 8. ed. Petrópolis: Editora Vozes, 1999. ISBN 8532613454.

RIPPER, A. V. **O preparo do professor para as novas tecnologias**. In: Oliveira, V.B. (Org.). *Informática em Psicopedagogia*. São Paulo: Editora Senac, 1996.

ROSA, C. W.; ROSA, A. B. **Ensino de Física: objetivos e imposições no ensino médio**. Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias, v. 4, n.1, 2005.

SHARMA, M. D. *et al.* **Use of interactive lecture demonstrations: A ten year study**. Physical Review Special Topics - Physics Education Research, n. 6, 020119, 2010.

SILVA, S. F.; NÚÑEZ, I. B. **O ensino por problemas e trabalho experimental dos estudantes – reflexões teórico-metodológicas**. Química Nova, v. 25, n. 6B, pp. 1197-1203, 2002.

SILVA, W. V.; DUARTE, M. O. **Ensino de Física e atividades experimentais em sala de aula: algumas considerações**. Educação e Tecnologias: inovação em cenários em transição. CIET/EnPED, 2018.

SMITH, E. M.; STEIN, M. M.; WALSH, C.; HOLMES, N. G. **Direct measurement of the impacto of teaching experimentation in physics labs**. Physical Review X, n. 10, 011029, 2020.

SOUZA, L. A.; SILVA, L.; HUGUENIN, J. A. O.; BALTHAZAR, W. F. **Discutindo a natureza ondulatória da luz e o modelo da óptica geométrica através de uma atividade experimental de baixo custo**. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 37, n. 4, p. 4311, 2015.

TANIS, D.; SHAKHASHIRL, B. **Why i do demonstrations and lecture demonstrations**. Journal of Chemical Education, 1010-1012, 1984.

TAYLOR, C. A. **The art and science of lecture demonstration**. Adam Hilger, Bristol and Philadelphia, p. 196, 1988.

THORNTON, R. K.; KUHL, D.; CUMMINGS, K.; MARX, J. **Comparing the force and motion conceptual evaluation and the force concept inventory**. Physical Review Special Topics - Physics Education Research, n. 5, 010105, 2009.

VALADARES, E.C. **Física mais que divertida**. UFMG, 2000.

VYGOTSKY, L. S. **A formação social da mente**. São Paulo: Martins Fontes, 1984

VYGOTSKY, L. S. **Pensamento e Linguagem**. São Paulo: Martins Fontes, 1999.

VYGOTSKY, L. S. **A Construção do Pensamento e da Linguagem**. São Paulo: Martins Fontes, 2001.

WALKER, J. **O grande circo da Física**. Lisboa: Gradiva, 1990.

WERTSCH, J. V. **The zone of proximal development: Some conceptual Issues**. In: Rogoff, B. e Wertsch, J. V. (eds): *Childrens learning in the Zone of Proximal Development- New Directions to Child development*, n. 23 – S Francisco, Jossey – Bass, março, p. 84, 1984.

APÊNDICE A - Avaliações pré-aula e pós-aula

1 – Avaliação (1ª série)

ATIVIDADE: Avaliação ___-aula		DATA: __/__/2018
ESCOLA:	ENSINO: Médio	SÉRIE: 1ª
PROFESSOR: Hermes Júnior	DISCIPLINA: Física	
ALUNO:	Nº:	TURMA:

Nesta avaliação você será questionado sobre a dinâmica do movimento de dois corpos, bem como de uma colisão entre eles. Você deverá recorrer aos seus conhecimentos sobre os seguintes conceitos: **Força, Trabalho, Energia Mecânica (Cinética e Potencial Gravitacional), Conservação da Energia Mecânica, Quantidade de Movimento (Momento Linear), Conservação da Quantidade de Movimento, Impulso, Velocidade, Aceleração, Lançamento e Movimento em Duas Dimensões (Movimento de projéteis).**

Leia com atenção o texto descritivo a seguir.

O esquema de um aparato experimental é representado na figura abaixo.

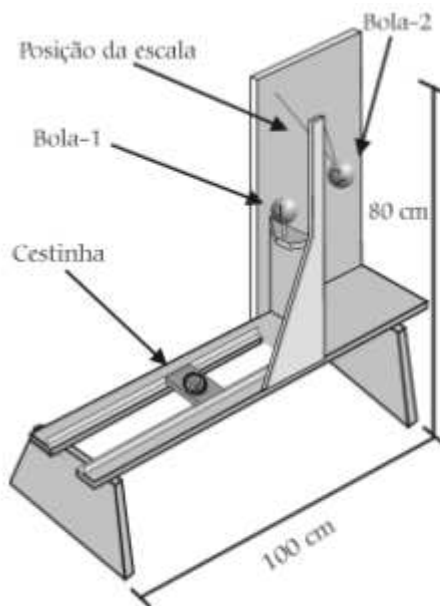


Figura 1a - Esquema do aparato experimental.

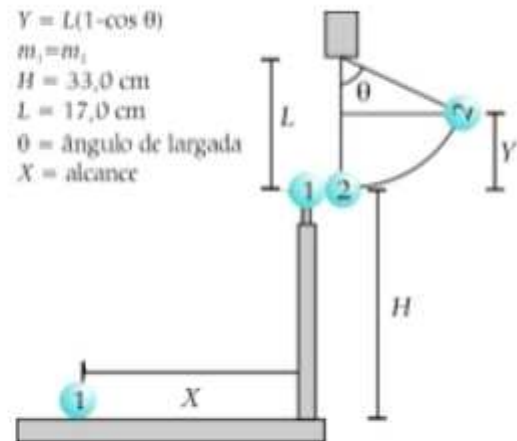


Figura 1b - Modelo para a descrição experimental.

Este aparato corresponde a um modelo real que será utilizado pelo professor de Física em uma aula sobre colisões. O objetivo do professor será demonstrar para a classe de estudantes o comportamento dinâmico de dois corpos, antes e após uma colisão entre ambos, durante a exposição teórica dos conceitos físicos envolvidos em tal situação.

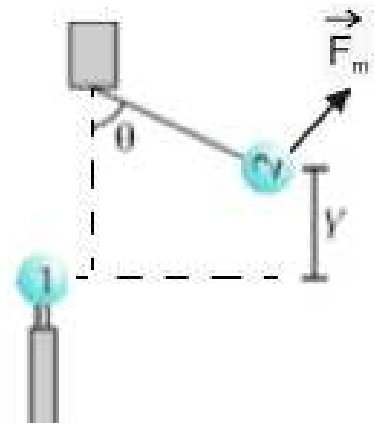
Neste aparato, a **bola 1** estará inicialmente em repouso sobre um pino e encostada em uma bola de mesma massa, **bola 2**, que se encontrará em repouso presa a um fio de massa desprezível esticado na vertical (Figura 1b).

A demonstração experimental terá início quando o professor puxar, com uma das mãos, a **bola 2** até uma posição angular θ , em relação a um eixo vertical coincidente com a posição inicial do fio, e uma altura Y em relação a um eixo horizontal que passa pela posição inicial das bolas (Figura 1b). Em seguida ele liberará a **bola 2**, que iniciará um movimento de descida até colidir com a **bola 1**, que, após um intervalo de tempo Δt colidirá com a base do aparato, a uma distância X da haste vertical que contém o pino da posição inicial desta bola (Figura 1b).

Com base nos seus conhecimentos de Física e imaginando tal demonstração experimental, responda às questões desta avaliação.

QUESTÃO 1

Desenhe nas figuras das **bolas 1** e **2**, os vetores de força que atuam sobre cada uma delas. No momento destacado na figura ao lado, tanto a **bola 1** quanto a **bola 2** estão em repouso, sendo que o vetor de força F_m que aparece aplicado na **bola 2**, representa a força exercida pela mão do professor para mantê-la naquela posição.



QUESTÃO 2

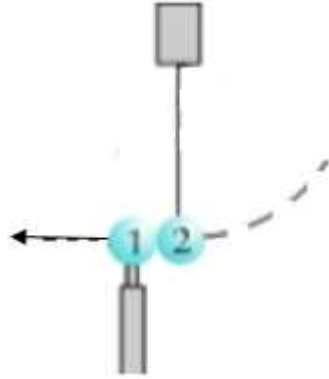
Ainda analisando a situação destacada na **figura da questão 1**, se tomarmos como referência uma linha horizontal que passa pelo centro da **bola 1**, podemos afirmar que a **bola 2** tem

- A) força armazenada. (Se sim, qual? _____)
- B) energia armazenada. (Se sim, qual forma? _____)
- C) trabalho armazenado.
- D) impulso armazenado.

ATENÇÃO: A figura e o texto abaixo serão utilizados na resolução das questões 3 e 4.

Após a **bola 2** ser liberada pelo professor, a partir da posição de equilíbrio estático destacada na **figura da questão 1**, ela atinge a **bola 1** (como mostra a figura deste exercício).

Imaginando um intervalo de tempo infinitesimal antes da colisão (o momento imediatamente antes da colisão), analise cada questão que se segue e marque, em cada uma, a alternativa que corresponde corretamente ao conceito Físico envolvido na situação.



QUESTÃO 3

Pode-se afirmar que, imediatamente antes da colisão, a **bola 2** tem

- A) força armazenada que **depende** da sua velocidade.
- B) força armazenada que **independe** da sua velocidade.
- C) energia armazenada que **depende** da sua velocidade.
- D) energia armazenada que **independe** da sua velocidade.

QUESTÃO 4

Pode-se afirmar que, imediatamente antes da colisão, a **bola 2** tem

- A) quantidade de movimento (momento) que **depende** da sua velocidade.
- B) quantidade de movimento (momento) que **independe** da sua velocidade.
- C) trabalho armazenado que **depende** da sua velocidade.
- D) trabalho armazenado que **independe** da sua velocidade.

QUESTÃO 5

Considere agora a colisão da **bola 2** com a **bola 1**. Durante esta colisão, ou seja, enquanto elas estiverem nesse contato, podemos afirmar que

- A) a **bola 2** aplicará força na **bola 1**, assim como a **bola 1** aplicará força na **bola 2**, sendo estas forças de intensidades diferentes.
- B) a **bola 2** aplicará força na **bola 1**, assim como a **bola 1** aplicará força na **bola 2**, sendo estas forças de intensidades iguais.

C) somente a **bola 2** aplicará força na **bola 1**, pois devido a rapidez da interação não haverá tempo para a **bola 1** aplicar força na **bola 2**.

D) a **bola 2** transferirá toda a sua força para a **bola 1**, devido a rapidez da interação.

QUESTÃO 6

Considere ainda a colisão da **bola 2** com a **bola 1**. Durante esta colisão, ou seja, enquanto elas estiverem nesse contato, podemos afirmar que

A) a **bola 2** realizará trabalho sobre a **bola 1** transferindo energia de forma que esta adquirará velocidade, mas a **bola 1** não realizará trabalho sobre a **bola 2**, pois a velocidade desta diminuirá.

B) a **bola 1** realizará trabalho sobre a **bola 2** transferindo energia de forma que esta diminuirá a velocidade, mas a **bola 2** não realizará trabalho sobre a **bola 1**, pois a velocidade desta aumentará.

C) a **bola 2** realizará trabalho sobre a **bola 1** transferindo energia de forma que esta adquirará velocidade, e a **bola 1** realizará trabalho sobre a **bola 2**, diminuindo a velocidade desta.

D) devido a rapidez da interação não haverá realização de trabalho por nenhuma das partes.

QUESTÃO 7

Mais uma vez considere a colisão da **bola 2** com a **bola 1**. Durante esta colisão, ou seja, enquanto elas estiverem nesse contato, podemos afirmar que

A) a **bola 2** aplicará um impulso na **bola 1** transferindo quantidade de movimento (momento linear) de forma que esta adquirará velocidade, mas a **bola 1** não aplicará um impulso na **bola 2**, pois a velocidade desta diminuirá.

B) a **bola 1** aplicará um impulso na **bola 2** transferindo quantidade de movimento (momento linear) de forma que esta diminuirá a velocidade, mas a **bola 2** não aplicará impulso na **bola 1**, pois a velocidade desta aumentará.

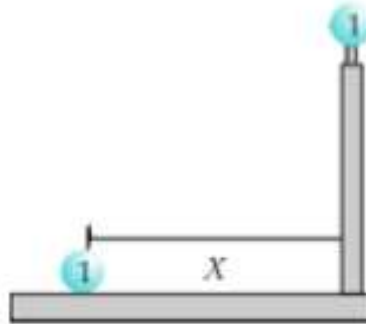
C) a **bola 2** aplicará um impulso na **bola 1** transferindo quantidade de movimento (momento linear) de forma que esta adquirará velocidade, e a **bola 1** aplicará um impulso na **bola 2**, diminuindo a velocidade desta, sendo iguais as intensidades dos dois impulsos.

D) devido a rapidez da interação a **bola 2** transferirá toda a sua velocidade para a **bola 1**.

QUESTÃO 8

Após a colisão da **bola 2**, a **bola 1** irá adquirir movimento e atingirá a base do aparato, como já explicado no texto descritivo da demonstração experimental.

Você imagina que a trajetória deste movimento será curvilínea ou retilínea? Faça um esboço, da trajetória que você pensa, na figura abaixo.

**QUESTÃO 9**

Continuando no raciocínio da **questão 8**, você imagina que o movimento da **bola 1** será constante ou variável? Explique.

QUESTÃO 10

Você acha que o valor inicial do ângulo θ (ângulo de largada), mostrado na **Figura 1b** influenciará no alcance horizontal X da **bola 1**? Explique.

QUESTÃO 11

Se o professor repetir a demonstração experimental mantendo todos os parâmetros do primeiro experimento inalterados, menos a **bola 1** que será substituída por uma **nova bola** de massa maior, o que você espera acontecer?

- A) Não ocorrerá modificação na dinâmica do movimento das bolas, ocorrerá exatamente a mesma coisa que no primeiro experimento.
- B) A **nova bola** não se moverá após a colisão, por ter massa maior que a **bola 2**.
- C) A **nova bola** irá atingir uma distância horizontal X **maior** por ser mais pesada que a **bola 1** usada no primeiro experimento.
- D) A **nova bola** irá atingir uma distância horizontal X **menor** por ter massa maior que a **bola 1** usada no primeiro experimento.

QUESTÃO 12

Utilizando os dados matemáticos fornecidos na **Figura 1b**, calcule a distância horizontal X atingida pela **bola 1** após ser colidida pela **bola 2**.

(obs.: a massa da **bola 1** é igual a massa da **bola 2**; $\theta = 60^\circ$; $\cos 60^\circ = 0,5$; utilize $g = 10 \text{ m/s}^2$)

2 – Avaliação (2ª série)

ATIVIDADE: Avaliação ___-aula		DATA: __/__/2018	
ESCOLA:	ENSINO: Médio	SÉRIE: 2ª	
PROFESSOR: Hermes Júnior	DISCIPLINA: Física		
ALUNO:	Nº:	TURMA:	

Nesta avaliação você será questionado sobre as propriedades ondulatórias e os fenômenos da difração e interferência da luz. Você deverá recorrer aos seus conhecimentos sobre os seguintes conceitos: **Movimento Ondulatório, A Natureza da Luz, Propriedades Ondulatórias da Luz, Princípio de Huygens, Difração da Luz e Interferência Luminosa.**

Leia com atenção o texto descritivo a seguir.

O esquema de um aparato experimental é representado na figura abaixo.

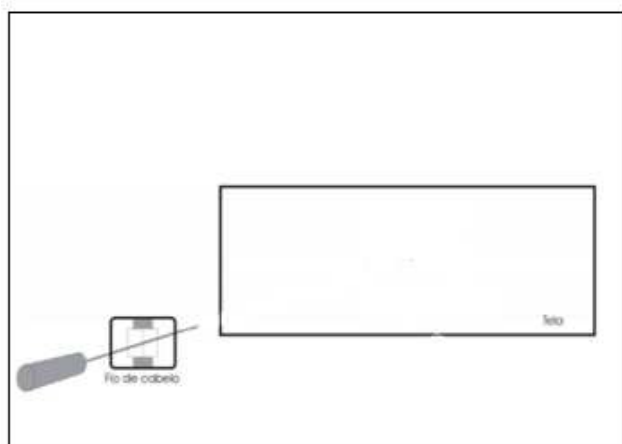


Figura 1a - Feixe de laser passando por um fio de cabelo em direção a uma tela.

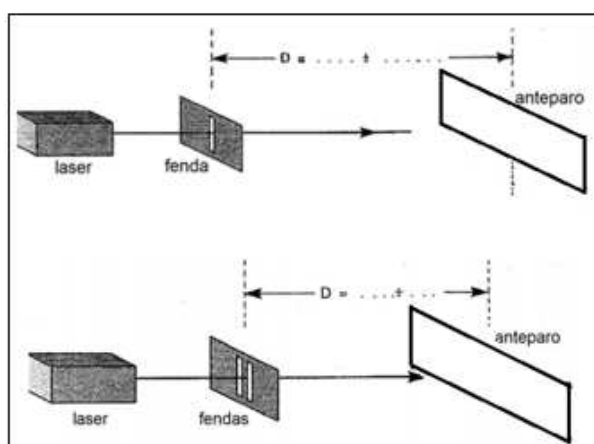


Figura 1b - Feixe de laser passando por uma fenda (acima) e por uma dupla fenda (abaixo).

Este aparato corresponde a um modelo real que será utilizado pelo professor de Física em uma aula sobre difração e interferência da luz. O objetivo do professor será demonstrar para a classe de estudantes o comportamento de um feixe de laser ao passar por alguns obstáculos (fio de cabelo, fenda simples e dupla fenda), antes de atingir um anteparo (tela, quadro, parede, etc), durante a exposição teórica dos conceitos físicos envolvidos em tal situação.

A demonstração experimental terá início quando o professor posicionar o feixe de laser de maneira a incidir sobre cada um dos obstáculos mencionados no parágrafo anterior, primeiramente sobre um fio de cabelo (Figura 1a) e posteriormente sobre a fenda simples e a dupla fenda, separadamente (Figura 1b). O que se espera é que surgirão figuras luminosas no anteparo, as quais serão analisadas e discutidas ao longo da aula.

Com base nos seus conhecimentos de Física e imaginando tal demonstração experimental, responda às questões desta avaliação.

QUESTÃO 1

Com relação a algumas propriedades da luz são feitas as seguintes afirmações:

- I. A luz se origina dos movimentos acelerados dos elétrons. Ela é um fenômeno eletromagnético e constitui apenas uma minúscula parte de um todo.
- II. A luz é constituída por uma corrente de partículas ou corpúsculos, denominados fótons, tendo assim um comportamento exclusivamente corpuscular.
- III. Como a luz pode sofrer difração e interferência, que são fenômenos característicos de ondas, ela tem um comportamento exclusivamente ondulatório.
- IV. A partir dos resultados dos experimentos de Thomas Young (Experimento de fenda dupla - 1801) e de Einstein (Efeito fotoelétrico - 1905), chegou-se à conclusão de que a luz é tanto onda como partícula.

Marque a alternativa que contém as afirmações corretas.

- A) I e III.
- B) I e IV.
- C) I e II.
- D) apenas a IV.

QUESTÃO 2

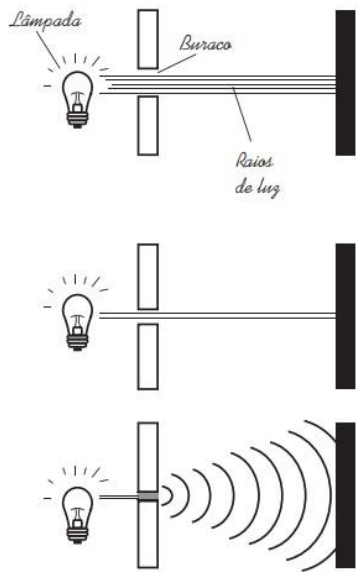
O que é o fenômeno da difração da luz?

QUESTÃO 3

O que é o fenômeno da interferência?

QUESTÃO 4

As figuras abaixo representam feixes de luz atravessando orifícios após serem emitidos por uma fonte luminosa. No sentido descendente das figuras, o orifício se torna cada vez menor. As três ilustrações podem descrever situações reais? Se não, diga qual ou quais não correspondem a uma propagação real do feixe luminoso, após este passar pelo orifício.



FIOLHAIS, C. Física divertida. Brasília: UnB, 2000 (adaptado).

QUESTÃO 5

No esquema da figura 1a, que será utilizado pelo professor para a aula experimental demonstrativa, o feixe de laser incidirá sobre um fio de cabelo antes de atingir o anteparo à frente. Que figura luminosa será projetada no anteparo após o laser passar pelo fio?

- A) Nenhuma, pois o fio de cabelo impedirá a passagem do feixe de laser.
- B) Um ponto luminoso bem no meio do anteparo, uma vez que a luz do laser contornará o fio.
- C) Vários pontos luminosos distribuídos uniformemente pelo anteparo, devido ao espalhamento sofrido pelo feixe de laser ao incidir sobre o fio.
- D) Uma sequência, na horizontal, de pontos claros uniformemente espaçados, com o ponto mais luminoso ao centro, uma vez que a luz do laser contornará o fio.

QUESTÃO 6

No esquema da figura 1b, que será utilizado pelo professor para a aula experimental demonstrativa, o feixe de laser incidirá sobre uma fenda única antes de atingir o anteparo à frente. Que figura luminosa será projetada no anteparo após o laser passar pela fenda?

- A) Uma linha clara e vertical bem no meio do anteparo, uma vez que a luz do laser passará direto pela fenda.
- B) Uma linha vertical, cuja intensidade luminosa irá aumentar gradativamente das bordas para o centro, uma vez que a luz irá se curvar nas extremidades da fenda, sofrendo interferência.
- C) Várias linhas luminosas distribuídas uniformemente pelo anteparo, devido ao espalhamento sofrido pelo feixe de laser ao incidir e atravessar a fenda.
- D) Nenhuma, pois a fenda terá uma abertura muito pequena, não sendo o suficiente para a luz do laser passar.

QUESTÃO 7

Novamente, no esquema da figura 1b, que será utilizado pelo professor para a aula experimental demonstrativa, o feixe de laser incidirá sobre uma dupla fenda antes de atingir o anteparo à frente. Que figura luminosa será projetada no anteparo após o laser passar pelas fendas?

- A) Duas linhas claras e verticais bem no meio do anteparo, com o mesmo espaçamento das fendas, uma vez que a luz do laser passará direto por ambas.
- B) Uma sequência, na horizontal, de linhas claras verticais uniformemente espaçadas, com a linha mais luminosa ao centro. E cada uma dessas linhas claras será formada por uma outra sequência de linhas claras verticais uniformemente espaçadas. Isso ocorrerá porque a luz do laser contornará as fendas.
- C) Várias duplas linhas luminosas distribuídas uniformemente pelo anteparo, devido ao espalhamento sofrido pelo feixe de laser ao incidir e atravessar as fendas.
- D) Nenhuma, pois as fendas terão aberturas muito pequenas, não sendo o suficiente para a luz do laser passar.

QUESTÃO 8

É possível determinar o diâmetro do fio de cabelo neste experimento (Figura 1a)? E a distância entre as fendas (experimento de dupla fenda – Figura 1b)? Se sim, tente explicar como.

QUESTÃO 9

Acerca do fenômeno da difração são feitas as afirmações abaixo. Marque a correta.

- A) A difração é extremamente benéfica quando se deseja ver objetos muito pequenos com um microscópio.
- B) Ondas luminosas difratam melhor ao redor de portas e janelas do que as ondas sonoras.
- C) Este fenômeno ocorre somente com ondas eletromagnéticas.
- D) Para uma melhor percepção deste fenômeno, o grau de difração deve ser dependente da relação entre o comprimento de onda e o tamanho da obstrução.

QUESTÃO 10

Acerca do fenômeno da interferência são feitas as afirmações abaixo. Marque a correta.

- A) A interferência não ocorre para todos os tipos de ondas. Ela é restrita às ondas luminosas.
- B) Em um experimento com dupla fenda (como o esquematizado na Figura 1b), para que a interferência seja perceptível, é importante usar luz monocromática.
- C) Ondas em fase, que se superpõem, produzem interferência destrutiva.
- D) O resultado da interferência de ondas depende da frequência das ondas envolvidas, mas independe de suas amplitudes.

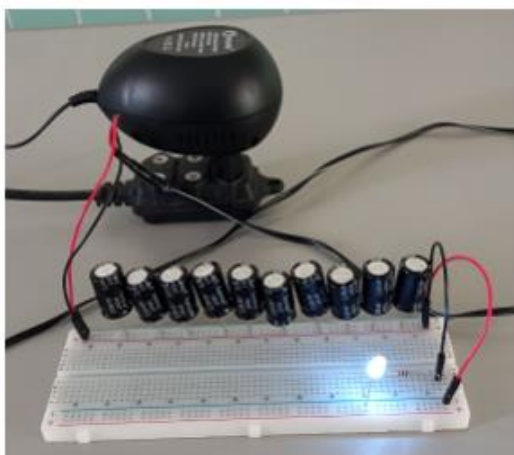
3 – Avaliação (3ª série)

ATIVIDADE: Avaliação ___-aula		DATA: __/__/2018	
ESCOLA:	ENSINO: Médio	SÉRIE: 3ª	
PROFESSOR: Hermes Júnior	DISCIPLINA: Física		
ALUNO:	Nº:	TURMA:	

Nesta avaliação você será questionado sobre o funcionamento de Capacitores, bem como sobre circuitos elétricos compostos com estes dispositivos elétricos. Você deverá recorrer aos seus conhecimentos sobre os seguintes conceitos: **Carga Elétrica, Campo Elétrico, Energia Elétrica Armazenada, Capacitor, Capacitância, Dielétrico, Tempo de Carga e Descarga de um Capacitor e Associação de Capacitores.**

Leia com atenção o texto descritivo a seguir.

Figura 1 – (a) Circuito elétrico (RC) montado para a aula sobre capacitores e (b) esquema elétrico de ligação do circuito.



(a)



(b)

O circuito elétrico com capacitores, fonte de alimentação, resistor e LED mostrado na Figura 1 será utilizado pelo professor de Física em uma aula sobre capacitores. O objetivo do professor será demonstrar na prática, para a classe de estudantes, o funcionamento destes elementos de circuito, durante a exposição teórica dos conceitos físicos envolvidos em tal situação.

Neste circuito, capacitores de capacitâncias iguais serão associados entre si a um gerador de corrente contínua, a um resistor e a um LED. O circuito será controlado por um interruptor (Ch) que fará a ligação do gerador com os demais elementos (Figura 1b).

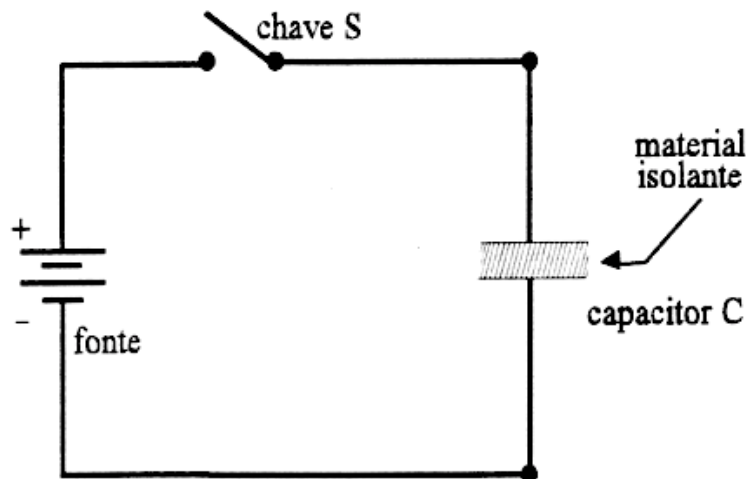
A demonstração experimental terá início quando o professor apresentar aos estudantes o circuito, já montado (Figura 1a), explicando detalhadamente como cada elemento está ligado a ele. Em seguida ele ligará o interruptor (Ch) fazendo com que os capacitores sejam eletricamente carregados e que o LED fique aceso. Após um

intervalo de tempo Δt , ele desligará o interruptor (Ch) desconectando o gerador do restante do circuito.

Com base nos seus conhecimentos de Física e imaginando tal demonstração experimental, responda às questões desta avaliação.

QUESTÃO 1

O esquema da figura abaixo, representa um **capacitor C** que pode ser ligado a uma **fonte** de energia elétrica (gerador) através de uma **chave S** (interruptor). O **capacitor C** é constituído de duas placas paralelas (armaduras) entremeadas por um **material isolante** (dielétrico). Supondo que inicialmente o **capacitor C** esteja descarregado e a **chave S** desligada, desenhe, em cada uma das placas desse capacitor, o sinal das cargas elétricas em excesso que se acumularão após a **chave S** ser ligada.



QUESTÃO 2

Quando um capacitor é carregado, os condutores (armaduras) que o constituem adquirem um excesso de cargas elétricas. Sendo assim, a **carga elétrica líquida** de um capacitor carregado

- A) é nula, pois a quantidade de portadores de carga elétrica negativa em excesso em um dos condutores é exatamente igual a quantidade de portadores de carga elétrica positiva em excesso no outro condutor.
- B) depende da quantidade de portadores de carga elétrica acumulada em cada um dos condutores, que nem sempre é igual.

C) é igual ao somatório dos módulos das cargas elétricas em excesso, acumuladas em cada um dos condutores, multiplicado pelo valor da carga elétrica elementar ($1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$).

D) é igual ao produto de sua capacitância e da diferença de potencial elétrico entre os condutores onde as cargas se acumulam.

QUESTÃO 3

O capacitor é um elemento de circuito elétrico. É possível associar a característica de um capacitor com a característica de qual outro elemento de circuito?

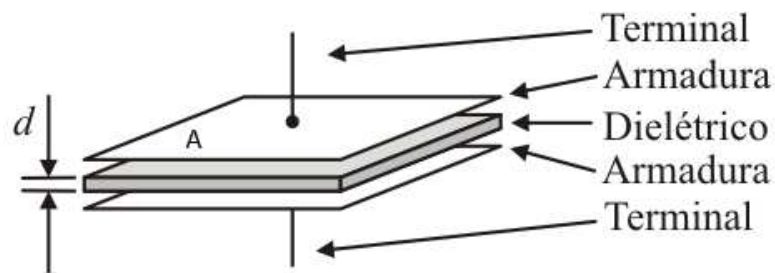
- A) Resistor.
- B) LED.
- C) Chave (interruptor).
- D) Fonte.

QUESTÃO 4

Na questão anterior você associou um capacitor a outro elemento de circuito elétrico, devido a uma semelhança no funcionamento de ambos. Responda qual a diferença entre um capacitor e o elemento que você associou a ele.

QUESTÃO 5

A figura abaixo representa, esquematicamente, um capacitor. A capacidade dele em acumular cargas elétricas é denominada **Capacitância**, cuja unidade de medida é o farad (F) ou coulomb/volt (C/V). A Capacitância de um capacitor depende, basicamente, da sua geometria, particularmente, distância entre os seus condutores (d) e a área dos condutores (A). Depende também da constante dielétrica (permissividade elétrica) do material isolante colocado entre os condutores, cujo valor para o vácuo é $8,85 \times 10^{-12} \text{ F/m}$.



Sendo assim, podemos afirmar corretamente que

- A) o valor da Capacitância varia diretamente com d e A , e inversamente com a constante dielétrica.
- B) o valor da Capacitância varia inversamente com d e A , e diretamente com a constante dielétrica.
- C) o valor da Capacitância varia inversamente com A e a constante dielétrica, e diretamente com d .
- D) o valor da Capacitância varia diretamente com A e a constante dielétrica, e inversamente com d .

QUESTÃO 6

Em relação às características de funcionamento de um capacitor são feitas as seguintes afirmações:

- I. Um capacitor armazena energia eletrostática.
- II. Capacitores consomem energia do circuito no qual estão inseridos.
- III. Um capacitor totalmente carregado comporta-se como um circuito aberto.
- IV. Curto circuitando capacitores carregados, descarregamos os mesmos.

Marque a alternativa que contém as afirmações corretas.

- A) I e II.
- B) I, III e IV.
- C) III e IV.
- D) I, II, III e IV.

QUESTÃO 7

Qual é a função de um capacitor em um circuito elétrico?

QUESTÃO 8

No esquema do circuito elétrico que será utilizado pelo professor para a aula experimental demonstrativa (Figura 1b), há uma associação de 10 capacitores. Supondo que o valor da capacitância de cada capacitor seja de $1000 \mu\text{F}$ e que a ddp nos terminais do gerador seja de 12 V , calcule a energia eletrostática que será armazenada nesta associação, após os capacitores estiverem totalmente carregados.

QUESTÃO 9

No esquema do circuito elétrico que será utilizado pelo professor para a aula experimental demonstrativa (Figura 1b), há uma associação de capacitores. Marque a alternativa que apresenta corretamente o tipo de associação apresentado e a maneira de calcular a capacitância equivalente a essa associação.

- A) () associação em série; $C_t = C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + C_5 + C_6 + C_7 + C_8 + C_9 + C_{10}$.
- B) () associação em paralelo; $\frac{1}{C_t} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \frac{1}{C_4} + \frac{1}{C_5} + \frac{1}{C_6} + \frac{1}{C_7} + \frac{1}{C_8} + \frac{1}{C_9} + \frac{1}{C_{10}}$.
- C) () associação em paralelo; $C_t = C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + C_5 + C_6 + C_7 + C_8 + C_9 + C_{10}$.
- D) () associação em série; $\frac{1}{C_t} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \frac{1}{C_4} + \frac{1}{C_5} + \frac{1}{C_6} + \frac{1}{C_7} + \frac{1}{C_8} + \frac{1}{C_9} + \frac{1}{C_{10}}$.

QUESTÃO 10

A parte final do texto descritivo da atividade experimental demonstrativa, que o professor irá realizar na aula sobre capacitores, está escrito: “Em seguida ele ligará o interruptor (Ch) fazendo com que os capacitores sejam eletricamente carregados e que o LED fique aceso. Após um intervalo de tempo Δt , ele desligará o interruptor (Ch) desconectando o gerador do restante do circuito.”

Desta forma, após desligar o interruptor (Ch), o LED

- A) se apagará instantaneamente, pois a ddp sobre os seus terminais será nula assim que o gerador for desconectado do circuito.
- B) permanecerá aceso ininterruptamente, pois a ddp sobre os seus terminais não se anulará em momento algum, enquanto estiver conectado à associação de capacitores.
- C) permanecerá aceso por um determinado intervalo de tempo, sendo que seu brilho irá diminuir aos poucos até se apagar completamente. Isso ocorrerá porque a ddp em seus terminais irá diminuir lentamente, obedecendo uma função exponencial no tempo.
- D) permanecerá aceso por um determinado intervalo de tempo, sendo que seu brilho irá aumentar consideravelmente, até se apagar de forma instantânea. Isso ocorrerá porque a ddp em seus terminais irá aumentar muito, devido a associação de capacitores que descarregará toda a energia eletrostática armazenada no LED.

APÊNDICE B - Produto Educacional



UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA
DEPARTAMENTO DE FÍSICA – CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

PRODUTO EDUCACIONAL

USO DE DEMONSTRAÇÕES EXPERIMENTAIS NO ENSINO DE FÍSICA E A AVALIAÇÃO DOS BENEFÍCIOS

Produto Educacional apresentado à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, para a obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Orientador: Eduardo Nery Duarte de Araújo.

APRESENTAÇÃO

Este material trata-se de um produto educacional, fruto de um trabalho desenvolvido com estudantes da 1ª à 3ª série do ensino médio, e tem como objetivo principal servir de suporte para os professores de Física que desejam aplicar um método de ensino diferente, baseado em demonstrações experimentais a serem desenvolvidas em sala de aula, durante as explicações dos conteúdos do planejamento escolar anual desta disciplina. Com o instrumento de ensino proposto aqui, os alunos poderão aprender de forma clara e aplicada os conceitos envolvidos nos temas estudados.

Aqui, o professor encontrará orientações para a execução de uma sequência de aulas, que visa favorecer o aprendizado dos estudantes, envolvendo-os na discussão do que lhes é transmitido, de forma ativa e interativa. Por este método, o estudante será instigado a observar com atenção os fenômenos, fazer suas previsões, interagir com os colegas nas discussões dos questionamentos feitos pelo professor e encontrar respostas para situações do cotidiano por meio da visualização dos experimentos executados. Ao final do desenvolvimento das aulas de aplicação do método, o professor deverá fazer o fechamento do assunto abordado, concluindo e explicando os conceitos com base nas discussões e nas respostas dos estudantes.

O professor ainda contará com um ambiente virtual, onde poderá ter acesso aos experimentos já criados e disponíveis para requisição – caso estiver próximo à localidade onde são acondicionados; também poderá obter informações sobre como montar alguns aparatos experimentais, apropriados para o ensino de alguns conteúdos e seus conceitos, quando os materiais necessários para este fim forem de baixo custo ou fácil obtenção. Os experimentos disponíveis neste ambiente virtual, estarão acompanhados de roteiros explicativos com o objetivo de auxiliar o professor no desenvolvimento das atividades.

Na parte complementar deste produto educacional, é apresentado um modelo de avaliação pré-aula para cada série do ensino médio, que deve ser aplicada antes do desenvolvimento do método, com o objetivo de investigar o conhecimento do estudante sobre o conteúdo que será trabalhado, ou seja, verificar os seus conhecimentos prévios.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	158
2. PROPOSTA DE UMA METODOLOGIA ATIVA PARA O ENSINO DE FÍSICA BASEADA EM DEMONSTRAÇÕES EXPERIMENTAIS EM SALA DE AULA	161
2.1. A avaliação pré-aula	162
2.2. A demonstração experimental em sala de aula	163
2.2.1. Exemplo de uma demonstração experimental para a 1ª série do ensino médio	164
2.2.2. Exemplo de uma demonstração experimental para a 2ª série do ensino médio	168
2.2.3. Exemplo de uma demonstração experimental para a 3ª série do ensino médio	172
2.3. Ambiente virtual: Sala de Apoio ao Ensino de Física	176
3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	177
APÊNDICE DO PRODUTO	180

1. INTRODUÇÃO

Ensinar Física é uma atividade complexa, pois exige: domínio de conteúdo, capacidade de criar aulas atrativas e eficientes, persistência e acima de tudo imaginação e criatividade. É de longa data que o ensino dessa disciplina enfrenta dificuldades e problemas endêmicos, que o afetam e trazem consequências preocupantes como, por exemplo, a baixa motivação encontrada por estudantes em estudar e compreender corretamente os seus conceitos. Neto e Pacheco (apud Nardi 1998) demonstram que um dos motivos que contribuem para essa situação é a forma como se abordam temas da Física na maior parte das nossas instituições de ensino básico, com aulas que investem apenas na apresentação teórica de conceitos, conjuntos de leis e fórmulas, e resolução de exercícios com um caráter preparatório para os exames admissionais do ensino superior. Nesse trabalho, o professor encontrará uma proposta metodológica diferenciada, que visa dinamizar o ensino através do desenvolvimento de demonstrações experimentais para serem utilizadas em sala de aula.

Esse material propõe o ensino de Física de forma que haja uma conexão entre os conceitos físicos envolvidos e os fenômenos observáveis e não observáveis no dia a dia dos estudantes. As demonstrações propostas aqui, podem contribuir significativamente para a aprendizagem dos alunos, além de favorecer o desenvolvimento profissional dos professores (SHARMA *et al.*, 2010).

A fundamentação teórica que norteia a metodologia proposta aqui é baseada nas ideias de dois importantes pensadores da educação: Piaget e Vygotsky, que produziram saberes e discussões sobre a forma de ensinar sustentada pela compreensão de como o conhecimento científico é importante na formação do indivíduo. Do trabalho de Piaget nasce a ideia de provocar conflitos cognitivos no pensamento do estudante, na interação deste com o objeto concreto, enquanto que Vygotsky destaca a importância de uma interação social entre o aluno e o professor, em que este é o sujeito mais capaz de conduzir o processo de aprendizagem.

Nessa perspectiva Gaspar e Monteiro (2005, p. 232) destacam que:

“A atividade de demonstração experimental em sala de aula, particularmente quando relacionada a conteúdos de Física, apesar de fundamentar-se em conceitos científicos, formais e abstratos, tem por singularidade própria a ênfase no elemento real, no que é diretamente observável e, sobretudo, na possibilidade simular no microcosmo formal

da sala de aula a realidade informal vivida pela criança no seu mundo exterior. Grande parte das concepções espontâneas, senão todas, que a criança adquire resultam das experiências por ela vividas no dia a dia, mas essas experiências só adquirem sentido quando ela as compartilha com adultos ou parceiros mais capazes, pois são eles que transmitem a essa criança os significados e explicações atribuídos a essas experiências no universo sociocultural em que vivem.”

Em aulas teóricas que se adotam atividades experimentais demonstrativas, o envolvimento do estudante é notavelmente maior. Ele arrisca previsões, opta por diferentes possibilidades, opina sobre procedimentos etc. As aulas são dinâmicas e os alunos raramente apresentam atitude passiva, de simples ouvintes de um discurso pronto e orientado, como durante as aulas de pura exposição de conceitos e teorias.

“Quando o professor leva para a classe um determinado material ou equipamento de demonstração é pouco provável que seus alunos saibam o que ele vai fazer com aquele material ou como funciona aquele equipamento. Mas é bem provável que o aluno faça suposições ou previsões em relação ao que será apresentado. Em outras palavras, é bem provável que cada aluno crie a sua definição de situação, que dificilmente vai ser a mesma do professor.” (GASPAR; MONTEIRO, 2005, p. 246).

Mas para que essa dinâmica funcione, o professor deve previamente elaborar as ações que serão desenvolvidas, além de estar muito bem embasado e preparado para a condução das atividades, proporcionando uma forma mais efetiva e mais colaborativa na maneira do estudante elevar sua compreensão conceitual sobre o assunto ensinado. Para Vygotsky a colaboração está vinculada à imitação e nesse sentido o professor tem um papel fundamental na interação com os estudantes durante o desenvolvimento de tarefas. Gaspar e Monteiro (2005), interpretam que o destaque dado por Vygotsky ao professor, de certa forma valoriza a atividade de demonstração em sala de aula, no sentido de que, sendo o professor o parceiro mais capaz a ser imitado no processo, torna-o responsável pelo planejamento eficaz da atividade. Cabendo a ele adaptar, montar, realizar a demonstração, destacar o que de importante deve ser explorado e fazer a ligação entre o fenômeno observado e o modelo teórico estabelecido a ele associado, de forma a possibilitar a compreensão dos conceitos abordados.

A pedagogia das experiências demonstrativas, inspiradas na teoria de Vygotsky, pode ser baseada em quatro critérios – estar ao alcance da zona de

desenvolvimento proximal do educando, garantir a presença do educador como parceiro mais capaz, garantir o compartilhamento das questões propostas e dos resultados pretendidos e garantir a adequação da linguagem utilizada.

Desta forma, o ato de planejar e adaptar uma demonstração experimental para a aula de um determinado conteúdo, deve considerar os conhecimentos prévios dos alunos, trabalhando a partir destes; estimular as potencialidades, possibilitando que o estudante supere suas capacidades; ir além ao seu desenvolvimento e aprendizado. Para que o professor desenvolva um bom trabalho é necessário que ele conheça seu aluno, suas descobertas, hipóteses, crenças, opiniões, desenvolver diálogo e criar situações em que o aluno possa expor aquilo que sabe (COELHO; PISONI, 2007, p. 150).

Em resumo, do ponto de vista vygotskiano, toda aula em que se apresenta uma atividade experimental que proporcione as condições descritas anteriormente é eficiente, seja ela uma atividade demonstrativa realizada pelo professor, por um aluno ou grupo de alunos para o restante da turma, seja uma atividade realizada em pequenos grupos e simultaneamente por todos.

2. PROPOSTA DE UMA METODOLOGIA ATIVA PARA O ENSINO DE FÍSICA BASEADA EM DEMONSTRAÇÕES EXPERIMENTAIS EM SALA DE AULA

Apresentamos aqui a proposta de um recurso metodológico para o ensino de Física, que tem como objetivo estimular o interesse e a participação dos estudantes, por meio de demonstrações experimentais realizadas em sala de aula, durante a explicação do conteúdo planejado. Nesta proposta, o estudante é instigado pelo professor a opinar sobre os conceitos abordados, visando a aproximação deste com o objeto de estudo, tendo a sua frente um aparato experimental. Tal postura, cria nos alunos uma expectativa que o faz ficar atento à realização da experiência, no intuito de verificar se suas hipóteses se confirmam ou não. Esta metodologia diferencia-se do ensino tradicional, no qual os alunos são meros espectadores do discurso conteudista do professor, preocupado apenas em expor os conjuntos de leis e teoremas, bem como a resolução massiva de exercícios de aplicação de fórmulas prontas. Em uma postura mais participativa, os alunos têm a possibilidade de construir o próprio conhecimento.

Para que ocorra, em sala de aula, mudança na postura dos estudantes durante as aulas, é importante que o professor também se reinvente. Por isso torna-se necessário que ele planeje uma aula atrativa e interativa, utilizando aparatos experimentais simples, que possibilite e viabilize a participação efetiva dos estudantes na dinâmica da aula, ou seja, que o professor saia do papel de simples expositor de conteúdos e assuma a mediação entre o aluno e o conhecimento.

A aplicação da metodologia proposta consiste em uma sequência de quatro aulas, cada uma com duração mínima de 45 minutos, nas quais as atividades se distribuem da seguinte forma:

Aula 1 – aplicação da avaliação pré-aula.

Aula 2 – primeira apresentação da demonstração experimental.

Aula 3 – segunda apresentação da demonstração experimental.

Aula 4 – discussão dos resultados.

Os aparatos experimentais utilizados nas demonstrações dos fenômenos, devem ser de fácil aquisição e baixo valor comercial, ou então, devem ser construídos pelo próprio professor, utilizando materiais facilmente encontrados, como madeira, garrafas, fios e cordas, pilhas, fios elétricos, sucata de oficinas ou qualquer material

reciclável que for útil. Os aparatos experimentais utilizados na elaboração deste trabalho, foram criados pelo próprio autor, que os acondicionou em uma sala reservada em sua escola de atuação. Para a visualização destes aparatos foi criado um site, no qual futuramente será possível a requisição destes aparatos por outros professores que se interessarem em aplicar este produto educacional.

2.1 A avaliação pré-aula

A avaliação pré-aula é composta por questões objetivas e questões discursivas. Ela tem por finalidade investigar a compreensão conceitual do aluno sobre o conteúdo que será abordado, de forma a nortear o planejamento das aulas.

A elaboração desta avaliação deve ser bem criteriosa, apresentando questões objetivas e discursivas. Deve-se priorizar questões conceituais, pois o objetivo é verificar os conhecimentos prévios dos estudantes em relação aos conceitos e fenômenos, não se eles sabem resolver exercícios quantitativos com fórmulas decoradas. Deve-se evitar uso de apenas questões objetivas, para diminuir a quantidade de resultados distorcidos, gerados por respostas aleatórias (“chutes”). As questões objetivas devem ter apenas uma opção de resposta e não serem associativas e nem somativas. Em uma ou em algumas questões discursivas pode-se cobrar algum raciocínio matemático simples, visando medir a capacidade do aluno em associar o fenômeno a alguma representação matemática.

A aplicação da avaliação deve ser feita antes de se introduzir o conteúdo que será ministrado concomitante à demonstração experimental, por exemplo, se o professor planejar uma aula para o ensino do conceito de Calor, a avaliação pré-aula deverá ser aplicada em uma aula qualquer anterior a esta.

Como o objetivo desta avaliação é extrair informações sobre os conhecimentos prévios e espontâneos dos estudantes, o ideal é que ela seja aplicada sem que estes tenham conhecimento do seu conteúdo, evitando que estudem na véspera. Também, deve-se tomar o cuidado para evitar a comunicação entre os estudantes durante a sua aplicação, pois caso os resultados das avaliações sejam todos iguais, as deficiências conceituais de alguns podem ficar mascaradas, comprometendo a eficiência do método.

Deve-se evitar inserir o resultado da avaliação pré-aula no sistema de pontuação da disciplina, pois a quantidade de acertos nela possivelmente será baixa,

além de que, pedagogicamente esta avaliação não se encaixa no perfil de uma prova padrão, pois ela não verifica o que o estudante aprendeu e sim o que ele sabe previamente.

Por fim, orienta-se fazer a correção da avaliação pré-aula antes de se desenvolver as aulas de aplicação do método, pois o planejamento destas deverá ser norteado pelos resultados obtidos, visando identificar os equívocos conceituais dos estudantes, relativos ao conteúdo programado.

2.2 A demonstração experimental em sala de aula

A demonstração experimental é o ponto culminante desta proposta metodológica. Ela tem como principal objetivo, demonstrar o fenômeno associado ao conteúdo no momento em que está sendo estudado. Dessa forma, o estudante tem a oportunidade de confrontar os seus conhecimentos prévios e espontâneos, com aquilo que concretamente ocorre na natureza. Neste momento, cria-se se no pensamento dele uma reorganização por assimilação das estruturas cognitivas, proporcionado uma ocasião de aprendizagem significativa que fica marcado em sua memória.

Esta atividade deve ser muito bem planejada e estruturada, evitando falhas ou mau funcionamento dos aparatos experimentais, para não provocar interpretações equivocados e imprecisas dos fatos e fenômenos. O professor que irá coordenar a experiência precisa ter habilidade suficiente para contornar os possíveis imprevistos durante a apresentação.

Deve-se evitar o uso de aparatos grandes e pesados, pois podem ser de difícil transporte ou manuseio. O ideal é que esses dispositivos sejam de fácil deslocamento e montados previamente, evitando perder tempo em aula com a sua preparação.

No início da aula, antes de começar a demonstração experimental, o professor deve provocar os estudantes com questionamentos sobre suas expectativas em torno do experimento e fazer o levantamento de ideias e hipóteses. Todas as repostas obtidas devem ser anotadas no quadro, para que durante o desenvolvimento da aula os alunos possam associar o que estão visualizando com aquilo que propuseram no princípio, tirando as suas próprias conclusões.

Durante a apresentação, recomenda-se que somente o professor manuseie o aparato experimental, orientando os alunos a permanecerem afastados, de preferência sentados, para que todos tenham a perfeita visão dos acontecimentos.

Como são planejadas duas aulas para o desenvolvimento da atividade, o ideal é que na primeira se explore bem o experimento, interagindo com os estudantes através das ideias expostas por eles, e que na segunda se repita a demonstração experimental apresentado o modelo teórico e matemático que descreve o fenômeno observado. Uma ação importante é, ao final da segunda aula, reservar um tempo para os alunos poderem manusear e “brincar” com o aparato experimental.

2.2.1 Exemplo de uma demonstração experimental para a 1ª série do ensino médio

Estudo de uma colisão elástica gerando um lançamento horizontal

- **O que trabalhar?**

Força, trabalho, energia mecânica, conservação da energia mecânica, quantidade de movimento, conservação da quantidade de movimento, impulso e movimento em duas dimensões.

- **Como abordar?**

Com o auxílio de um aparato experimental demonstrativo, fazer com que o aluno compreenda as propriedades e processos envolvidos em uma colisão entre corpos de um sistema, bem como a composição de um movimento bidimensional (movimento de projéteis).

- **Como elaborar a avaliação pré-aula?**

Modelo disponível no anexo deste produto.

- **Descrição**

Quando uma bola rígida em movimento colide com uma outra, também rígida, de mesma massa, mas em repouso em relação ao mesmo referencial, ocorre transferência de energia mecânica por realização de trabalho e também de quantidade de movimento por aplicação de impulso, da bola em movimento para a bola em repouso. Neste caso, tanto a energia mecânica do sistema quanto a quantidade de movimento se conservam. Nestas situações deve-se compreender que um corpo não transfere força e nem impulso, pois ambas as grandezas físicas não podem ser armazenadas nos corpos.

Nesta atividade, quando a bola que estava em repouso antes da colisão, adquire movimento, após o contato da outra, ela descreve um movimento curvilíneo que deve ser analisado em duas dimensões, sendo que na horizontal pode se considerar o movimento como constante e na vertical uniformemente variado.

Matematicamente, pode-se relacionar o alcance horizontal x da bola que adquiriu movimento após a colisão, com a altura H da bola que transferiu energia para ela, pela seguinte relação:

$$X = 2 \cdot \sqrt{H \cdot L \cdot (1 - \cos \theta)}$$

Onde cada termo da expressão está demonstrado no seguinte esquema do aparato experimental:

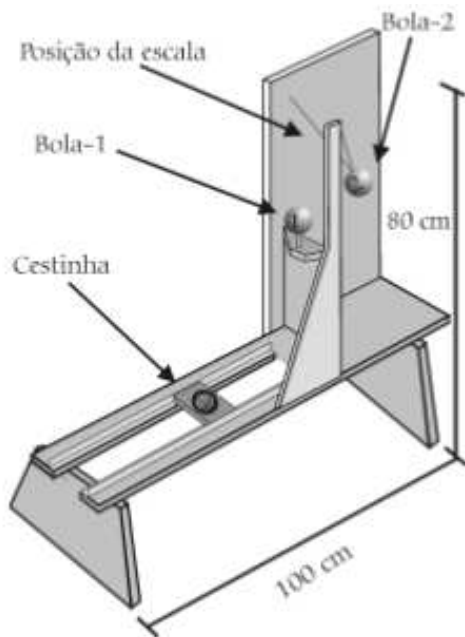


Figura 1a - Esquema do aparato experimental.

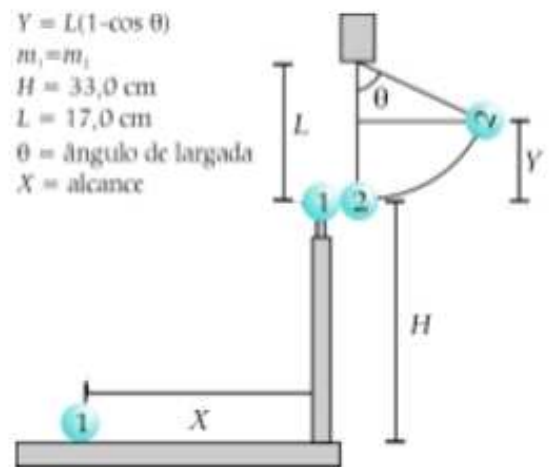
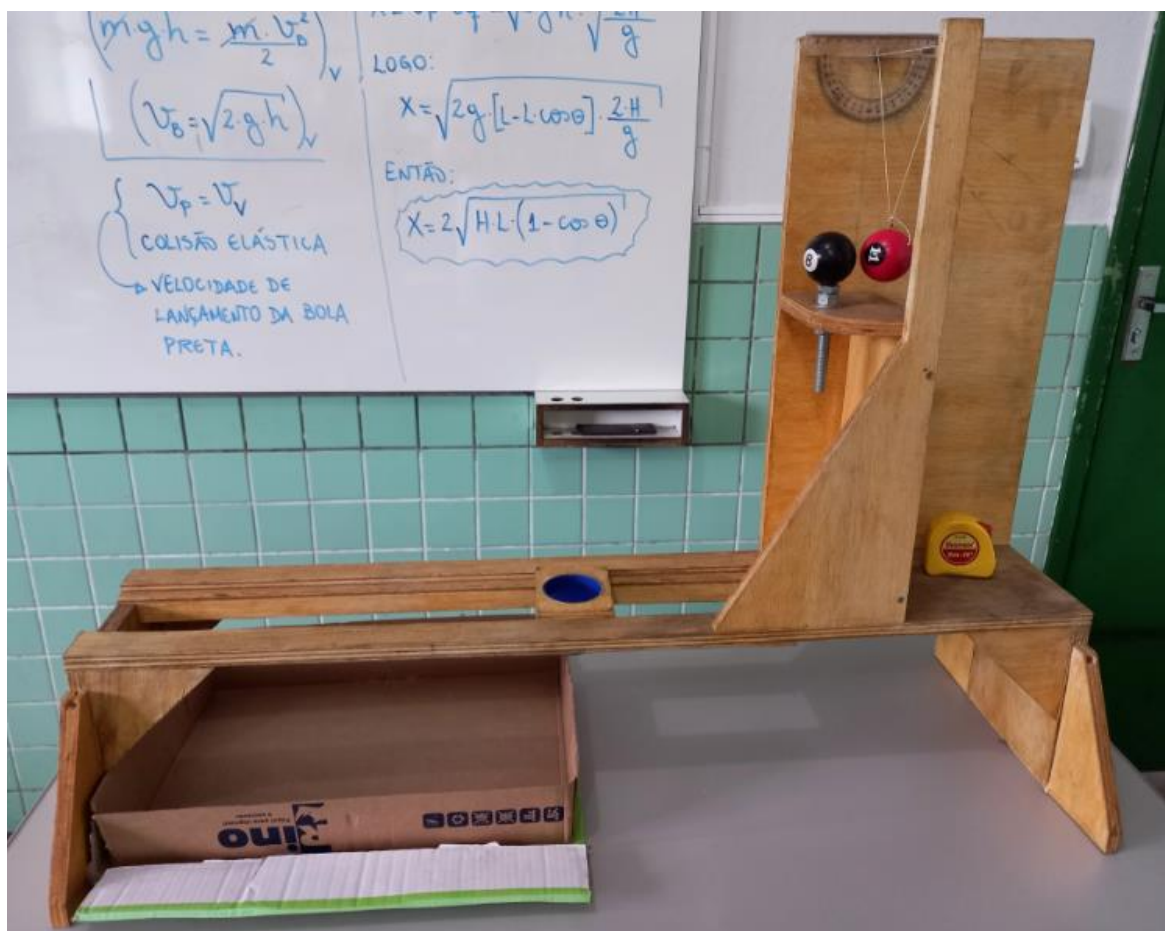


Figura 1b - Modelo para a descrição experimental.

Fonte: Adaptado de <<http://www.sbfisica.org.br/fne/Vol6/Num2/a08.pdf>> - Acesso em: 11 de fev. de 2021.

• Ações durante a aula

O aparato experimental mostrado na figura abaixo, o qual é utilizado na aula desta atividade demonstrativa, foi adaptado e construído pelo autor deste produto educacional. Para a sua construção foram utilizados os seguintes materiais: sobras de chapa de MDF utilizadas em carpintaria, pregos, parafusos, cola para madeira, bolas de sinuca usadas, linha de pesca, copo plástico, transferidos e trena.



Fonte: Acervo próprio.

Neste aparato, a **bola 1 (preta)** está inicialmente em repouso sobre um pino e encostada em uma bola de mesma massa, **bola 2 (vermelha)**, que se encontra em repouso presa a um fio de massa desprezível esticado na vertical.

A demonstração experimental se inicia quando o professor puxa, com uma das mãos, a **bola 2** até uma posição angular θ , em relação a um eixo vertical coincidente com a posição inicial do fio, e uma altura Y em relação a um eixo horizontal que passa pela posição inicial das bolas. Em seguida ele libera a **bola 2**, que inicia um movimento de descida até colidir com a **bola 1**, que, após um intervalo de tempo Δt colide com a

base do aparato, a uma distância X (posição da cestinha coletora) da haste vertical que contém o pino da posição inicial desta bola.

• **Questões para discutir**

- 1 – As bolas 1 e 2 armazenam força ou energia?
- 2 – Antes da colisão, quais são as forças que atuam nas bolas 1 e 2?
- 3 – Imediatamente antes da colisão a bola 2 possui força ou quantidade de movimento?
- 4 – Durante a colisão, a bola 2 aplica força na bola 1 e a bola 1 aplica força na bola 2?
- 5 – Durante a colisão, a bola 2 transfere trabalho ou energia para a bola 1?
- 6 – O movimento da bola 1, após a colisão, descreve que tipo de curva?
- 7 – É possível determinar a distância X , que a bola 1 percorre, em função do ângulo de largada θ da bola 2?

• **Sugestões para o professor**

- ✓ O aluno deve saber que a energia inicial da bola 2 foi se convertendo, ao longo do movimento (antes, durante e após a colisão), em outras modalidades de energia. Que massa, energia e quantidade de movimento são propriedades do sistema, enquanto que força e impulso são os agentes capazes de alterar o estado de repouso ou de movimento uniforme deste sistema e que trabalho é um processo de transformação ou transferência de energia, por aplicação de força que produz deslocamento.
- ✓ Esta atividade experimental demonstrativa ilustra muito bem a conservação da energia, a conservação da quantidade de movimento e o movimento parabólico após o lançamento horizontal.
- ✓ Esclareça bem sobre a composição do movimento curvilíneo descrito pela bola 1, que é a combinação de um movimento horizontal constante e um vertical variado.
- ✓ Faça os alunos entenderem que o ângulo de largada θ da bola 2 influencia na distância X percorrida pela bola 1. Divida a turma em grupos, sugira que cada grupo escolha um ângulo de largada θ e que então façam o cálculo da distância X . Com estes dados eles devem manusear o aparato, posicionando a cestinha coletora na posição calculada, para confirmar a previsão matemática.

2.2.2 Exemplo de uma demonstração experimental para a 2ª série do ensino médio

Determinando o diâmetro de um fio de cabelo pela difração da luz

- **O que trabalhar?**

A natureza ondulatória da luz, princípio de Huygens, difração e interferência luminosa.

- **Como abordar?**

Com o auxílio de um aparato experimental demonstrativo, fazer com que o aluno compreenda as propriedades ondulatórias e os fenômenos da difração e da interferência da luz.

- **Como elaborar o teste diagnóstico?**

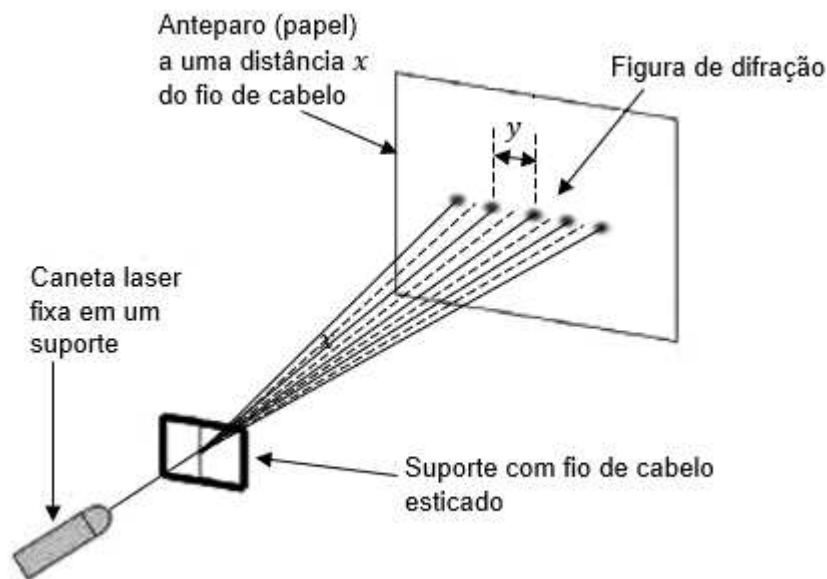
Modelo disponível no anexo deste produto.

- **Descrição**

Assim como as ondas mecânicas, a luz também pode sofrer difração, embora seja difícil observarmos este fenômeno com a mesma facilidade que em ondas na água ou em ondas sonoras. Para entender a difração luminosa, veja o seguinte exemplo: considere uma pequena fenda, de largura a , em uma placa retangular opaca, iluminada por um feixe paralelo de luz monocromática. Segundo a lei da propagação retilínea da luz, estudada em óptica geométrica, o feixe transmitido através da fenda seria um paralelepípedo, e formaria uma imagem brilhante idêntica à fenda num anteparo de observação; fora desta região, a escuridão seria completa (sombra geométrica). De fato, esta é a imagem que se observa quando a largura da fenda tem dimensões bem superiores às do comprimento de onda do feixe incidente, ou seja, $\lambda \ll a$. Mas quando a fenda é muito pequena, com dimensões aproximadas às do comprimento de onda ($\lambda \approx a$), e a distância até o anteparo de observação é suficientemente grande, verifica-se que a luz penetra na região de sombra geométrica, com o aparecimento de franjas claras e escuras na vizinhança do limite da sombra.

Da mesma forma que para a pequena fenda, a difração da luz também é observada em pequenos obstáculos, desde que o formato e as dimensões destes sejam iguais.

Nesta atividade quando a luz de um laser passa por um fio de cabelo, ocorre o espalhamento do feixe luminoso por difração e no anteparo formam-se franjas claras e escuras, como consequência da interferência das frentes de onda, devido a este espalhamento, como mostra a figura abaixo.



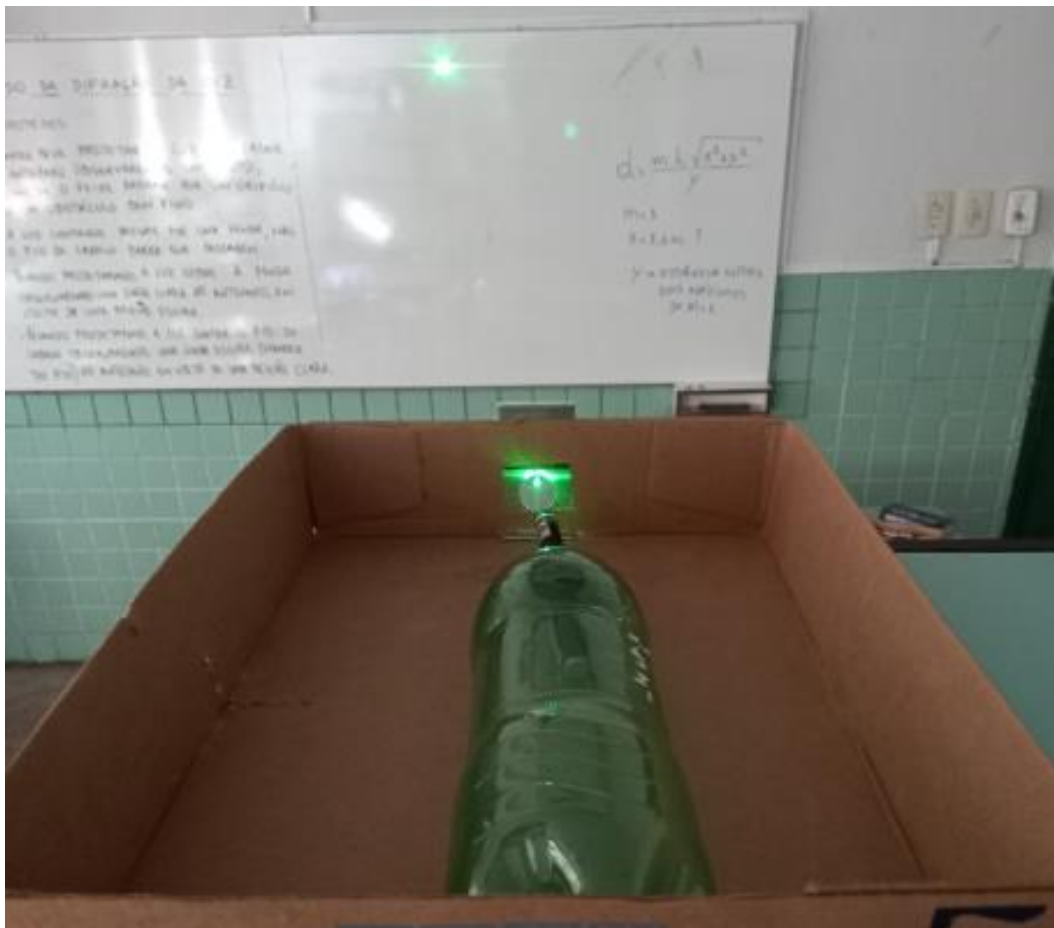
Fonte: Adaptado de < https://www.if.ufrj.br/~pef/provas_antigas/2009/fase2_prova_fisica.pdf>. Acesso em: 22 de janeiro de 2021.

A partir deste esquema é possível, matematicamente, relacionar o diâmetro d do fio de cabelo ao comprimento de onda λ do laser, à distância y entre o primeiro máximo e o máximo central e à distância x entre o fio e o anteparo, pela seguinte expressão:

$$d = \frac{m \cdot \lambda \cdot \sqrt{x^2 + y^2}}{y}$$

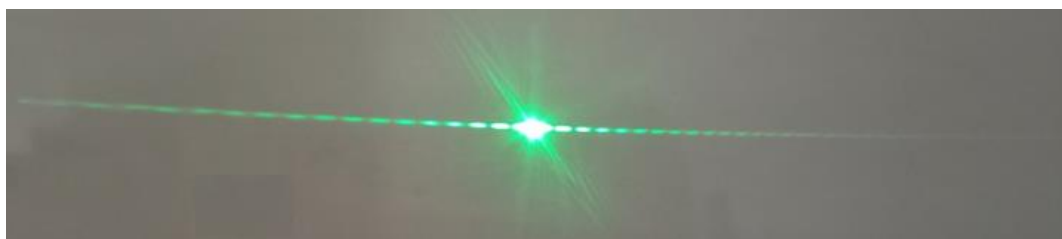
- **Ações durante a aula**

O aparato experimental mostrado na figura abaixo, o qual é utilizado na aula desta atividade demonstrativa, foi construído com os seguintes materiais: suporte metálico, estilete, fio de cabelo, lâmina de barbear, caneta laser verde, fita adesiva, garrafa pet cortada, 1 régua e 1 trena.



Fonte: Acervo próprio.

Figura de difração obtida pela passagem do feixe de laser verde pelo fio de cabelo.



Fonte: Acervo próprio.

Este aparato é utilizado para demonstrar aos alunos o comportamento de um feixe de laser ao passar por alguns obstáculos (fio de cabelo, fenda simples e dupla fenda), antes de atingir um anteparo (tela, quadro, parede, etc.), durante a exposição teórica dos conceitos físicos envolvidos em tal situação.

A demonstração experimental tem início quando o professor posiciona e ajusta o feixe de laser de maneira a incidir sobre cada um dos obstáculos mencionados no parágrafo anterior, primeiramente sobre a fenda simples, depois sobre a fenda dupla e por último sobre o fio de cabelo, do qual se quer determinar o diâmetro. Em seguida procedesse com a medida da distância x , com o auxílio da trena, e da distância y , através da régua, para então realizar o cálculo que determina o diâmetro do fio de cabelo.

• **Questões para discutir**

- 1 – Como a luz pode sofrer difração e interferência, que são fenômenos característicos de ondas, ela tem um comportamento exclusivamente ondulatório?
- 2 – O que é o fenômeno da difração da luz?
- 3 – A difração é um fenômeno que ocorre somente com as ondas eletromagnéticas?
- 4 – O que é o fenômeno da interferência?
- 5 – Após a luz do laser incidir sobre o fio de cabelo figura luminosa será projetada no anteparo?
- 6 – É possível determinar o diâmetro do fio de cabelo neste experimento?

• **Sugestões para o professor**

- ✓ Para que o aluno compreenda muito bem as condições para que ocorra a difração da luz, faça o feixe de laser passar por aberturas mais largas e vá diminuindo até que a difração comece a ficar perceptível.
- ✓ Esta demonstração experimental ilustra muito bem a fenômeno da difração da luz e da interferência das ondas produzidas pelas pequenas fontes secundárias. Dessa forma, é importante apresentar o modelo ondulatório de Christiaan Huygens.
- ✓ Para confirmar se o valor encontrado para o diâmetro do fio de cabelo, através do cálculo utilizado nesta atividade, está correto, meça a espessura do fio com o auxílio de um micrômetro e determine o erro percentual.

2.2.3 Exemplo de uma demonstração experimental para a 3ª série do ensino médio

Estudo de um circuito elétrico simples com capacitores (RC)

- **O que trabalhar?**

Carga Elétrica, Campo Elétrico, Energia Elétrica Armazenada, Capacitor, Capacitância, Dielétrico, Tempo de Carga e Descarga de um Capacitor e Associação de Capacitores.

- **Como abordar?**

Com o auxílio de um aparato experimental demonstrativo, fazer com que o aluno compreenda as propriedades de um capacitor, bem como o seu funcionamento em um circuito resistor-capacitor (RC).

- **Como elaborar o teste diagnóstico?**

Modelo disponível no anexo deste produto.

- **Descrição**

Capacitores são dispositivos capazes de acumular cargas elétricas quando seus terminais ficam submetidos a uma diferença de potencial elétrico (ddp), resultando em uma quantidade de energia elétrica armazenada, associada ao posicionamento dessas cargas. São constituídos por pares de materiais condutores, chamados de armaduras ou de placas, entre os quais são inseridos dielétricos (materiais isolantes), que impedem o contato entre eles.

Quando um capacitor é ligado a uma fonte de eletricidade seus condutores ficam eletricamente carregados, ou seja, uma de suas armaduras fica com uma quantidade de elétrons em excesso, enquanto a outra fica em falta na mesma quantidade. Totalmente carregado, o capacitor apresenta entre seus terminais uma ddp igual à da fonte que o carrega. Estando carregado, se conectado a algum dispositivo elétrico como um resistor, ou um indutor ou um receptor, os elétrons em excesso em uma das armaduras se deslocam para a outra, em falta destes, atravessando o dispositivo, onde a energia potencial elétrica é transformada em outra modalidade de energia, até que os potenciais elétricos das armaduras se igualem, cessando o processo e deixando o capacitor descarregado. Tanto o processo de

carga quanto o de descarga não são instantâneos, ou seja, demandam um certo tempo para ocorrerem.

Os capacitores estão muito presentes no nosso cotidiano, nas casas, no trabalho, e, muitas vezes não sabemos, ao certo, onde encontrá-los. Podemos citar algumas aplicações desses dispositivos: armazenamento de carga elétrica em sistemas de flash de máquinas fotográficas; no start de motores de portão eletrônico; sensores, como as telas “touchscreen” capacitivas; radares; osciladores; filtro de ruídos em sinais de energia elétrica; como baterias temporárias em dispositivos sonoros automotivos; laser de alta potência; aceleradores de partículas; sintonizador de rádios; em fontes de alimentação, e muitos outros exemplos.

Nesta atividade, quando se desliga a chave (ch) de um circuito com capacitores associados em paralelo entre si e em paralelo com um resistor associado em série a um LED (esquema na figura abaixo), percebe-se que a intensidade luminosa do LED vai diminuindo com o tempo em função do valor da capacitância e da resistência elétrica do circuito, até se apagar por completo, quando os capacitores ficam descarregados.



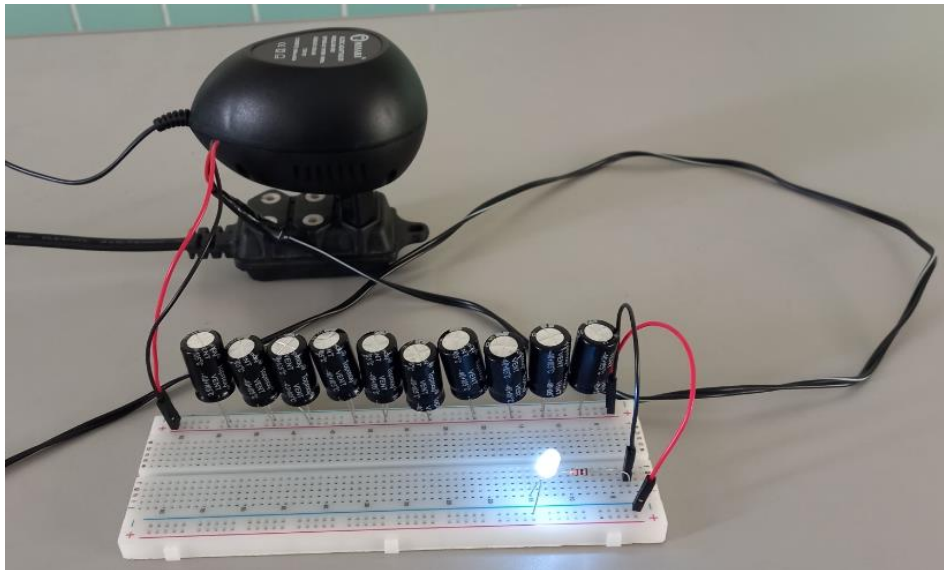
Fonte: Criado pelo autor.

É possível, matematicamente, calcular o tempo de descarga de um capacitor pela ddp em seus terminais, pois quando apenas ele fornece energia para o circuito, à medida que o tempo passa a sua ddp tende a zero, assim como a corrente no circuito, desligando o LED. A expressão para tal cálculo é a seguinte:

$$U_C(t) = U_0 \cdot e^{-\frac{t}{R \cdot C}}$$

• Ações durante a aula

O aparato experimental mostrado na figura abaixo, o qual é utilizado na aula desta atividade demonstrativa, foi construído com os seguintes materiais: 10 capacitores eletrolíticos de capacitância igual a 1 mF e máxima ddp igual a 35 V_{cc}, 1 LED de alto brilho branco de 5 mm (3,0 V_{cc} e 30 mA), 1 resistor de 1 K Ω (com 5% de tolerância e 0,25 W), 1 Protoboard 830 pontos MB-102, 1 transformador de energia elétrica (entrada 127 V_{ca} e saída 9,0 V_{cc}), 1 multímetro, fios elétricos e 1 extensão elétrica.



Fonte: Acervo próprio.

Este aparato é utilizado para demonstrar aos alunos o funcionamento de um circuito elétrico (RC) simples e como controlar o tempo de descarga dos capacitores em função da capacitância do circuito, durante a exposição teórica dos conceitos físicos envolvidos em tal situação.

Neste circuito, capacitores de capacitâncias iguais estão associados em paralelo a um gerador de corrente contínua e a uma associação em série de um resistor com um LED. O circuito é controlado por um interruptor (Ch) que faz a ligação do gerador com os demais elementos.

A demonstração experimental tem início quando o professor apresenta aos alunos o circuito, já montado, explicando detalhadamente como cada elemento está ligado a ele. Em seguida, ele liga o interruptor fazendo com que os capacitores sejam eletricamente carregados e que o LED se acenda. Após um intervalo de tempo Δt , ele desliga o interruptor desconectando o gerador do restante do circuito, então tem início

o processo de descarga dos capacitores, que continuam fornecendo energia ao circuito por um certo intervalo de tempo.

• **Questões para discutir**

- 1 – A carga elétrica líquida de um capacitor carregado é nula?
- 2 – É possível associar a característica de um capacitor a algum outro elemento de circuito?
- 3 – Qual é a diferença entre um capacitor e um gerador de eletricidade?
- 4 – Qual é a principal função do capacitor?
- 5 – Quais fatores influenciam a capacitância de um capacitor?
- 6 – Após desconectar o gerador do circuito, o LED se apaga instantaneamente?
- 7 – Variando a quantidade de capacitores na associação o tempo de descarga varia?

• **Sugestões para o professor**

- ✓ É importante fazer o aluno entender que em um capacitor carregado a carga total líquida é nula.
- ✓ Esta atividade experimental demonstrativa ilustra muito bem a influência da quantidade de capacitores na capacitância do circuito. Dessa forma, é importante apresentar o todas as características da associação em paralelo de capacitores, bem como seu funcionamento no circuito.
- ✓ O estudante deve compreender que em um gerador de eletricidade, uma determinada modalidade de energia é convertida em energia elétrica, já no capacitor esta energia é armazenada no campo elétrico entre as suas armaduras.
- ✓ Para que o aluno compreenda bem que, neste caso, o tempo de descarga dos capacitores depende da capacitância total do circuito, o ideal é repetir o experimento várias vezes com diferentes quantidades de capacitores.
- ✓ Utilize a equação da ddp em função do tempo para calcular o tempo de descarga da associação de capacitores. Depois, com o auxílio de um voltímetro, meça o tempo que leva para a ddp zerar nos terminais da associação e observe o brilho do LED.

2.3 Ambiente virtual: Sala de Apoio ao Ensino de Física

Com a intenção de auxiliar os professores que se interessarem pela aplicação deste produto educacional, foi criada a **Sala de Apoio ao Ensino de Física**, que é um site eletrônico, que permitirá a visualização dos aparatos já construídos, acompanhados de uma breve explicação do funcionamento de cada um. Ele ainda é um “embrião”, mas à medida que os aparatos experimentais forem sendo construídos, vai ocorrendo a sua atualização.

O endereço eletrônico do site é:

<https://apoioensinodefisica.wixsite.com/saefctpm>.

Futuramente, pretende-se criar na **Sala de Apoio ao Ensino de Física** uma maneira de solicitar, por agendamento, a requisição dos dispositivos por professores da escola ou de outras instituições de ensino, para que possam utilizá-los em aulas de aplicação desta metodologia.

A figura abaixo mostra a página inicial da **Sala de Apoio ao Ensino de Física**.



Apresentação

Seja bem vindo à Sala de Apoio ao Ensino de Física!

Este site tem como função alocar e disponibilizar o produto educacional produzido durante o trabalho de pesquisa, intitulado "**Uso de demonstrações experimentais no ensino de Física e a avaliação dos benefícios**", apresentado à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, para a obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Aqui o professor encontrará os manuais explicativos das demonstrações experimentais e os vídeos que exploram as aplicações da metodologia proposta.

 Vamos conversar por chat

Fonte: Acervo próprio.

3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARRUDA, S. M.; SILVA, M. R.; LABURÚ, C. E. **Laboratório didático de Física a partir de uma perspectiva kuhniana**. Investigações em Ensino de Ciências, v. 6(1), pp. 97-106, 2001.

BARREIRO E BAGNATO. **Aulas demonstrativas nos cursos básicos de física**. Caderno Catarinense de Ensino de Física, Florianópolis, v. 9,n. 3, pp. 238-244, 1992.

CARVALHO, P. S. *et al.* **Ensino experimental das ciências: Um guia para professores do ensino secundário - Física e Química**. 2. ed. [s. l.]: U.Porto, 2012. ISBN 9789897460142.

CHESMAN, C.; SALVADOR, C.; SOUSA, E. S.; ALBINO Jr, A. **Colisão elástica: um exemplo didático e lúdico**. Física na Escola, v. 6, n. 2, pp. 23-25, 2005.

COELHO, L.; PISONI, S. **Vygotsky: sua teoria e a influência na educação**. Revista e-Ped – FACOS/CNEC Osório, v. 2, n. 1, pp. 144-152, ago. 2012. ISSN 2237-7077 Disponível em: <http://facos.edu.br/publicacoes/revistas/e-ped/agosto_2012/pdf/vygotsky_-_sua_teor%C3%ADa_e_a_influencia_na_educacao.pdf>. Acesso em: 30 de setembro de 2020.

DARROZ, L. M.; ROSA, C. W.; GHIGGI, C. M. **Método tradicional x aprendizagem significativa: investigação na ação dos professores de Física**. Aprendizagem Significativa em Revista, v. 5(1), pp. 70-85, 2015.

FIGUEROA. *et al.* **Demonstraciones de física: Para quê?**. Enseñanza de Las Ciências, v. 12(3), pp. 443-446, 1994.

GASPAR, A. **Experiências de ciências para o Ensino Fundamental**. São Paulo: Editora Ática, 2003. ISBN 8508089171.

GASPAR, A.; MONTEIRO, I. C. C. **Atividades experimentais de demonstrações: Uma análise segundo o referencial da teoria de Vygotsky**. Investigações em Ensino de Ciências, v. 10, n. 2, pp. 227-254, 2005.

GASPAR, A.; MONTEIRO, I. C. C.; MONTEIRO, M. A. A. **Um estudo sobre as atividades experimentais de demonstração em sala de aula: Proposta de uma fundamentação teórica**. Enseñanza de las Ciencias, n. extra, VII Congresso, 2005.

GRAF: Grupo de Reelaboração do Ensino de Física. **Física 1 - Mecânica**. 7. ed. São Paulo: Edusp, 2002. ISBN 8531400147.

GRAF: Grupo de Reelaboração do Ensino de Física. **Física 2 - Física Térmica e Óptica**. 5. ed. São Paulo: Edusp, 2005. ISBN 8531400252.

GRAF: Grupo de Reelaboração do Ensino de Física. **Física 3 - Eletromagnetismo**. 5. ed. São Paulo: Edusp, 2006. ISBN 8531401151.

HEWITT, P. G. **Física conceitual**. 9. ed. Porto Alegre: Bookman, 2002. ISBN 0321052021

LABURÚ, C. E. **Fundamentos para um experimento cativante**. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 23, n. 3, pp. 382-404, 2006.

LOPES, E. M.; LABURÚ, C. E. **Diâmetro de um fio de cabelo por difração (um experimento simples)**. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 21, n. especial, pp. 258-264, 2004.

MONTEIRO, I. C. C.; MONTEIRO, M. A. A.; GASPAR, A. **Atividades experimentais de demonstração e o discurso do professor no ensino de Física**. IV Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, 2003.

MOREIRA, M. A. **Uma análise crítica do ensino de Física**. Estudos Avançados, n. 32 (94), pp. 73-80, 2018.

MOREIRA, M. A. **Teorias de aprendizagem**. São Paulo: EPU, 1999. ISBN 8512321407.

NARDI, Roberto (Org.). **Questões atuais no ensino de ciências**. São Paulo: Escrituras Editora, 1998. ISBN 9788586303333.

NASCIMENTO, M. M. **Abordando os temas conservação de energia mecânica, conservação de momentum linear e movimento de projéteis a partir de uma estratégia de ensino Lakatosiana**. XX Simpósio Nacional de Ensino de Física – SNEF, 2013.

OLIVEIRA, M. K. **Vygotsky: Aprendizado e Desenvolvimento - Um processo sócio-histórico**. São Paulo: Scipione, 1993.

PAULA, A. C.; ARAÚJO, I. S. C. **James Wertsch: Influência de Vygotsky, ideias principais e implicações para a educação científica**. 33^o EDEQ, 2013.

REGO, T. C. **Vygotsky: Uma perspectiva histórico-cultural da educação**. 8. ed. Petrópolis: Editora Vozes, 1999. ISBN 8532613454.

ROSA, C. W.; ROSA, A. B. **Ensino de Física: objetivos e imposições no ensino médio**. Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias, v. 4, n.1, 2005.

SHARMA, M. D. *et al.* **Use of interactive lecture demonstrations: A ten year study**. Physical Review Special Topics - Physics Education Research, n. 6, 020119, 2010.

SILVA, W. V.; DUARTE, M. O. **Ensino de Física e atividades experimentais em sala de aula: algumas considerações**. Educação e Tecnologias: inovação em cenários em transição. CIET/EnPED, 2018.

SOUZA, L. A.; SILVA, L.; HUGUENIN, J. A. O.; BALTHAZAR, W. F. **Discutindo a natureza ondulatória da luz e o modelo da óptica geométrica através de uma**

atividade experimental de baixo custo. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 37, n. 4, p. 4311, 2015.

VALADARES, E.C. **Física mais que divertida.** UFMG, 2000.

VYGOTSKY, L. S. **A formação social da mente.** São Paulo: Martins Fontes, 1984

VYGOTSKY, L. S. **Pensamento e Linguagem.** São Paulo: Martins Fontes, 1999.

VYGOTSKY, L. S. **A Construção do Pensamento e da Linguagem.** São Paulo: Martins Fontes, 2001.

WALKER, J. **O grande circo da Física.** Lisboa: Gradiva, 1990.

APÊNDICE DO PRODUTO

AVALIAÇÕES PRÉ-AULA

1 – Modelo de Avaliação pré-aula (1ª série)

ATIVIDADE: Avaliação pré-aula		DATA: __/__/__	
ESCOLA:	ENSINO: Médio	SÉRIE: 1ª	
PROFESSOR:	DISCIPLINA: Física		
ALUNO:	Nº:	TURMA:	

Nesta avaliação você será questionado sobre a dinâmica do movimento de dois corpos, bem como de uma colisão entre eles. Você deverá recorrer aos seus conhecimentos sobre os seguintes conceitos: **Força, Trabalho, Energia Mecânica (Cinética e Potencial Gravitacional), Conservação da Energia Mecânica, Quantidade de Movimento (Momento Linear), Conservação da Quantidade de Movimento, Impulso, Velocidade, Aceleração, Lançamento e Movimento em Duas Dimensões (Movimento de projéteis).**

Leia com atenção o texto descritivo a seguir.

O esquema de um aparato experimental é representado na figura abaixo.

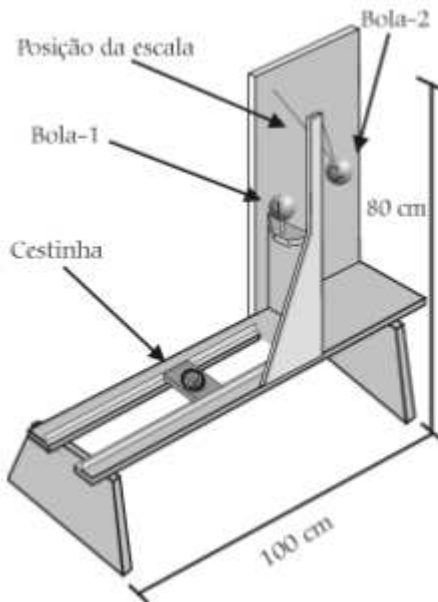


Figura 1a - Esquema do aparato experimental.

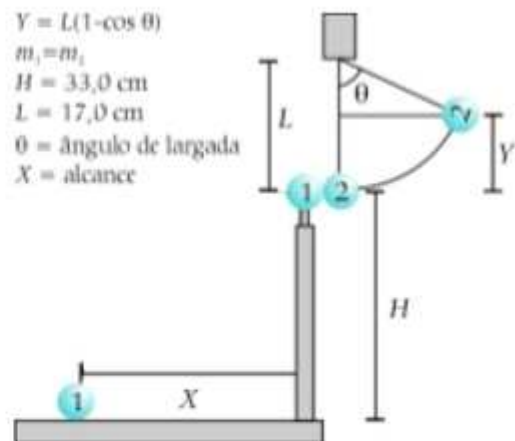


Figura 1b - Modelo para a descrição experimental.

Este aparato corresponde a um modelo real que será utilizado pelo professor de Física em uma aula sobre colisões. O objetivo do professor será demonstrar para a classe de estudantes o comportamento dinâmico de dois corpos, antes e após uma colisão entre ambos, durante a exposição teórica dos conceitos físicos envolvidos em tal situação.

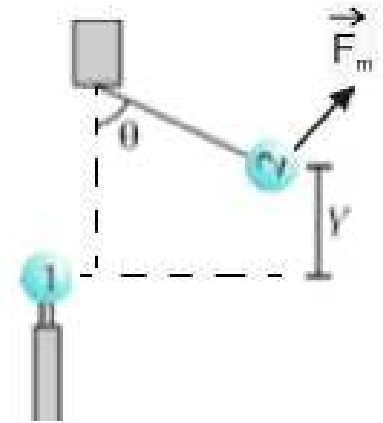
Neste aparato, a **bola 1** estará inicialmente em repouso sobre um pino e encostada em uma bola de mesma massa, **bola 2**, que se encontrará em repouso presa a um fio de massa desprezível esticado na vertical (Figura 1b).

A demonstração experimental terá início quando o professor puxar, com uma das mãos, a **bola 2** até uma posição angular θ , em relação a um eixo vertical coincidente com a posição inicial do fio, e uma altura Y em relação a um eixo horizontal que passa pela posição inicial das bolas (Figura 1b). Em seguida ele liberará a **bola 2**, que iniciará um movimento de descida até colidir com a **bola 1**, que, após um intervalo de tempo Δt colidirá com a base do aparato, a uma distância X da haste vertical que contém o pino da posição inicial desta bola (Figura 1b).

Com base nos seus conhecimentos de Física e imaginando tal demonstração experimental, responda às questões desta avaliação.

QUESTÃO 1

Desenhe nas figuras das **bolas 1** e **2**, os vetores de força que atuam sobre cada uma delas. No momento destacado na figura ao lado, tanto a **bola 1** quanto a **bola 2** estão em repouso, sendo que o vetor de força F_m que aparece aplicado na **bola 2**, representa a força exercida pela mão do professor para mantê-la naquela posição.



QUESTÃO 2

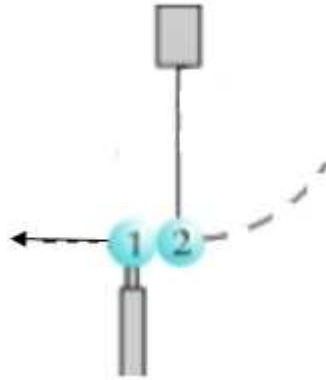
Ainda analisando a situação destacada na **figura da questão 1**, se tomarmos como referência uma linha horizontal que passa pelo centro da **bola 1**, podemos afirmar que a **bola 2** tem

- A) força armazenada. (Se sim, qual? _____)
- B) energia armazenada. (Se sim, qual forma? _____)
- C) trabalho armazenado.
- D) impulso armazenado.

ATENÇÃO: A figura e o texto abaixo serão utilizados na resolução das questões 3 e 4.

Após a **bola 2** ser liberada pelo professor, a partir da posição de equilíbrio estático destacada na **figura da questão 1**, ela atinge a **bola 1** (como mostra a figura deste exercício).

Imaginando um intervalo de tempo infinitesimal antes da colisão (o momento imediatamente antes da colisão), analise cada questão que se segue e marque, em cada uma, a alternativa que corresponde corretamente ao conceito Físico envolvido na situação.



QUESTÃO 3

Pode-se afirmar que, imediatamente antes da colisão, a **bola 2** tem

- A) força armazenada que **depende** da sua velocidade.
- B) força armazenada que **independe** da sua velocidade.
- C) energia armazenada que **depende** da sua velocidade.
- D) energia armazenada que **independe** da sua velocidade.

QUESTÃO 4

Pode-se afirmar que, imediatamente antes da colisão, a **bola 2** tem

- A) quantidade de movimento (momento) que **depende** da sua velocidade.
- B) quantidade de movimento (momento) que **independe** da sua velocidade.
- C) trabalho armazenado que **depende** da sua velocidade.
- D) trabalho armazenado que **independe** da sua velocidade.

QUESTÃO 5

Considere agora a colisão da **bola 2** com a **bola 1**. Durante esta colisão, ou seja, enquanto elas estiverem nesse contato, podemos afirmar que

- A) a **bola 2** aplicará força na **bola 1**, assim como a **bola 1** aplicará força na **bola 2**, sendo estas forças de intensidades diferentes.

- B) a **bola 2** aplicará força na **bola 1**, assim como a **bola 1** aplicará força na **bola 2**, sendo estas forças de intensidades iguais.
- C) somente a **bola 2** aplicará força na **bola 1**, pois devido a rapidez da interação não haverá tempo para a **bola 1** aplicar força na **bola 2**.
- D) a **bola 2** transferirá toda a sua força para a **bola 1**, devido a rapidez da interação.

QUESTÃO 6

Considere ainda a colisão da **bola 2** com a **bola 1**. Durante esta colisão, ou seja, enquanto elas estiverem nesse contato, podemos afirmar que

- A) a **bola 2** realizará trabalho sobre a **bola 1** transferindo energia de forma que esta adquirará velocidade, mas a **bola 1** não realizará trabalho sobre a **bola 2**, pois a velocidade desta diminuirá.
- B) a **bola 1** realizará trabalho sobre a **bola 2** transferindo energia de forma que esta diminuirá a velocidade, mas a **bola 2** não realizará trabalho sobre a **bola 1**, pois a velocidade desta aumentará.
- C) a **bola 2** realizará trabalho sobre a **bola 1** transferindo energia de forma que esta adquirará velocidade, e a **bola 1** realizará trabalho sobre a **bola 2**, diminuindo a velocidade desta.
- D) devido a rapidez da interação não haverá realização de trabalho por nenhuma das partes.

QUESTÃO 7

Mais uma vez considere a colisão da **bola 2** com a **bola 1**. Durante esta colisão, ou seja, enquanto elas estiverem nesse contato, podemos afirmar que

- A) a **bola 2** aplicará um impulso na **bola 1** transferindo quantidade de movimento (momento linear) de forma que esta adquirará velocidade, mas a **bola 1** não aplicará um impulso na **bola 2**, pois a velocidade desta diminuirá.
- B) a **bola 1** aplicará um impulso na **bola 2** transferindo quantidade de movimento (momento linear) de forma que esta diminuirá a velocidade, mas a **bola 2** não aplicará impulso na **bola 1**, pois a velocidade desta aumentará.

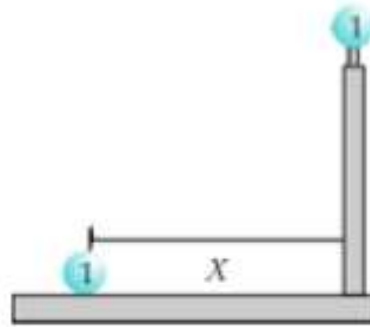
C) a **bola 2** aplicará um impulso na **bola 1** transferindo quantidade de movimento (momento linear) de forma que esta adquirirá velocidade, e a **bola 1** aplicará um impulso na **bola 2**, diminuindo a velocidade desta, sendo iguais as intensidades dos dois impulsos.

D) devido a rapidez da interação a **bola 2** transferirá toda a sua velocidade para a **bola 1**.

QUESTÃO 8

Após a colisão da **bola 2**, a **bola 1** irá adquirir movimento e atingirá a base do aparato, como já explicado no texto descritivo da demonstração experimental.

Você imagina que a trajetória deste movimento será curvilínea ou retilínea? Faça um esboço, da trajetória que você pensa, na figura abaixo.



QUESTÃO 9

Continuando no raciocínio da **questão 8**, você imagina que o movimento da **bola 1** será constante ou variável? Explique.

QUESTÃO 10

Você acha que o valor inicial do ângulo θ (ângulo de largada), mostrado na **Figura 1b** influenciará no alcance horizontal X da **bola 1**? Explique.

QUESTÃO 11

Se o professor repetir a demonstração experimental mantendo todos os parâmetros do primeiro experimento inalterados, menos a **bola 1** que será substituída por uma **nova bola** de massa maior, o que você espera acontecer?

- A) Não ocorrerá modificação na dinâmica do movimento das bolas, ocorrerá exatamente a mesma coisa que no primeiro experimento.
- B) A **nova bola** não se moverá após a colisão, por ter massa maior que a **bola 2**.
- C) A **nova bola** irá atingir uma distância horizontal X **maior** por ser mais pesada que a **bola 1** usada no primeiro experimento.
- D) A **nova bola** irá atingir uma distância horizontal X **menor** por ter massa maior que a **bola 1** usada no primeiro experimento.

QUESTÃO 12

Utilizando os dados matemáticos fornecidos na **Figura 1b**, calcule a distância horizontal X atingida pela **bola 1** após ser colidida pela **bola 2**.

(obs.: a massa da **bola 1** é igual a massa da **bola 2**; $\theta = 60^\circ$; $\cos 60^\circ = 0,5$; utilize $g = 10 \text{ m/s}^2$)

2 – Modelo de Avaliação pré-aula (2ª série)

ATIVIDADE: Avaliação pré-aula		DATA: __/__/__	
ESCOLA:	ENSINO: Médio	SÉRIE: 2ª	
PROFESSOR:	DISCIPLINA: Física		
ALUNO:	Nº:	TURMA:	

Nesta avaliação você será questionado sobre as propriedades ondulatórias e os fenômenos da difração e interferência da luz. Você deverá recorrer aos seus conhecimentos sobre os seguintes conceitos: **Movimento Ondulatório, A Natureza da Luz, Propriedades Ondulatórias da Luz, Princípio de Huygens, Difração da Luz e Interferência Luminosa.**

Leia com atenção o texto descritivo a seguir.

O esquema de um aparato experimental é representado na figura abaixo.

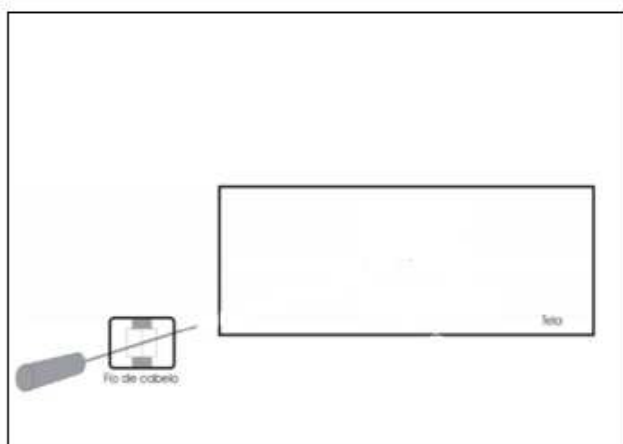


Figura 1a - Feixe de laser passando por um fio de cabelo em direção a uma tela.

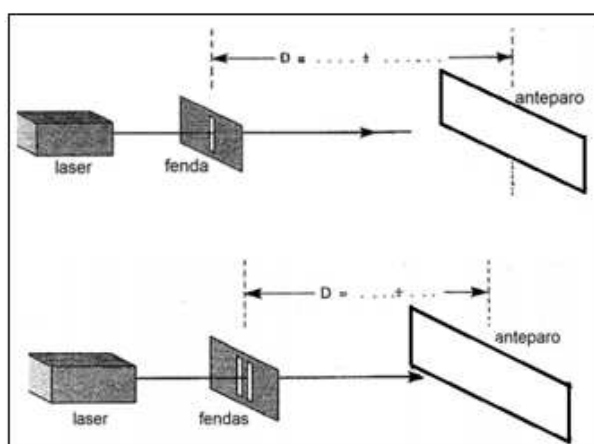


Figura 1b - Feixe de laser passando por uma fenda (acima) e por uma dupla fenda (abaixo).

Este aparato corresponde a um modelo real que será utilizado pelo professor de Física em uma aula sobre difração e interferência da luz. O objetivo do professor será demonstrar para a classe de estudantes o comportamento de um feixe de laser ao passar por alguns obstáculos (fio de cabelo, fenda simples e dupla fenda), antes de atingir um anteparo (tela, quadro, parede, etc), durante a exposição teórica dos conceitos físicos envolvidos em tal situação.

A demonstração experimental terá início quando o professor posicionar o feixe de laser de maneira a incidir sobre cada um dos obstáculos mencionados no parágrafo anterior, primeiramente sobre um fio de cabelo (Figura 1a) e posteriormente sobre a fenda simples e a dupla fenda, separadamente (Figura 1b). O que se espera é que surgirão figuras luminosas no anteparo, as quais serão analisadas e discutidas ao longo da aula.

Com base nos seus conhecimentos de Física e imaginando tal demonstração experimental, responda às questões desta avaliação.

QUESTÃO 1

Com relação a algumas propriedades da luz são feitas as seguintes afirmações:

- V. A luz se origina dos movimentos acelerados dos elétrons. Ela é um fenômeno eletromagnético e constitui apenas uma minúscula parte de um todo.
- VI. A luz é constituída por uma corrente de partículas ou corpúsculos, denominados fótons, tendo assim um comportamento exclusivamente corpuscular.
- VII. Como a luz pode sofrer difração e interferência, que são fenômenos característicos de ondas, ela tem um comportamento exclusivamente ondulatório.
- VIII. A partir dos resultados dos experimentos de Thomas Young (Experimento de fenda dupla - 1801) e de Einstein (Efeito fotoelétrico - 1905), chegou-se à conclusão de que a luz é tanto onda como partícula.

Marque a alternativa que contém as afirmações corretas.

- A) I e III.
- B) I e IV.
- C) I e II.
- D) apenas a IV.

QUESTÃO 2

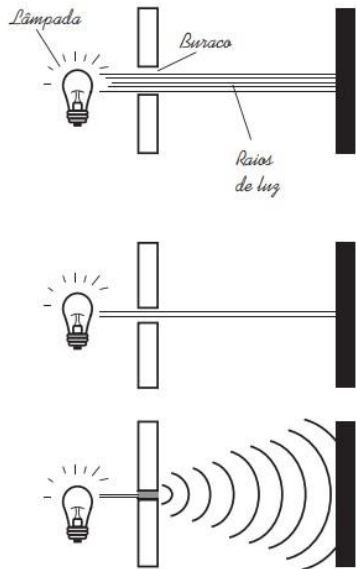
O que é o fenômeno da difração da luz?

QUESTÃO 3

O que é o fenômeno da interferência?

QUESTÃO 4

As figuras abaixo representam feixes de luz atravessando orifícios após serem emitidos por uma fonte luminosa. No sentido descendente das figuras, o orifício se torna cada vez menor. As três ilustrações podem descrever situações reais? Se não, diga qual ou quais não correspondem a uma propagação real do feixe luminoso, após este passar pelo orifício.



FIOLHAIS, C. Física divertida. Brasília: UnB, 2000 (adaptado).

QUESTÃO 5

No esquema da figura 1a, que será utilizado pelo professor para a aula experimental demonstrativa, o feixe de laser incidirá sobre um fio de cabelo antes de atingir o anteparo à frente. Que figura luminosa será projetada no anteparo após o laser passar pelo fio?

- A) Nenhuma, pois o fio de cabelo impedirá a passagem do feixe de laser.
- B) Um ponto luminoso bem no meio do anteparo, uma vez que a luz do laser contornará o fio.
- C) Vários pontos luminosos distribuídos uniformemente pelo anteparo, devido ao espalhamento sofrido pelo feixe de laser ao incidir sobre o fio.
- D) Uma sequência, na horizontal, de pontos claros uniformemente espaçados, com o ponto mais luminoso ao centro, uma vez que a luz do laser contornará o fio.

QUESTÃO 6

No esquema da figura 1b, que será utilizado pelo professor para a aula experimental demonstrativa, o feixe de laser incidirá sobre uma fenda única antes de atingir o anteparo à frente. Que figura luminosa será projetada no anteparo após o laser passar pela fenda?

- A) Uma linha clara e vertical bem no meio do anteparo, uma vez que a luz do laser passará direto pela fenda.
- B) Uma linha vertical, cuja intensidade luminosa irá aumentar gradativamente das bordas para o centro, uma vez que a luz irá se curvar nas extremidades da fenda, sofrendo interferência.
- C) Várias linhas luminosas distribuídas uniformemente pelo anteparo, devido ao espalhamento sofrido pelo feixe de laser ao incidir e atravessar a fenda.
- D) Nenhuma, pois a fenda terá uma abertura muito pequena, não sendo o suficiente para a luz do laser passar.

QUESTÃO 7

Novamente, no esquema da figura 1b, que será utilizado pelo professor para a aula experimental demonstrativa, o feixe de laser incidirá sobre uma dupla fenda antes de atingir o anteparo à frente. Que figura luminosa será projetada no anteparo após o laser passar pelas fendas?

- A) Duas linhas claras e verticais bem no meio do anteparo, com o mesmo espaçamento das fendas, uma vez que a luz do laser passará direto por ambas.
- B) Uma sequência, na horizontal, de linhas claras verticais uniformemente espaçadas, com a linha mais luminosa ao centro. E cada uma dessas linhas claras será formada por uma outra sequência de linhas claras verticais uniformemente espaçadas. Isso ocorrerá porque a luz do laser contornará as fendas.
- C) Várias duplas linhas luminosas distribuídas uniformemente pelo anteparo, devido ao espalhamento sofrido pelo feixe de laser ao incidir e atravessar as fendas.
- D) Nenhuma, pois as fendas terão aberturas muito pequenas, não sendo o suficiente para a luz do laser passar.

QUESTÃO 8

É possível determinar o diâmetro do fio de cabelo neste experimento (Figura 1a)? E a distância entre as fendas (experimento de dupla fenda – Figura 1b)? Se sim, tente explicar como.

QUESTÃO 9

Acerca do fenômeno da difração são feitas as afirmações abaixo. Marque a correta.

- A) A difração é extremamente benéfica quando se deseja ver objetos muito pequenos com um microscópio.
- B) Ondas luminosas difratam melhor ao redor de portas e janelas do que as ondas sonoras.
- C) Este fenômeno ocorre somente com ondas eletromagnéticas.
- D) Para uma melhor percepção deste fenômeno, o grau de difração deve ser dependente da relação entre o comprimento de onda e o tamanho da obstrução.

QUESTÃO 10

Acerca do fenômeno da interferência são feitas as afirmações abaixo. Marque a correta.

- A) A interferência não ocorre para todos os tipos de ondas. Ela é restrita às ondas luminosas.
- B) Em um experimento com dupla fenda (como o esquematizado na Figura 1b), para que a interferência seja perceptível, é importante usar luz monocromática.
- C) Ondas em fase, que se superpõem, produzem interferência destrutiva.
- D) O resultado da interferência de ondas depende da frequência das ondas envolvidas, mas independe de suas amplitudes.

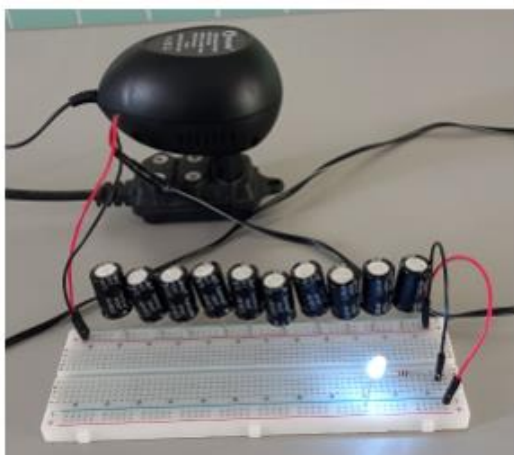
3 – Modelo de Avaliação pré-aula (3ª série)

ATIVIDADE: Avaliação pré-aula		DATA: __/__/__	
ESCOLA:	ENSINO: Médio	SÉRIE: 3ª	
PROFESSOR:	DISCIPLINA: Física		
ALUNO:	Nº:	TURMA:	

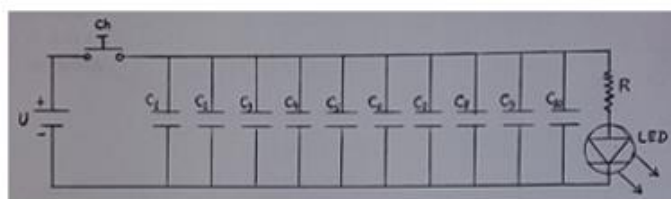
Nesta avaliação você será questionado sobre o funcionamento de Capacitores, bem como sobre circuitos elétricos compostos com estes dispositivos elétricos. Você deverá recorrer aos seus conhecimentos sobre os seguintes conceitos: **Carga Elétrica, Campo Elétrico, Energia Elétrica Armazenada, Capacitor, Capacitância, Dielétrico, Tempo de Carga e Descarga de um Capacitor e Associação de Capacitores.**

Leia com atenção o texto descritivo a seguir.

Figura 1 – (a) Circuito elétrico (RC) montado para a aula sobre capacitores e (b) esquema elétrico de ligação do circuito.



(a)



(b)

O circuito elétrico com capacitores, fonte de alimentação, resistor e LED mostrado na Figura 1 será utilizado pelo professor de Física em uma aula sobre capacitores. O objetivo do professor será demonstrar na prática, para a classe de estudantes, o funcionamento destes elementos de circuito, durante a exposição teórica dos conceitos físicos envolvidos em tal situação.

Neste circuito, capacitores de capacitâncias iguais serão associados entre si a um gerador de corrente contínua, a um resistor e a um LED. O circuito será controlado por um interruptor (Ch) que fará a ligação do gerador com os demais elementos (Figura 1b).

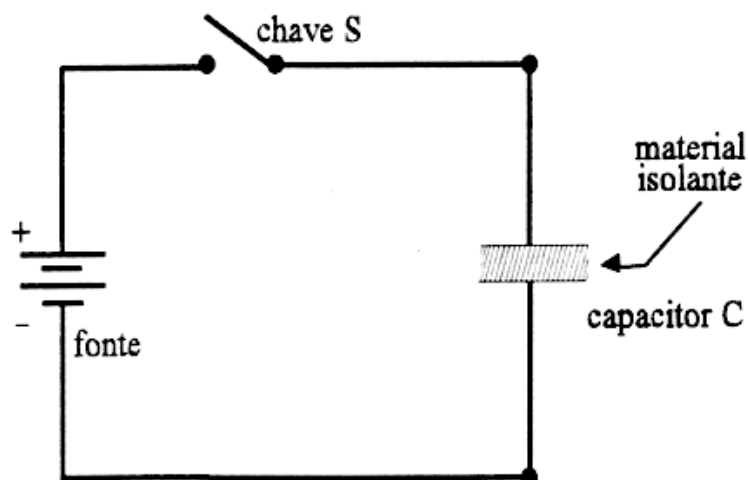
A demonstração experimental terá início quando o professor apresentar aos estudantes o circuito, já montado (Figura 1a), explicando detalhadamente como cada elemento está ligado a ele. Em seguida ele ligará o interruptor (Ch) fazendo com que os capacitores sejam eletricamente carregados e que o LED fique aceso. Após um

intervalo de tempo Δt , ele desligará o interruptor (Ch) desconectando o gerador do restante do circuito.

Com base nos seus conhecimentos de Física e imaginando tal demonstração experimental, responda às questões desta avaliação.

QUESTÃO 1

O esquema da figura abaixo, representa um **capacitor C** que pode ser ligado a uma **fonte** de energia elétrica (gerador) através de uma **chave S** (interruptor). O **capacitor C** é constituído de duas placas paralelas (armaduras) entremeadas por um **material isolante** (dielétrico). Supondo que inicialmente o **capacitor C** esteja descarregado e a **chave S** desligada, desenhe, em cada uma das placas desse capacitor, o sinal das cargas elétricas em excesso que se acumularão após a **chave S** ser ligada.



QUESTÃO 2

Quando um capacitor é carregado, os condutores (armaduras) que o constituem adquirem um excesso de cargas elétricas. Sendo assim, a **carga elétrica líquida** de um capacitor carregado

- A) é nula, pois a quantidade de portadores de carga elétrica negativa em excesso em um dos condutores é exatamente igual a quantidade de portadores de carga elétrica positiva em excesso no outro condutor.
- B) depende da quantidade de portadores de carga elétrica acumulada em cada um dos condutores, que nem sempre é igual.

C) é igual ao somatório dos módulos das cargas elétricas em excesso, acumuladas em cada um dos condutores, multiplicado pelo valor da carga elétrica elementar ($1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$).

D) é igual ao produto de sua capacitância e da diferença de potencial elétrico entre os condutores onde as cargas se acumulam.

QUESTÃO 3

O capacitor é um elemento de circuito elétrico. É possível associar a característica de um capacitor com a característica de qual outro elemento de circuito?

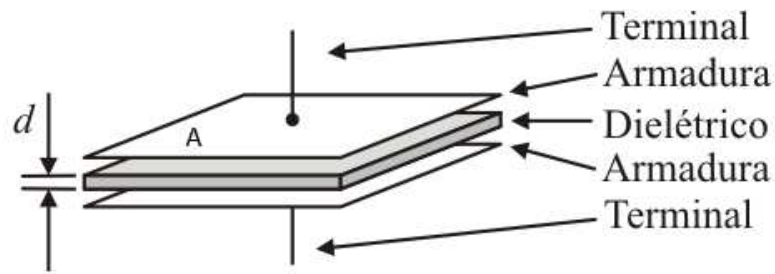
- A) Resistor.
- B) LED.
- C) Chave (interruptor).
- D) Fonte.

QUESTÃO 4

Na questão anterior você associou um capacitor a outro elemento de circuito elétrico, devido a uma semelhança no funcionamento de ambos. Responda qual a diferença entre um capacitor e o elemento que você associou a ele.

QUESTÃO 5

A figura abaixo representa, esquematicamente, um capacitor. A capacidade dele em acumular cargas elétricas é denominada **Capacitância**, cuja unidade de medida é o farad (F) ou coulomb/volt (C/V). A Capacitância de um capacitor depende, basicamente, da sua geometria, particularmente, distância entre os seus condutores (d) e a área dos condutores (A). Depende também da constante dielétrica (permissividade elétrica) do material isolante colocado entre os condutores, cujo valor para o vácuo é $8,85 \times 10^{-12} \text{ F/m}$.



Sendo assim, podemos afirmar corretamente que

- A) o valor da Capacitância varia diretamente com d e A , e inversamente com a constante dielétrica.
- B) o valor da Capacitância varia inversamente com d e A , e diretamente com a constante dielétrica.
- C) o valor da Capacitância varia inversamente com A e a constante dielétrica, e diretamente com d .
- D) o valor da Capacitância varia diretamente com A e a constante dielétrica, e inversamente com d .

QUESTÃO 6

Em relação às características de funcionamento de um capacitor são feitas as seguintes afirmações:

- V. Um capacitor armazena energia eletrostática.
- VI. Capacitores consomem energia do circuito no qual estão inseridos.
- VII. Um capacitor totalmente carregado comporta-se como um circuito aberto.
- VIII. Curto circuitando capacitores carregados, descarregamos os mesmos.

Marque a alternativa que contém as afirmações corretas.

- A) I e II.
- B) I, III e IV.
- C) III e IV.
- D) I, II, III e IV.

QUESTÃO 7

Qual é a função de um capacitor em um circuito elétrico?

QUESTÃO 8

No esquema do circuito elétrico que será utilizado pelo professor para a aula experimental demonstrativa (Figura 1b), há uma associação de 10 capacitores. Supondo que o valor da capacitância de cada capacitor seja de $1000 \mu\text{F}$ e que a ddp nos terminais do gerador seja de 12 V , calcule a energia eletrostática que será armazenada nesta associação, após os capacitores estiverem totalmente carregados.

QUESTÃO 9

No esquema do circuito elétrico que será utilizado pelo professor para a aula experimental demonstrativa (Figura 1b), há uma associação de capacitores. Marque a alternativa que apresenta corretamente o tipo de associação apresentado e a maneira de calcular a capacitância equivalente a essa associação.

- A) () associação em série; $C_t = C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + C_5 + C_6 + C_7 + C_8 + C_9 + C_{10}$.
- B) () associação em paralelo; $\frac{1}{C_t} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \frac{1}{C_4} + \frac{1}{C_5} + \frac{1}{C_6} + \frac{1}{C_7} + \frac{1}{C_8} + \frac{1}{C_9} + \frac{1}{C_{10}}$.
- C) () associação em paralelo; $C_t = C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + C_5 + C_6 + C_7 + C_8 + C_9 + C_{10}$.
- D) () associação em série; $\frac{1}{C_t} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \frac{1}{C_4} + \frac{1}{C_5} + \frac{1}{C_6} + \frac{1}{C_7} + \frac{1}{C_8} + \frac{1}{C_9} + \frac{1}{C_{10}}$.

QUESTÃO 10

A parte final do texto descritivo da atividade experimental demonstrativa, que o professor irá realizar na aula sobre capacitores, está escrito: “Em seguida ele ligará o interruptor (Ch) fazendo com que os capacitores sejam eletricamente carregados e que o LED fique aceso. Após um intervalo de tempo Δt , ele desligará o interruptor (Ch) desconectando o gerador do restante do circuito.”

Desta forma, após desligar o interruptor (Ch), o LED

- A) se apagará instantaneamente, pois a ddp sobre os seus terminais será nula assim que o gerador for desconectado do circuito.
- B) permanecerá aceso ininterruptamente, pois a ddp sobre os seus terminais não se anulará em momento algum, enquanto estiver conectado à associação de capacitores.
- C) permanecerá aceso por um determinado intervalo de tempo, sendo que seu brilho irá diminuir aos poucos até se apagar completamente. Isso ocorrerá porque a ddp em seus terminais irá diminuir lentamente, obedecendo uma função exponencial no tempo.
- D) permanecerá aceso por um determinado intervalo de tempo, sendo que seu brilho irá aumentar consideravelmente, até se apagar de forma instantânea. Isso ocorrerá porque a ddp em seus terminais irá aumentar muito, devido a associação de capacitores que descarregará toda a energia eletrostática armazenada no LED.