



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA
(POLO 58 - UFRPE)

UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA PARA O ESTUDO
DOS CHOQUES MECÂNICOS IMPULSIONADOS POR FORÇAS MAGNÉTICAS
UTILIZANDO O CANHÃO DE GAUSS NO ENSINO MÉDIO

William da Silva Coelho

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação Profissional em Ensino de Física da Universidade Federal Rural de Pernambuco, no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), polo 58-UFRPE, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador:
Prof. Dr. Francisco Nairon Monteiro Júnior

Recife
Maio de 2025

**UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA PARA O ESTUDO
DOS CHOQUES MECÂNICOS IMPULSIONADOS POR FORÇAS MAGNÉTICAS
UTILIZANDO O CANHÃO DE GAUSS NO ENSINO MÉDIO**

William da Silva Coelho

Orientador:
Prof. Dr. Francisco Nairon Monteiro Júnior

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa
de Pós-Graduação Profissional em Ensino de Física
da Universidade Federal Rural de Pernambuco, no
Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física
(MNPEF), polo 58-UFRPE, como parte dos requisitos
necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino
de Física.

Aprovada por:

Prof. Dr. Francisco Nairon Monteiro Júnior
Universidade Federal Rural de Pernambuco - Presidente

Prof^a. Dr^a. Maria Kamylla e Silva Xavier
Universidade Federal de Campina Grande – Membro Titular Externo

Prof. Dr. Ronaldo Pereira de Melo Júnior
Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, Polo 58 - UFRPE

Recife
Maio de 2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE
Bibliotecário(a): Suely Manzi – CRB-4 809

C672u Coelho, William da Silva.

Unidade de ensino potencialmente significativa para o estudo dos choques mecânicos impulsionados por forças magnéticas utilizando o canhão de Gauss no ensino médio / William da Silva Coelho. – Recife, 2025.

114 f.; il.

Orientador(a): Francisco Nairon Monteiro Júnior.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Mestrado Profissional em Ensino de Física (PROFIS), Recife, BR-PE, 2025.

Inclui referências, apêndice(s) e anexo(s).

1. Aprendizagem significativa. 2. Colisões. 3. Magnetismo. 4. Eletromagnetismo 5. Física - Estudo e ensino. I. Júnior, Francisco Nairon Monteiro, orient. II. Título

Dedico esta dissertação a minha esposa, Sandra Lúcia Arruda Couto Coelho, que sempre me apoiou nas buscas por novos horizontes.

Agradecimentos

Primeiramente, agradecer a Deus por me dar força suficiente para cumprir minha jornada neste mestrado; à minha esposa Sandra Lúcia e à minha filha Letícia Couto, pela compreensão nos momentos de ausência por conta do tempo empregado aos estudos; aos meus pais por torcerem e incentivarem meus estudos.

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

À Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE) e à Sociedade Brasileira de Física (SBF), pela oferta, em conjunto, do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, possibilitando a capacitação em nível de mestrado, em pleno exercício da profissão, de professores atuantes no ensino da Física na Educação Básica.

Ao Professor Dr. Francisco Nairon Monteiro Júnior, pela paciência emprestada na orientação, aplicação e conclusão da dissertação. Agradeço também a todos os professores que me deram a oportunidade de conhecer os prazeres da descoberta intelectual.

Aos meus colegas de caminha do mestrado, pela convivência fraterna e aprendizado. Aos amigos de trabalho Jose Altenis, Andreson Albert, Elton Gonçalves e Rayanne Reis, pelo apoio nas horas difíceis.

RESUMO

A presente pesquisa de mestrado buscou desenvolver e aplicar uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa para o estudo dos choques mecânicos utilizando um aparato experimental interessante e desafiador, conhecido como Canhão de Gauss. Com tal Unidade de Ensino, que foi aplicada numa turma de alunos do 1º ano do ensino médio de uma escola particular do Recife-PE, buscamos ensinar, de forma significativa, os conteúdos relativos aos estudos dos choques mecânicos, valorizando o aprendizado de conceitos como choques mecânicos, velocidade, princípios da conservação da energia e da conservação do momento linear. As atividades experimentais foram organizadas de forma ordenada, estruturada e articulada com os assuntos vistos em sala de aula, com a finalidade de observar, a partir da experimentação, o processo de aprendizagem dos conceitos envolvidos. Nesta perspectiva, o estudante pode desfrutar de um ambiente seguro e organizado, reduzindo os aspectos ligados à ansiedade, além de se preparar para dialogar sobre diversos temas, valorizando a criatividade, a imaginação e o engajamento entre os alunos. Como forma de investigar a eficácia do produto educacional desenvolvido, optou-se pela aplicação de questionários diagnósticos antes e depois da implementação da Unidade de Ensino. A metodologia adotada insere-se no escopo da pesquisa qualitativa de natureza interpretativa, a qual visa compreender os significados atribuídos pelos alunos aos conceitos abordados, por meio da análise de suas respostas e interpretações. A análise de tais questionários apontou para o avanço na aprendizagem das colisões mecânicas, em especial das características vetoriais das interações, da relação entre as velocidades antes e depois dos choques, da caracterização do tipo de choque, do cálculo da velocidade e da energia cinética por meio do momento linear. A análise dos dados permitiu a interpretação pedagógica de reforço e estabilização de conhecimento prévio, reestruturação de concepções alternativas a partir da experiência prática, promovendo integração coerente com a teoria física, ampliação da compreensão conceitual, com aplicação da fórmula em contexto real, superando a visão mecânica e isolada, compreensão do conceito como fenômeno físico aplicado, não apenas matemático e articulação e integração de conceitos explorados nas questões anteriores, com leitura interpretativa e amadurecimento cognitivo.

Palavras-chave: Unidade de Ensino Potencialmente Significativa, Choques Mecânicos e Magnetismo, Canhão de Gauss.

Recife
Maio de 2025

ABSTRACT

This master's research sought to develop and apply a Potentially Significant Teaching Unit for the study of mechanical shocks using an interesting and challenging experimental apparatus known as the Gauss Cannon. With this Teaching Unit, which was applied to a class of 1st-year high school students at a private school in Recife-PE, we sought to teach, in a meaningful way, the contents related to the study of mechanical shocks, valuing the learning of concepts such as mechanical shocks, speed, principles of energy conservation and conservation of linear momentum. The experimental activities were organized in an orderly, structured and articulated manner with the subjects covered in the classroom, with the purpose of observing, through experimentation, the learning process of the concepts involved. In this perspective, the student can enjoy a safe and organized environment, reducing aspects related to anxiety, in addition to preparing to discuss various topics, valuing creativity, imagination and engagement among students. As a way of investigating the effectiveness of the educational product developed, it was decided to apply diagnostic questionnaires before and after the implementation of the Teaching Unit. The methodology adopted falls within the scope of qualitative research of an interpretative nature, which aims to understand the meanings attributed by students to the concepts addressed, through the analysis of their responses and interpretations. The analysis of such questionnaires indicated progress in the learning of mechanical collisions, especially the vector characteristics of interactions, the relationship between velocities before and after collisions, the characterization of the type of collision, the calculation of velocity and kinetic energy through linear momentum. Data analysis allowed the pedagogical interpretation of reinforcement and stabilization of prior knowledge, restructuring of alternative conceptions based on practical experience, promoting coherent integration with physical theory, broadening of conceptual understanding, with application of the formula in a real context, overcoming the mechanical and isolated view, understanding of the concept as an applied physical phenomenon, not just mathematical, and articulation and integration of concepts explored in previous questions, with interpretative reading and cognitive maturation.

Keywords: Potentially Meaningful Teaching Unit, Mechanical Collisions and Magnetism, Gauss Cannon.

Recife
May 2025

Sumário

Capítulo 1 Introdução	8
1.1 Gênese do nosso produto educacional	8
1.2 Revisão da literatura	9
Capítulo 2 Fundamentação Teórica	15
2.1 Teoria da aprendizagem Significativa.	17
2.2 As Unidades de Ensino Potencialmente Significativas.....	21
2.3 Análise física do Canhão de Gauss	23
2.4. Fundamentação teórica da metodologia da pesquisa	40
Capítulo 3 Desenvolvimento do Produto educacional	45
3.1 Apresentação	45
3.2 Objetivos	48
Geral	48
3.3 Conteúdos e Habilidades Envolvidos	48
3.4 Os oito passos de nossa UEPS	50
Capítulo 4 Aplicação do Produto Educacional.....	60
4.1. Contexto e 'Locus' da aplicação do produto educacional.....	60
Capítulo 5 Resultados e Conclusão	79
Referências Bibliográficas	85
Apêndice A Atividade da aula experimental	88
Apêndice B Produto Educacional	90

Capítulo 1 Introdução

A presente dissertação materializa um desejo meu enquanto professor de física de escolas públicas e particulares do Recife de me aprofundar na pesquisa em ensino de física, revisitando os aportes teóricos da física e de seu ensino. Aqui, concentraremos nossa atenção a um dos muitos conteúdos que são ensinados na escola básica, gestando um produto que alia o ensino dos conceitos relativos ao estudo dos choques mecânicos, uma atividade experimental utilizando um importante aparato, conhecido como canhão de Gauss.

Nossa temática é, portanto, a mecânica clássica, mais especificamente a dinâmica dos choques mecânicos, tendo como objeto de pesquisa a compreensão das interações das forças de contato no entendimento das condições de conservação da quantidade de movimento e da energia mecânica. Tal proposta se alinha com os objetivos formativos do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, uma vez que aborda um assunto de ensino de física do currículo do ensino médio, foi aplicado em uma turma regular, com os resultados relatados na dissertação, preocupou-se com o aprendizado do aluno e consiste numa contribuição original, cujo produto educacional foi escrito de forma comprehensível, sua proposta é facilmente replicável pela sua leitura sem gerar dependência com a dissertação, a qual pode ser consultada caso o professor queira se aprofunda, de acordo com o “Documento Orientador da Dissertação, do Produto Educacional e Assuntos Correlatos”, que se encontra publicado no site do programa. Por outro lado, nossa proposta se alinha com Área de Concentração “Ensino de Física”, na Linha de Pesquisa “Física no Ensino Médio”.

1.1 Gênesis do nosso produto educacional

O produto educacional proposto teve sua origem nas aulas de física referentes ao estudo das colisões entre os corpos, também denominadas choques mecânicos. Nas nossas aulas sobre tal conteúdo, percebemos a dificuldade dos estudantes no tocante à diferenciação dos tipos de choques, bem como no entendimento dos princípios de conservação da energia mecânica e do momento linear. Buscando minimizar as dificuldades e melhorar a aprendizagem, pensamos na construção de uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS) baseada na utilização de um aparato experimental simples, interessante e, ao mesmo tempo, desafiador, conhecido como “Canhão de Gauss”.

Com tal aparato, é possível contemplar os conteúdos citados, e, com a montagem por nós proposta, a qual se baseia em materiais de baixo custo, é possível sua replicação e utilização em sala de aula por outros professores de física.

Na base da UEPS, voltada para a compreensão dos conteúdos citados, estão, a Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS) de David Ausubel e, como metodologia de aplicação, as Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS) de Marco Antônio Moreira. Essa abordagem investigativa com o uso de sequências didáticas permitirá que o estudante analise e reavalie seus conhecimentos prévios e reinicie novos, com suas próprias ideias, mas de forma coerente com os conceitos científicos abordados, e cujo processo será mediado pelo professor.

Esperamos com essa atividade determinar os tipos de colisões entre os corpos, bem como definir as características de cada colisão. Com base nos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN), a proposta está diretamente ligada à fenomenologia cotidiana e, a partir dela, espera-se criar subsídios para que os alunos possam entendê-la. De acordo com a Base Nacional Comum Curricular (BNCC), a proposta busca entender métodos e procedimentos próprios das ciências naturais e aplicá-los em diferentes contextos.

A habilidade da leitura e compreensão dos gráficos e das tabelas são requisitos abordados nos PCN, como também na BNCC, com a aplicação da proposta, esperamos levar aos alunos um melhor entendimento sobre essas habilidades, bem como reconhecendo a aplicação do conhecimento científico como possibilidade de transformação social na resolução de problemas de seu entorno (local) e em nível global.

1.2 Revisão da literatura

O canhão de Gauss é um experimento admirável no que diz respeito à possibilidade de se instituir, na prática educativa, uma analogia entre aprender conhecimentos relevantes à física associados à experimentação. Ele é simples, rápido, de fácil realização, baixo custo e com um rico conteúdo de mecânica e magnetismo a ser observado.

Seu funcionamento desperta a curiosidade dos estudantes devido à rapidez do fenômeno e aos inúmeros pensamentos que os estudantes constroem a fim de tentar explicar o experimento. Considerando todas essas vantagens de sua aplicação em sala de aula, é fácil visualizar na internet vários vídeos, artigos, tutoriais, dicas de

aplicação e funcionamento. No intuito de levantarmos um quadro significativo de como o canhão de Gauss tem sido utilizado na pesquisa em ensino de física, realizamos uma minuciosa busca por artigos, dissertações e teses no Brasil, cujo resultado está exposto a seguir.

O Canhão de Gauss em dissertações e teses:

Para realizar este levantamento, fizemos uma busca no repositório da CAPES, no qual encontramos duas dissertações e nenhuma tese, as quais utilizaram o canhão de Gauss em diferentes contextos e metodologias.

Ferreira (2018) buscou investigar como a atividade experimental motiva os alunos a participarem das aulas de física, promovendo a aprendizagem significativa dos conteúdos de cinemática, a partir do experimento Canhão de Gauss. Segundo ele, a aplicação e a análise desse material foram pautadas na teoria da aprendizagem significativa, que foi de fundamental importância para a obtenção de um resultado satisfatório em relação à retenção de conhecimentos pelos alunos.

Rodrigues (2022) buscou construir um modelo do Canhão de Gauss para uso como recurso didático, cujo objetivo foi o de inserir o educando em análises e comparações de fenômenos físicos da Mecânica e do Eletromagnetismo. Tomou como base o diálogo entre os conhecimentos prévios dos estudantes, propostos pela teoria de Ausubel na busca da aprendizagem significativa.

Utilizando, como metodologia, os Três Momentos Pedagógicos, esse experimento do canhão de Gauss possibilitou questionamentos e observações, os quais foram analisados e respondidos pelos estudantes (quanto ao material das esferas, massa, distância, velocidade e aceleração, campo magnético e sua manifestação sob a força magnética) buscando valorizar a curiosidade deles na aprendizagem da física.

Guedes (2019) buscou, no seu trabalho, utilizar o Arduino como uma ferramenta avaliativa, no sentido de possibilitar ao professor entender e auxiliar o¹ aluno em suas construções pessoais. Seu objetivo foi o de mostrar uma ferramenta dinâmica e não puramente observational. Nesta dissertação utilizou-se a aprendizagem significativa de David Ausubel, no tocante à importância de valorizar os

¹ (<https://catalogodeteses.capes.gov.br/catalogo-teses/#/>)

conhecimentos prévios como elemento essencial na assimilação de novos conteúdos, promovendo, dessa forma, um processo de aprendizagem mais profundo e duradouro. A Cinemática foi o assunto escolhido devido a seu grande destaque como primeiro assunto curricular da disciplina de física e sua ampla abordagem no ensino médio.

O Canhão de Gauss em artigos:

Além do exposto acima, realizamos uma busca em doze importantes revistas de ensino de física do Brasil, utilizando o termo “Canhão de Gauss”. A tabela a seguir mostra o resultado de nossa investigação.

O levantamento bibliográfico foi realizado com base em publicações compreendidas entre janeiro de 2019 e dezembro de 2023, com o objetivo de identificar produções científicas recentes que abordassem o tema “canhão de Gauss” no contexto do ensino de Física. Esse recorte temporal foi definido com a intenção de contemplar os últimos cinco anos, permitindo uma análise atualizada das abordagens didáticas e experimentais relacionadas ao tema.

Foram selecionados periódicos com foco na área de ensino de Ciências e Física, especialmente aqueles que abordam práticas pedagógicas, experimentação e formação de professores. Os critérios utilizados para a escolha dos periódicos incluíram: acesso aberto e gratuito aos artigos; publicação em língua portuguesa; regularidade editorial; ISSN válido; reconhecimento acadêmico e indexação em bases como Scielo, DOAJ, Redalyc ou o Portal de Periódicos da CAPES. A seleção priorizou ainda periódicos que contemplam experiências didáticas com baixo custo e com potencial interdisciplinar, características associadas ao uso do canhão de Gauss em sala de aula.

Quadro 1. Quantidade de artigos por periódicos

PERIÓDICO	ISSN	Nº DE ARTIGOS
A Física na Escola	1983-6430	0
Aprendizagem Significativa em Revista	2238-3905	0
Caderno Brasileiro de Ensino de Física	1677-2334	0
Ensaio – Pesquisa em Educação em Ciências	1983-2117	0
Investigações em Ensino de Ciências	1518-8795	0
Revista Brasileira de Ensino de Física	1806-1117	1

Revista do Professor de Física	2594-4746	0
Experiências em Ensino de Ciências	1982-2413	0
Mandacaru	2965-6907	0
Alexandria	1982-5153	0
Holos	1807-1600	0
Semiárido De Visu	2237-1966	0

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Apesar do número expressivo de periódicos consultados, apenas um artigo mencionado na Revista Brasileira de Ensino de Física apresentou o tema “canhão de Gauss”, indicando uma escassez de publicações voltadas à exploração didática desse dispositivo no período analisado. Tal artigo, de autoria de Alcântara & Souza (2023) propõem um estudo teórico e experimental do canhão de Gauss, para aplicação em sala de aula, utilizando os conceitos de magnetismo, cinemática e princípios da conservação da energia e da conservação do momento linear.

Nesse trabalho, o desenvolvimento foi feito baseado em modelos educacionais da conservação da energia do canhão de Gauss e ampliado para apresentar um modelo que utilizasse o princípio de conservação do momento linear e a energia potencial do ímã. Muito embora o citado artigo traga interessantes análise físico-matemáticas do funcionamento do aparato, não relata sua aplicação em situações de ensino, não trazendo, portanto, resultados da eficácia para o ensino dos conteúdos acima elencados.

Além do que foi exposto, destacam-se duas publicações que utilizam o Canhão de Gauss como recurso didático no ensino de Física. Melo et al. (2019) propõem uma abordagem experimental para o estudo da conservação da quantidade de movimento e da energia, favorecendo a aprendizagem por meio da observação e análise dos fenômenos. Já Lopes, Vieira e Boita (2024) apresentam uma sequência didática que integra teoria e prática, com foco na promoção da aprendizagem significativa por meio da experimentação guiada. Ambos os trabalhos, assim como a presente contribuição, podem servir de suporte valioso para professores interessados em metodologias ativas no ensino de Física.

Nossa proposta didática para o Canhão de Gauss:

A presente pesquisa busca se inserir nesta curta tradição do uso do canhão de Gauss como parte integrante de ações de pesquisa em ensino de física, tendo como objetivo demonstrar a importância dos experimentos de cinemática e magnetismo na aprendizagem dos alunos, introduzindo uma concepção científica e aproximando assim, a física do seu cotidiano. A originalidade de nossa proposta é desenvolver no aluno, por meio da atividade experimental, uma compreensão e a consciência da importância de estudar as colisões mecânicas e, além disso, despertar seu potencial de argumentação sobre a respetiva atividade.

A atividade desta proposta é simples, porém riquíssima para o estudo das colisões mecânicas, permite despertar o conhecimento para a compreensão da conservação da energia mecânica, bem como do eletromagnetismo. O nosso objetivo, com essa atividade, é a compreensão dos conteúdos envolvidos, utilizando a aprendizagem significativa de David Ausubel e as Unidades de Ensino Potencialmente Significativas – UEPS de Marco Antônio Moreira. Essa abordagem investigativa permitirá que o estudante analise e reavalie seus conhecimentos prévios e, assim, desperte para novos, por meio da discussão utilizando suas próprias ideias, de forma coerente com os conceitos científicos abordados. Pelo exposto, sintetizamos nossa inquietação no seguinte problema de pesquisa:

Qual a facilitação, no aprendizado do estudo dos choques mecânicos, quando a atividade de ensino é mediada pela experimentação utilizando o canhão de Gauss? Nesse, pretendemos investigar as dificuldades dos estudantes em diferenciar as colisões mecânicas e aplicar os princípios da conservação da energia mecânica e do momento linear, por meio da utilização do canhão de Gauss. Explicar conteúdos como os que acabamos de citar fica mais simples e divertido utilizando tal aparato experimental.

No percurso de pesquisa e ensino, partimos da tese de que as UEPS podem promover aprendizagem significativa, pois os ganhos são fundamentalmente o armazenamento e a lembrança, por um longo período de tempo, do conhecimento assimilado de maneira significativa. O que aumenta a capacidade de aprender outros conteúdos de uma maneira simplificada e com facilidade na aprendizagem.

Podemos observar, por meio da aplicação das UEPS, o desenvolvimento do pensamento crítico, bem como a capacidade de resolução de problemas. Segundo Moreira (2016), as Unidades de Ensino Potencialmente Significativas “São sequências de ensino fundamentadas teoricamente, voltadas para a aprendizagem significativa, não mecânica, que podem estimular a pesquisa aplicada em ensino, aquela voltada diretamente à sala de aula.”

As situações-problema, que serão propostas pelo professor mediador dos significados dos alunos, irão permitir essa interação social com a linguagem apropriada, proporcionando, assim, a construção de significados. Essa relação professor-aluno e materiais educativos potencialmente significativos são de suma importância para a aprendizagem dos alunos (Moreira, 2009), assim como estímulo aos questionamentos. São notáveis e evidentes atitudes mais positivas em relação ao aprendizado, entusiasmo entre professores e alunos na construção do conhecimento, otimizando o pensamento crítico, adaptabilidade, comunicação e habilidades interpessoais.

Capítulo 2 Fundamentação Teórica

Uma vez que nossa dissertação de mestrado está inserida na área de ensino de física, é importante fazermos um estudo na teoria de aprendizagem para fundamentar e servir como base para elaboração da metodologia do trabalho a ser discutida, adiante.

Ser um bom professor vai muito além de dominar e apresentar os conteúdos aos alunos. Um bom professor deve ter habilidades adicionais, além dos conhecimentos específicos da área, para se fazer entender, criar empatia, motivação e tornar a aprendizagem mais efetiva e significativa. Neste sentido, além da importante dimensão afetiva citada, é fundamental que sua prática seja embasada de um conjunto de referências sobre como ensinar. Neste sentido, saber como alguém aprende é condição necessária à reflexão da ação em sala de aula.

David Ausubel (Moreira, 2011a; Moreira, 2011b), criador da teoria da aprendizagem significativa, aponta dois aspectos fundamentais para que se possibilite a aprendizagem, como veremos mais adiante. Um diz respeito à afetividade e o outro, por sua vez, à importância de se considerar os conhecimentos prévios que os alunos trazem para dentro da sala de aula.

É importante que ele valorize o conhecimento prévio do seu estudante levando em consideração o contexto em que ele está inserido, fazendo com que o aluno deixe de ser um elemento passivo e se torne um elemento proativo, ou seja, ele se torna o protagonista na relação ensino e aprendizagem. Neste sentido, os atores assumem seus papéis, ou seja, o professor ensina e o aluno aprende.

Neste capítulo apresentaremos a teoria de aprendizagem significativa de David Ausubel. As Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS), enquanto estratégias pedagógicas sistematizadas, têm se mostrado particularmente frutíferas no ensino de conteúdos abstratos e de difícil compreensão na Física, como é o caso das colisões mecânicas e da conservação do momento linear. Esses temas, inseridos no campo da mecânica clássica, frequentemente desafiam os estudantes não apenas por sua complexidade matemática, mas também pela distância entre os modelos teóricos apresentados e as experiências concretas do cotidiano escolar.

Nesse contexto, o potencial das UEPS está justamente em sua capacidade de estruturar sequências didáticas coerentes com os princípios da aprendizagem

significativa, conforme proposto por David Ausubel. Ao serem elaboradas com base em uma análise criteriosa dos conhecimentos prévios dos alunos e na identificação de conteúdos com alto potencial de ancoragem, as UEPS favorecem a construção ativa e progressiva do conhecimento. Quando aplicadas ao ensino de colisões e conservação do momento, por exemplo, permitem explorar contextos concretos, como acidentes de trânsito, esportes de impacto ou fenômenos da vida cotidiana, que servem como situações-problema autênticas para a mobilização dos conceitos físicos envolvidos.

Ademais, é importante considerar como as UEPS podem ser configuradas para promover aprendizagens conceituais em Física em situações reais de sala de aula. Para isso, é necessário incorporar práticas que superem uma visão empirista ou meramente instrumental da ciência. O ensino de Física, quando centrado apenas na resolução de exercícios e na aplicação de fórmulas, tende a obscurecer os processos de construção do conhecimento científico, bem como os aspectos históricos e filosóficos que lhe conferem sentido. As UEPS, ao serem planejadas com base em uma perspectiva construtivista crítica, podem integrar a discussão sobre como os conceitos de colisão e conservação do momento foram desenvolvidos historicamente, quais problemas motivaram sua formulação e quais controvérsias científicas acompanharam sua consolidação.

Metodologicamente, isso implica organizar as atividades didáticas de forma investigativa, com ênfase na resolução de problemas e na experimentação orientada, permitindo que os estudantes visualizem as variáveis físicas envolvidas nas colisões e refiram criticamente sobre o modelo teórico empregado. Além disso, a mediação docente torna-se essencial para promover a articulação entre os dados empíricos observados, os modelos matemáticos utilizados e as interpretações conceituais construídas coletivamente.

Do ponto de vista sociocultural, é fundamental reconhecer que os alunos chegam à sala de aula com visões de mundo, experiências e valores que influenciam a forma como se apropriam do conhecimento científico. As UEPS, quando sensíveis a esse contexto, podem valorizar essas trajetórias e promover uma educação mais inclusiva e dialógica. Por exemplo, ao tratar de colisões e acidentes de trânsito, pode-se explorar situações vividas pelos próprios alunos em suas comunidades, promovendo a interdisciplinaridade com temas de cidadania, segurança e ética. Tal

abordagem amplia o sentido social da Física escolar e contribui para a formação de sujeitos críticos e capazes de intervir de forma consciente em sua realidade.

Portanto, as UEPS, quando bem planejadas, não apenas facilitam a compreensão de conceitos como colisões e conservação do momento, mas também contribuem para uma educação científica mais crítica, reflexiva e conectada à realidade dos estudantes. Há interessantes publicações sobre o uso de tais referenciais no ensino de conceitos da física, como, por exemplo, o texto didático produzido no âmbito do polo Cariacica/UFES do MNPEF, que trata das colisões mecânicas (Bolzan, 2016).

2.1 Teoria da aprendizagem Significativa.

A teoria da aprendizagem significativa é uma teoria cognitiva que foi criada por David Ausubel (1918-2008), professor emérito da universidade da Columbia (EUA), e, posteriormente, desenvolvida por Joseph Novak, professor da universidade de Cornell em Itaca (EUA) (Moreira, 2011).

Segundo a teoria de David Ausubel, o processo de aprendizagem acontece quando envolve a interação entre a nova informação e a estrutura cognitiva do aluno. Assim, devemos sempre considerar os conhecimentos prévios como ponto de partida para um novo conhecimento. Dessa forma, é necessário que o aluno encontre significado no que está aprendendo, para que efetivamente possa aprender. Essa metodologia de ensino deve ser feita por meio de uma linha cognitivista, onde o foco está nos processos mentais como percepção, resolução de problemas, tomadas de decisões, informações processadas e compreensão a partir de uma avaliação do que os alunos previamente sabem.

O professor tem o papel de identificar quais os subsunções necessários ao novo conhecimento e verificar se o estudante os possui. Feito isto deverá conduzir uma aprendizagem focada na estrutura cognitiva pré-existente do aluno. Assim sendo, não é qualquer conhecimento prévio que deve ser o ponto de partida, mas, precisamente, o conhecimento prévio que seja potencialmente significativo para a aprendizagem de um novo material, ou seja, que guarde proximidade lógica com o que se quer ensinar.

Daí que a aprendizagem significativa vem da interação não arbitrária do novo conhecimento com o conhecimento prévio, ou seja, a interação com algo que seja

relevante e de forma não literal. Aprender não significa internalizar exatamente da forma como o professor ensinou, mas atribuir significado. O aluno não é uma mídia física onde se deposita conteúdo, mas uma estrutura complexa que, ao aprender significativamente, o novo conteúdo se modifica e modifica os conhecimentos prévios que serviram de base a esta aprendizagem, de forma especialmente relevante. Por meio da interação contínua, um determinado subsunçor irá, aos poucos, adquirir um novo significado, tornando-se mais rico, mais refinado, mais diferenciado, com o objetivo de preparar-se melhor para novos aprendizados.

Com o interesse de facilitar a aprendizagem significativa, Ausubel sugere a aplicação de materiais introdutórios que se tornem âncoras para a aprendizagem. Esses materiais, por ele chamados de organizadores prévios, consistem no elo entre o que se quer aprender e a estrutura cognitiva prévia do aluno.

Então como podemos avaliar se ouve ou não aprendizagem significativa? É de extrema relevância não levantamos perguntas ou questionamentos que nos levem às respostas mecânicas ou simplesmente decoradas, pois devemos criar novos contextos nos quais os conteúdos possam ser aplicados para se chegar a uma resposta, ou seja, durante a verificação de aprendizagem devem ser colocados contextos diferentes que estimulem os alunos de tal forma a desenvolverem uma aprendizagem significativa.

Ausubel é um defensor do construtivismo, corrente teórica segundo a qual o aluno é o principal agente construtor de sua aprendizagem. Surgem conflitos cognitivos quando ocorrem questionamentos de esquemas prévios e conceitos novos. Não somente a nova informação, mas também o antigo conceito acaba sofrendo modificações pela interação entre ambos. Quanto à assimilação, Ausubel explica que quando um novo conceito potencialmente significativo (*a*) se relaciona com um subsunçor (*A*) da estrutura cognitiva, surgirá um produto da interação entre (*a*) e (*A*). Este produto (*a'A'*) contém o subsunçor (*A*) e o novo conceito (*a*) modificados pela interação. Na equação abaixo temos um esquema desta interação (Moreira, 2011).

Na Teoria da Aprendizagem Significativa, o processo de assimilação ocorre quando um novo conceito potencialmente significativo (*a*) se relaciona com um conhecimento prévio relevante (*A*), chamado de subsunçor.

No entanto, essa assimilação não é uma simples adição de informações. Tanto o novo conceito quanto o conhecimento prévio são transformados pela interação: o

novo conteúdo é modificado para se adequar à estrutura cognitiva existente, e o conhecimento prévio também se torna mais elaborado, mais estável e capaz de ancorar outros conhecimentos futuros.

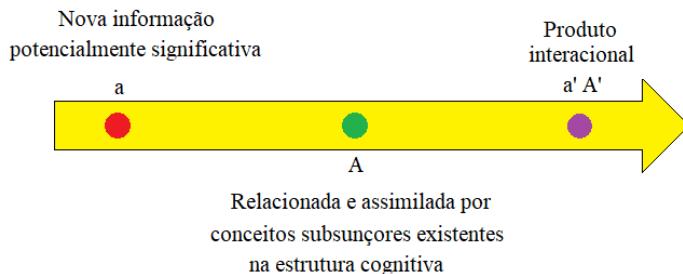
Esse processo é chamado por Ausubel de diferenciação progressiva, pois os conceitos vão se tornando mais complexos e especializados ao longo do tempo. Por exemplo, o estudante que aprende sobre "conservação da energia" pode, mais tarde, compreender "conservação da quantidade de movimento", "conservação da carga elétrica", e assim por diante. Cada novo aprendizado reorganiza e expande os sentidos daquilo que já foi aprendido.

Além disso, ocorre também a reconciliação integradora, que é o estabelecimento de relações entre diferentes conceitos e ideias já existentes na mente do aluno. Essas relações tornam a estrutura cognitiva mais coerente e interligada.

$$(a) + (A) \rightarrow (a'A') \quad (1)$$

Equação produto da interação

Figura 1. Representação da equação produto da interação
(Fonte: elaborada pelo autor).



As ideias de Ausubel (2003) influenciaram muito os educadores responsáveis pelo ensino de física, principalmente por mostrarem que os alunos desenvolvem espontaneamente ideias sobre o mundo físico e, com base em conhecimentos prévios, o ensino deve estar relacionado ao nível de desenvolvimento da saúde mental adaptada à criança.

Outro aspecto que merece destaque com respeito à extensão com que a Teoria da Aprendizagem Significativa se expandiu no Brasil diz respeito à importância da pesquisa impulsionada pelo professor Marco Antônio Moreira (UFRGS), que foi quem a trouxe e que estabeleceu o pioneirismo do uso desta teoria no ensino de física. É também do professor Moreira uma extensão da Teoria da Aprendizagem Significativa

(TAS), a partir do diálogo desta teoria com a perspectiva da educação crítica, denominada por ele de Teoria da Aprendizagem Significativa Crítica.

Além do conceito de subsunçor, utilizamos na nossa pesquisa os conceitos de diferenciação progressiva e reconciliação integradora. Uma vez que um conceito subsunçor já exista na estrutura cognitiva dos alunos, atuando como base para obtenção de novos conhecimentos, o processo de subjunção se dará por meio da diferenciação e reconciliação integradora.

A diferenciação progressiva é definida por Ausubel (Moreira, 2011a) como sendo um princípio que guia a estruturação do conhecimento, sugerindo que se deve começar com conceitos mais gerais e abrangentes e, progressivamente, detalhar e especificar o conteúdo. Já a reconciliação integradora, dentro da Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel, é um processo que envolve a resolução de conflitos cognitivos, superando aparentes contradições e integrando novos conhecimentos com os já existentes na estrutura cognitiva do aprendiz. Neste sentido, é importante frisar que, no planejamento, o professor deve estar atento para a relação de hierarquia entre aquilo que vai ser ensinado e os conceitos subsunçores necessários à ancoragem, de forma que fique claro quando o processo for de integração ou de diferenciação.

É importante destacar que tanto a diferenciação progressiva quanto a reconciliação integradora ocorrem simultaneamente visando buscar a criação de superordenações entre conceitos, promovendo uma aprendizagem mais profunda e significativa, reorganizando a estrutura cognitiva a partir da estrutura hierárquica de conceitos, assim como acontece na estrutura lógica de um conteúdo da física, como, por exemplo, o estudo dos choques mecânicos.

Por exemplo, o conceito de ação e reação é absolutamente necessário à compreensão da interação entre cada esfera e suas vizinhas, mas não comprehende a totalidade do fenômeno. Abaixo desta, existe o conceito de força, por exemplo, e, acima, o conceito de transferência de energia. Esta hierarquia precisa ser considerada no planejamento das ações de ensino. Em ações futuras, deverá haver outros processos de reconciliação e diferenciação, no sentido de construir a ideia de que, classicamente, a transferência de energia também se dá através do transporte por ondas.

2.2 As Unidades de Ensino Potencialmente Significativas

O uso do canhão de Gauss como recurso didático no estudo dos choques mecânicos pode ser eficaz quando articulado às Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS), uma metodologia desenvolvida por Marco Antônio Moreira (Moreira, 2016) com base na Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel (Moreira, 2006; 2011a; 2011b). As UEPS estruturam-se em oito etapas que orientam o processo de ensino de forma a promover a participação ativa dos estudantes, desde o levantamento dos conhecimentos prévios até a avaliação da aprendizagem.

Segundo Moraes (2022, p.21),

“Na Construção da Unidade de Ensino Potencialmente Significativa, faz-se necessário seguir alguns passos para a elaboração e obtenção de bons resultados. Dessa forma, durante o desenvolvimento das UEPS, os organizadores prévios que são informações ou recursos introdutórios que devem ser apresentados como ponte entre o que o aluno já sabe e o que ele deve saber, para que o conteúdo possa ser realmente aprendido de forma significativa. Sendo assim, irá possibilitar as relações, instigando os conhecimentos já existentes, possibilitando a compreensão de novos saberes. As situações-problema darão sentido aos novos conhecimentos, podendo ser utilizadas como organizadores prévios. Para que isso ocorra, faz-se necessário que as situações-problema tenham um grau crescente de complexidade, de modo que, para resolver uma situação, seja necessário a construção de um modelo mental funcional, a unidade de ensino potencialmente significativa.”

No ensino de conceitos como colisões mecânicas e conservação do momento linear, frequentemente os estudantes trazem concepções espontâneas ou fragmentadas. A Teoria da Aprendizagem Significativa oferece subsídios teóricos para que essas concepções sejam mobilizadas como ponto de partida para a construção de novos significados, principalmente quando articuladas a atividades experimentais mediadas por sequências didáticas estruturadas, como as UEPS.

Nesse contexto, o canhão de Gauss não apenas ilustra os princípios dos choques mecânicos, como também se torna objeto de investigação científica em sala de aula. Ao envolver os alunos em atividades práticas, como a observação e análise dos impactos entre esferas metálicas, a UEPS promove uma verdadeira práxis pedagógica, integrando objeto de estudo, metodologia de abordagem, coleta e análise

de dados, além da avaliação dos resultados. Assim, o ensino se transforma em um processo investigativo significativo, que articula teoria e prática de forma integrada e contextualizada.

Moreira (2009) define os oito passos das UEPS e os objetivos de cada um deles da seguinte forma:

- 1º) Definir o tema a ser trabalhado na UEPS, identificando aspectos procedimentais, tais como os aceitos no contexto da disciplina;
- 2º) Aplicação de um questionário inicial, buscando identificar os conhecimentos prévios dos estudantes acerca do tema;
- 3º) Criar e/ou propor situações que possam oportunizar, a partir da identificação dos conhecimentos prévios relevantes da estrutura cognitiva dos alunos, o passo inicial para obtenção de uma aprendizagem significativa;
- 4º) Uma exposição dialogada do tema que compõe a unidade de ensino dos choques mecânicos, de forma a apresentar o conhecimento a ser ensinado/aprendido, levando em consideração a diferenciação progressiva;
- 5º) Retomar aspectos mais gerais sobre o tema em conjunto com a turma para sintetizar os conceitos e equações aprendidos, culminando no que seria um construto de conhecimentos sobre todos os tópicos abordados, propondo o conhecimento de um maior nível de complexidade, colocando novos exemplos e destacando semelhanças e diferenças em relação à primeira apresentação;
- 6º) Concluir a unidade retomando as características mais relevantes do conteúdo em questão, buscando a reconciliação integrativa;
- 7º) Realizar a avaliação da aprendizagem a partir da UEPS;
- 8º) O desempenho dos alunos deverá fornecer evidências de que a aprendizagem significativa é progressiva, não só no campo conceitual, dando ênfase às evidências, e, não, apenas, aos comportamentos finais.

Na UEPS, pretendo promover uma aprendizagem significativa sobre choques mecânicos por meio da experimentação com o canhão de Gauss. A intenção é que os estudantes relacionem seus conhecimentos prévios à nova situação proposta, investigando conceitos como conservação da quantidade de movimento e transferência de energia em choques. O canhão de Gauss, por ser um dispositivo simples e visualmente impactante, favorece o engajamento e estimula a curiosidade dos alunos. Através das etapas da UEPS, os alunos serão incentivados a levantar

hipóteses, testar ideias, coletar e analisar dados, desenvolvendo uma postura investigativa que conecta teoria e prática de forma contextualizada e significativa.

2.3 Análise física do Canhão de Gauss

O canhão de Gauss é um aparato experimental relativamente simples, pois se trata de um acelerador magnético linear, capaz de lançar um projétil. Além de ser simples, e de fácil execução, é riquíssimo nos conteúdos de mecânica e magnetismo que podem ser abordados e investigados. A figura 2 mostra o protótipo desenvolvido por nós para nosso produto educacional. Trata-se de uma impressão 3D, confeccionada em uma impressora 3D do tipo FDM (Modelagem de Disposição Fundida) da marca GT MAX 3D, cujas dimensões são 3 cm de largura e 32 cm de comprimento, sendo, portanto, de fácil transporte e armazenamento.

Figura 2. Canhão de Gauss

(Fonte: elaborada pelo autor).



O aparato é composto de um conjunto de ímãs e esferas de ferro, capazes de transferirem energia cinética de uns para os outros. Com uma série de ímãs, aceleramos uma bolinha metálica, após colisões elásticas sucessivas. A cada colisão, a bolinha impulsionada é acelerada pelo campo magnético do ímã seguinte. Assim, a última bolinha é lançada com uma velocidade considerável, uma vez que adquire a energia acumulada nos sucessivos funcionamentos magnéticos, salvo as perdas pelo atrito e interações, pois, sabemos, que se tratam de choques parcialmente elásticos.

O projeto do Canhão de Gauss desenvolvido no “Simplify3D” e disponibilizado no site², sob o nome “Newtonian Projectile Launcher”, salvo no formato “.stl”, que consiste num formato padrão para desenvolvimento e compartilhamento de projetos de prototipagem rápida. Foi impresso em uma impressora da marca GtMax3D do

² <https://www.thingiverse.com/thing:378696>

modelo A3 V2 utilizando filamento tipo ABS, que funciona com firmware "Marlin" modificado.

Foram gastos 75 gramas de filamento para cada canhão. Foram impressos 04 unidades do Canhão de Gauss. Também foram comprados, para cada canhão, 4 imãs de neodímio no formato pastilha, com diâmetro 12 mm e altura 6 mm, e 7 esferas de aço de diâmetro 9 mm e massa de aproximadamente 3 gramas.

Como podemos observar na figura 2, existem dois conjuntos dispostos no trilho, cada um dos quais composto por dois imãs e três esferas. Os imãs de cada um dos dois conjuntos estão dispostos da sequência N-S-N-S. O motivo de utilizar dois imãs em cada conjunto foi o de aumentar a atração magnética, e, portanto, a aceleração da esfera motora. O intuito de utilizarmos dois conjuntos foi o de estudar as interações de choques mecânicos e a transferência de energia em dois momentos de choques.

Para melhor compreensão da análise física do canhão de Gauss, veremos, a seguir, os conceitos físicos relacionados ao aparato experimental, que servirão como base no processo de ensino e aprendizagem.

Conservação da Energia Mecânica:

O canhão de Gauss é um dispositivo didático que demonstra a conservação da energia mecânica por meio da aceleração de esferas metálicas por imãs permanentes. À medida que a esfera inicial é atraída e ganha velocidade, sua energia cinética é transferida a outras esferas, resultando na ejeção da última com velocidade aumentada. Embora o campo magnético não seja uma fonte clássica de energia, ele realiza trabalho ao acelerar a esfera, permitindo discutir transformação e conservação da energia no sistema. Além de ilustrar conceitos como colisões e transferência de movimento, o canhão de Gauss contribui para uma aprendizagem conceitual significativa no ensino de Física.

Segundo Halliday; Resnick; Walker (2009), em um sistema isolado, onde apenas forças conservativas causam variações de energia, a energia cinética e a energia potencial podem variar, mas sua soma, a energia mecânica E_{mec} do sistema, não pode variar.

A conservação da energia mecânica é um caso particular do princípio geral de conservação de energia. A energia mecânica se conserva quando atuam, no corpo,

apenas forças conservativas, sendo energia total mantida constante. Um sistema é dito conservativo quando as forças que realizam trabalho transformam exclusivamente energia potencial em energia cinética e vice e versa. É o que ocorre com as forças de gravidade, elásticas e eletrostáticas que, por sua vez, são denominadas forças conservativas. Sabe-se que as energias cinética e potencial sofrem variação, todavia sua soma permanece constante, ou seja, a energia mecânica muda sua forma, mas o conteúdo total permanece o mesmo.

Determinação de Valores de Energia Potencial

Os dois valores dos dois tipos de energia potencial discutidos neste capítulo, a energia potencial gravitacional e a energia potencial elástica, podem ser calculados com o auxílio de equações. Para chegar a essas equações precisamos encontrar uma relação geral entre forças conservativas e a energia a elas associada.

Forças conservativas

Segundo Nussenzveig (2002), dizemos que uma força F é conservativa quando o trabalho por ela realizado entre dois pontos é independente do caminho. Neste caso, ele depende só dos extremos e representa a diferença de energia potencial entre eles.

Consideremos uma partícula de massa ‘ m ’ em movimento na vizinhança da superfície terrestre. Adotando um sistema de coordenadas cartesianas com o eixo Oz dirigido verticalmente para cima, as componentes da força gravitacional são:

$$F_x = F_y = 0; F_z = -mg \quad (2)$$

Quando a partícula se move do ponto z_i para o ponto z_f , a força gravitacional F_g realiza trabalho (w) sobre ela. Para determinar a variação da energia potencial gravitacional do sistema partícula-Terra, integramos, ao longo do eixo Z, o produto da força pelo deslocamento vertical, já que a força gravitacional age na direção vertical.

$$W = \int_{z_i}^{z_f} F(z)dz. \quad (3)$$

$$\text{Sendo } F(z) = -mg, \text{ temos: } W = -\int_{z_i}^{z_f} (mg)dz. \quad (4)$$

Considerando que não haja variação de massa e que a variação da aceleração gravitacional, para pequenas alturas, pode ser desprezada, temos:

$$W = -mg \int_{z_i}^{z_f} dz \rightarrow W = -mg(z_f - z_i). \quad (5)$$

Tanto na subida como na descida, a variação ΔU da energia potencial gravitacional é definida como o negativo do trabalho realizado pela força gravitacional sobre a partícula, pois quando a partícula desce, a variação da energia potencial é negativa, e quando sobe, positiva. Usando o símbolo W para o trabalho, podemos expressar esta definição por meio da seguinte equação:

$$\Delta U = -W. \quad (6)$$

Sendo $W = -mg(z_f - z_i)$, temos:

$$\Delta U = -[-mg(z_f - z_i)] \rightarrow \Delta U = mg(z_f - z_i) \rightarrow \Delta U = mg\Delta z$$

$$U_f - U_i = mg(z_f - z_i)$$

$$U(z) = mgz \quad (7)$$

Onde

$$U(P) = U(x, y, z) = mgz = U(z)$$

Para um ponto P de coordenadas (x,y,z).

Esta equação nos diz que a energia potencial gravitacional associada a um sistema partícula-Terra depende apenas da posição vertical z (ou altura) da partícula em relação à posição de referência z = 0.

Energia Potencial Elástica

Ainda segundo Halliday; Resnick; Walker (2009), a energia potencial elástica é a energia associada ao estado de compressão ou distensão de um objeto elástico. Todo objeto possui elasticidade, e, no caso de uma mola, que exerce uma força elástica $F_x = -kx$ (8) quando sua extremidade livre sofre um deslocamento x, a energia potencial elástica pode ser calculada integrando a força da mola nos intervalos (x_f) e ($x_i = 0$). Adotando-se que a energia potencial em x_i é nula, ou seja, $U(X_i) = 0$, temos:

$$U(x_f) - U(x_i) = - \int_{x_i}^{x_f} f(x) dx \quad (9)$$

$$U(x_f) - 0 = - \int_0^{x_f} (-kx) dx$$

$$U(x_f) = \frac{1}{2} kx^2 \quad (10)$$

Assim, para um sistema conservativo, pode ser expresso matematicamente o princípio da conservação da energia mecânica:

$$\begin{aligned} E_{M(\text{Final})} &= E_{M(\text{Inicial})} \\ E_M &= E_{\text{Cinética}} + E_{\text{Potencial}} \Rightarrow \text{Consante} \\ E_{Cf} + E_{Pf} &= E_{Ci} + E_P \end{aligned}$$

Conservação da energia mecânica (11)

Se a energia mecânica não permanecer constante, o sistema é não conservativo, sendo chamado de sistema dissipativo.

A aplicação da conservação da energia mecânica no canhão de Gauss requer diversas idealizações, como ausência de atrito, colisões perfeitamente elásticas e inexistência de dissipações. No entanto, na prática, o experimento envolve perdas por calor, som, atrito e deformações, afastando-se do modelo ideal. Essa discrepância é pedagogicamente relevante: se não for problematizada, pode gerar uma visão simplificada e distorcida da ciência. Discutir os limites do modelo com os alunos promove uma compreensão mais crítica e realista da Física, aproximando o ensino da prática científica e incentivando posturas investigativas.

Conservação da Quantidade de Movimento:

O canhão de Gauss demonstra, de forma prática, o princípio da conservação do momento linear. Quando uma esfera metálica é lançada contra o sistema, seu momento é transferido às demais esferas, fazendo com que a última seja arremessada com maior velocidade. O ganho de velocidade da última esfera está diretamente relacionado ao acúmulo e à redistribuição do momento linear fornecido pela esfera inicial em movimento, combinado com a ação do campo magnético, que canaliza essa energia de forma eficiente. Mesmo com forças magnéticas envolvidas, o sistema conserva o momento linear total, tornando o canhão um recurso didático eficaz para explorar conceitos de física como movimento, energia e forças internas.

Um dos conceitos centrais que pode ser observado nesse processo é o impulso. Em física, o impulso é definido como o produto da força resultante sobre um corpo pelo intervalo de tempo durante o qual essa força atua. No canhão de Gauss, o impulso ocorre principalmente na interação magnética entre o ímã e as esferas metálicas próximas.

Quando estudamos a Lei fundamental da Dinâmica, aprendemos que a força resultante e a aceleração são grandezas diretamente proporcionais. A aceleração adquirida pelo corpo apresenta sempre a mesma direção e o mesmo sentido da força resultante. A equação fundamental $\vec{R} = m \cdot \vec{\gamma}$ (12), elaborada por Euler, é a formalização matemática generalizada da segunda lei de Newton.

Na segunda Lei, a definição de quantidade de movimento, também conhecida como momento linear, coloca a força resultante como sendo igual à variação temporal da quantidade de movimento. Esta formulação será muito útil para entendermos um dos princípios mais importantes da física, o da conservação do momento linear. De acordo com esse princípio, a quantidade de movimento de um sistema de corpos isolado de forças externas é constante. Façamos a análise desse enunciado, pois é possível descrever a segunda lei de Newton para um sistema de partículas na forma $\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt}$ (13), válida para uma partícula isolada. Assim, no intervalo de tempo dt , é dada por:

$$d\vec{p} = \vec{F}(t)dt. \quad (14)$$

Podemos determinar a variação total do momento da partícula provocada pela colisão integrando ambos os membros da equação acima entre os instantes t_i imediatamente antes da colisão até um instante t_f imediatamente após a colisão:

$$\int_{t_i}^{t_f} d\vec{p} = \int_{t_i}^{t_f} \vec{F}(t)dt \quad (15)$$

O lado esquerdo desta equação nos dá a variação do momento: $\vec{P}_f - \vec{P}_i = \Delta \vec{P}$. O lado direito, que é uma medida tanto da intensidade quanto da duração da força de colisão, é chamado de impulso da colisão e representado pelo símbolo \vec{I} , então teremos a definição de impulso dada por:

$$\vec{I} = \int_{t_i}^{t_f} \vec{F}(t)dt \quad (16)$$

Logo, a variação do momento de um objeto é igual ao impulso exercido sobre o objeto:

$$\vec{I} = \Delta \vec{P}. \text{ Se a força de interação é constante, } \vec{I} = \vec{F} \cdot \Delta t.$$

Sendo a grandeza vetorial impulso determinada como $\vec{I} = \vec{P}_{\text{Final}} - \vec{P}_{\text{Inicial}}$ ou $\vec{I} = \vec{F} \cdot \Delta t$, e, como nos sistemas isolados a força resultante será igual à zero, o impulso também será nulo.

Assim temos que $\Delta \vec{P} = 0$ ou, de modo equivalente:

$$\vec{I} = \vec{P}_{\text{Final}} - \vec{P}_{\text{Inicial}} \quad (17)$$

A partir da análise desse dispositivo, é possível medir ou estimar a variação do momento linear das esferas envolvidas e a força magnética média atuante, utilizando o impulso, tempo de interação entre as esferas e o ímã, com uso de sensores ou gravações em câmera lenta, a velocidade final da esfera ejetada, que pode ser comparada com valores teóricos para verificar a conservação do momento. Além disso, o experimento permite discutir a eficiência do sistema e as perdas de energia durante o processo (como som, calor e pequenas deformações), o que enriquece a compreensão do aluno sobre os limites das leis da física em sistemas reais.

Em síntese, o canhão de Gauss não apenas ilustra a transferência de momento e a ação do impulso em sistemas com forças internas, como também serve como excelente ferramenta pedagógica para explorar conceitos fundamentais da dinâmica com base na experimentação e análise quantitativa.

Um exemplo real envolve um carro que colide com um muro. Durante o impacto, a velocidade do carro é rapidamente reduzida a zero, e essa desaceleração acontece devido a uma força intensa aplicada em um intervalo de tempo muito curto. Se o tempo de colisão for prolongado (como no caso do uso de airbags ou zonas de deformação), a força exercida sobre os ocupantes do carro pode ser significativamente reduzida, aumentando as chances de sobrevivência.

A seguir, será apresentado um exemplo numérico para ilustrar como o teorema do impulso se aplica a esse tipo de situação.

Imagine um carro de **1.000 kg** que se move a **20 m/s** (72 km/h) e colide com um muro, parando completamente após a colisão. O tempo de contato entre o carro e o muro é de **0,1 segundo**.

O **Teorema do Impulso** diz que: $\vec{I} = \Delta \vec{P}$

Onde:

$\Delta \vec{p}$ é a variação da quantidade de movimento (momento linear)

\vec{F} é a força média aplicada

Δt é o tempo de interação.

Cálculo:

1. Quantidade de movimento inicial:

$$\vec{P}_{Final} = mv = 1.000 \times 20 = 20.000 \text{ kg.m/s}$$

2. Quantidade de movimento final:

$$\vec{P}_{Incial} = 0 \text{ (pois o carro para)}$$

3. Variação da quantidade de movimento:

$$\vec{I} = \vec{P}_{Final} - \vec{P}_{Incial} = 0 - mv = -1.000 \times 20 = -20.000 \text{ kg.m/s}$$

4. Cálculo da força média:

$$\begin{aligned}\vec{I} &= \vec{F} \cdot \Delta t \\ -20.000 &= \vec{F} \cdot 0,1 \\ \vec{F} &= -200.000 \text{ N}\end{aligned}$$

O sinal negativo indica que a força é contrária ao movimento do carro. Durante a colisão, o muro aplica uma força média de **200.000 N** (em sentido contrário ao movimento) para parar o carro em **0,1 segundo**. Esse é um exemplo clássico de como o impulso e a força se relacionam em colisões, e explica por que medidas de segurança, como *airbags*, aumentam o tempo de contato e reduzem a força aplicada ao corpo, diminuindo lesões.

Choques mecânicos ou colisões:

Quando dois ou mais corpos entram em contato, dizemos que há uma colisão ou um choque. Um jogo de bilhar é um excelente cenário para observarmos um bom número de colisões mecânicas, sejam elas entre bolas ou entre uma bola e a borda da mesa, ou ainda entre o taco do jogador e a bola.

Tais choques ocorrem em curtíssimo intervalo de tempo, e as forças internas trocadas durante o fenômeno são muito intensas e de curta duração, comparadas às forças externas que eventualmente agem sobre o sistema. Isso leva à conservação da quantidade de movimento imediatamente antes e depois da colisão. Tal aproximação ao caso ideal é bastante segura, pois a perda de energia é desprezível em relação ao quantitativo de energia em jogo. Segundo Baptista (2006), o momento

linear de um corpo de massa m e velocidade v é definido como $\vec{p} = m\vec{v}$. Consideremos então um conjunto isolado de n partículas de massas e velocidades iguais a $m_1, m_2, \dots, e v_1, v_2, \dots$, então o momento linear total deste sistema isolado de partículas será dado por:

$$m_1 \cdot v_1 + m_2 \cdot v_2 + \dots + m_n \cdot v_n = constante$$

Por outro lado, se, durante a evolução do sistema, as partículas tiverem suas velocidades alteradas, a soma dos momentos lineares será ainda constante, ou seja,

$$m'_1 \cdot v'_1 + m'_2 \cdot v'_2 + \dots + m'_n \cdot v'_n = Constante$$

Ainda segundo Baptista (2006), esta última observação destaca o fato de que o momento linear total de um sistema de partículas isoladas é constante e será também constante em qualquer referencial que se desloque com velocidade retilínea e uniforme em relação ao primeiro. Este é um aspecto importante e reflete explicitamente a contribuição das ideias científicas de Galileu Galilei sobre a relatividade do movimento.

Duas fases podem ser distinguidas numa colisão mecânica: a de deformação e a de restituição. A fase da deformação é aquela que ocorre quando os corpos entram em contato e passam a se deformar mutuamente. Nessa fase, há, geralmente, degradação de energia mecânica (cinética) em energia térmica, energia sonora, dentre outras dissipações. Por isso, a maior parte das situações onde ocorre colisão mecânica constitui-se num sistema dissipativo. Excepcionalmente, porém, no caso de as perdas de energia mecânica serem desprezíveis, e, somente nesse caso, consideramos um sistema conservativo.

A fase da restituição é aquela que começa após a fase da deformação, entretanto, não ocorre em todas as colisões. É fácil perceber, por exemplo, que, em uma batida entre dois automóveis, não há a restituição de sua energia.

Uma solução tecnológica encontrada para salvar vidas em casos como o do exemplo numérico colocado na seção anterior, no qual calculamos a força de frenagem de um carro que colide num muro, é o ‘airbag’, que visa à segurança dos passageiros diante de uma indesejável e possível colisão. As grandezas físicas que fazem com que esse dispositivo seja eficaz são o impulso e a quantidade de movimento. Seu funcionamento permite um tempo de colisão maior possível, já que para cada colisão o produto $\vec{F}x\Delta t$ será constante.

Dessa forma, quanto maior o tempo da colisão, menor será a força média e, por conseguinte, menor será a chance de danos aos ocupantes do carro. Isso é particularmente possível porque tal dispositivo é composto de um balão inflável que permite um amortecimento mais lento. Lembremos que não há muito tempo, os para-choques dos carros eram verdadeiras barras de aço, duras e pesadas.

Por outro lado, a lataria era igualmente feita de aço bem mais espesso do que o dos carros modernos. Não havia quase plástico. Consequentemente, nas colisões, a parada era brusca, pois não havia partes do carro ‘moleis’, ideais para o amortecimento lento acima discutido. O resultado era o de que os ocupantes sofriam, quase sempre, lesões diversas. O que mudou?

Antes o objetivo dos para-choques era o de preservar a estrutura do carro, pouco importando o que pudesse acontecer aos ocupantes. Hoje, o que importa é preservar a vida, a integridade das pessoas. A tendência é a de que, gradativamente, o aço seja substituído pelo alumínio, metal bem mais ‘mole’.

Outro exemplo que segue a mesma linha de raciocínio, é quando um goleiro estica os braços para receber a bola após um chute intenso. Primeiro ele estica os braços e, simultaneamente à chegada da bola, ele os retrai, aumentando o tempo de contato Δt e diminuindo a força média, uma vez que $\vec{I} = \vec{F} \times \Delta t$. Como podemos ver no esquema da figura 3, quando se aumenta o tempo de contato, diminui-se a força média. Os exemplos postos são apenas ínfima parte da imensidão de aplicações destes princípios na vida cotidiana.

Figura 3. Conservação do impulso

(Fonte: elaborada pelo autor).

$$\uparrow F_x \Delta t \downarrow = \downarrow F_x \Delta t \uparrow$$

O estudo das colisões mecânicas unidimensionais oferece excelentes exemplos de como os conceitos fundamentais da física, como vetores, conservação de energia e momento linear se integram em modelos quantitativos robustos. Esses modelos não apenas explicam o comportamento de corpos em laboratório, mas também têm aplicações práticas em engenharia de veículos, esportes, design de equipamentos de proteção e até física de partículas. A compreensão profunda desses princípios é essencial para a análise precisa de qualquer situação que envolva interações dinâmicas entre corpos em movimento.

Coeficiente de restituição ou de elasticidade (e):

O coeficiente de restituição (e) é uma grandeza física empregada para medir as propriedades elásticas dos corpos e a variação de energia cinética eventualmente sofrida em uma colisão. É importante enfatizar que o coeficiente de restituição é uma grandeza adimensional, pois é resultado da divisão de duas grandezas iguais, quais sejam os módulos das velocidades relativas de afastamento (após a colisão) e de aproximação (antes da colisão). Tal grandeza não depende da massa dos corpos, mas depende dos materiais com os quais são constituídos os corpos que participam da colisão. Seu valor normalmente está compreendido entre 0 e 1, dependendo do tipo de choque que está ocorrendo: $0 \leq e \leq 1$.

Define-se, matematicamente, o coeficiente de restituição como sendo:

$$e = \frac{\text{Velocidade relativa de afastamento (depois)}}{\text{Velocidade relativa de aproximação (antes)}} \quad (18)$$

De acordo com os valores do coeficiente de restituição, as colisões mecânicas unidimensionais classificam-se em elásticas ($e = 1$) sem perda de energia cinética, parcialmente elástica ($0 < e < 1$) com dissipação de energia e perfeitamente inelástica ($e = 0$) os corpos se movem juntos após o impacto.

Vimos que o Canhão de Gauss é um experimento simples e visualmente impressionante que ilustra conservação de momento, transferência de energia e efeitos de colisões sequenciais. Embora o foco do experimento esteja na transferência de energia e momento por meio de forças magnéticas e colisões sequenciais, o coeficiente de restituição pode ser aplicado à colisão final, entre a última esfera do conjunto e a esfera ejetada.

Observe o exemplo a seguir entre duas esferas de mesma massa que colidem ilustrando de forma semelhante ao canhão de Gauss:

Considere uma colisão unidimensional entre duas esferas de mesma massa (0,1 kg), onde a esfera 1 (em movimento) atinge a esfera 2 (em repouso), antes da colisão: $v_1 = 2,0 \text{ m/s}$ e $v_2 = 0$, após a $v'_1 = 0,6 \text{ m/s}$ e $v'_2 = 1,2 \text{ m/s}$. Aplicando a definição do coeficiente de restituição teremos:

$$e = \frac{(1,2 \text{ m/s} - 0,6 \text{ m/s})}{(2,0 \text{ m/s} - 0 \text{ m/s})} \frac{\text{Velocidade relativa de afastamento}}{\text{Velocidade relativa de aproximação}}$$

$$e = \frac{0,6}{2,0} = 0,3$$

O valor encontrado do coeficiente de restituição ($e = 0,3$) indica uma colisão parcialmente elástica, o que significa que parte da energia cinética foi dissipada durante o impacto. Para quantificar isso, podemos comparar a energia cinética antes e depois da colisão:

Antes da colisão:

$$E_{\text{Cin},i} = \frac{mv_1^2}{2} = \frac{0,1 \times (2)^2}{2} = \frac{0,4}{2} = 0,2 \text{ J}$$

Depois da colisão:

$$E_{\text{Cin},f} = \frac{0,1 \times (0,6)^2}{2} + \frac{0,1 \times (1,2)^2}{2} = 0,018 + 0,072 = 0,09 \text{ J}$$

Energia dissipada:

$$\Delta E = 0,2 \text{ J} - 0,09 \text{ J} = 0,11 \text{ J}$$

Observe que mais da metade da energia inicial foi perdida na forma de calor, deformações e som, comum em colisões entre objetos metálicos reais, como no canhão de Gauss.

No canhão de Gauss, a energia transferida à última esfera (a ejetada) depende não apenas do impulso magnético inicial e da conservação do momento, mas também da elasticidade das colisões entre as esferas. Um coeficiente de restituição maior entre as esferas garante uma melhor transferência de energia cinética, o que resulta em uma velocidade final mais alta da esfera ejetada. Quando o coeficiente de restituição (e) é pequeno, mas energia é dissipada em cada colisão intermediária, e o efeito de "multiplicação" de velocidade é reduzido.

Portanto, além de ser um experimento visualmente atraente, o canhão de Gauss ilustra com clareza como a elasticidade das colisões afeta diretamente a eficiência na transferência de energia, e como o coeficiente de restituição é uma ferramenta fundamental para quantificar esse comportamento em uma modelagem precisa.

Colisões perfeitamente elásticas:

As colisões perfeitamente elásticas constituem um modelo idealizado da mecânica clássica, no qual tanto a energia cinética quanto a quantidade de movimento são conservadas durante a interação entre corpos. Embora raras em sistemas reais, essas colisões fornecem um referencial teórico importante para a compreensão de diversos fenômenos físicos.

Colisões perfeitamente elásticas são choques em que a velocidade relativa de aproximação e a velocidade relativa de afastamento, imediatamente antes e depois da colisão, são iguais em módulo, o que fará com que o coeficiente de restituição seja igual a 1. Neste tipo de choque, a energia cinética final do sistema é igual à energia cinética inicial ($E_{Ci} = E_{Cf}$), isto é, o sistema é conservativo. Além da conservação da energia cinética, a quantidade de movimento ou momento linear também se conserva durante a colisão ($\vec{P}_i - \vec{P}_f$), pois o sistema de corpos é isolado de forças externas.

O canhão de Gauss representa um exemplo didático que pode ser analisado à luz desse modelo, pois trata-se de um dispositivo experimental que utiliza forças magnéticas para acelerar esferas metálicas, baseando-se na transferência de energia cinética por meio de interações magnéticas e colisões.

No contexto idealizado, a análise das interações entre as esferas metálicas pode ser aproximada pelo modelo de colisão perfeitamente elástica. Em tal tipo de colisão, tanto a quantidade de movimento linear quanto a energia cinética total do sistema são conservadas. Esse conceito é amplamente utilizado como referencial teórico para descrever interações em que não há perda significativa de energia na forma de calor, som ou deformação permanente dos corpos. A colisão perfeitamente elástica, embora rara na natureza, fornece um modelo útil para compreender os princípios fundamentais das interações dinâmicas entre corpos.

Colisões parcialmente elásticas:

Colisões parcialmente elásticas são choques em que o módulo da velocidade relativa de afastamento será menor do que o módulo da velocidade relativa de aproximação, fazendo com que o coeficiente de restituição assuma valores compreendidos entre 0 e 1.

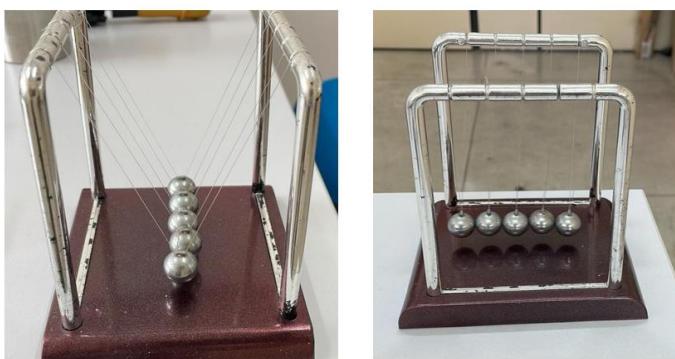
Neste tipo de colisão há conservação da quantidade de movimento ($\vec{P}_i - \vec{P}_f$), mas não da energia cinética inicial, que tem seu valor reduzido ($E_{Cf} < E_{Ci}$), sendo esse sistema dissipativo de energia.

O pêndulo de Newton consiste num excelente exemplo do choque parcialmente elástico. É um aparato que pode ser utilizado em sala de aula para demonstrar o estudo das colisões citadas acima, pois nos traz conceitos como conservação da quantidade de movimento e da energia mecânica nas colisões. O aparelho consiste num conjunto de pêndulos bifilares, acoplados por meio de uma suspensão metálica, de tal forma que, no repouso, as esferas permanecem juntas.

A suspensão bifilar é absolutamente necessária para mantê-los alinhados, garantindo que todos os sucessivos choques dar-se-ão sempre na mesma direção. A figura 4 mostra um exemplar de tal aparato, nas visões frontal e lateral, contendo cinco esferas, penduradas em dois suportes de metal, em forma de “U” invertido, os quais estão fixos numa base de madeira.

Figura 4. Pêndulo de Newton

(Fotos do autor)



Seu funcionamento consiste em abandonarmos a esfera da esquerda de uma posição mais elevada, ela desce, transformando a energia potencial inicial em energia cinética. Ao atingir o nível inferior, essa esfera colide frontalmente com sua vizinha em repouso e o impacto se transmite para as quatro esferas subsequentes, propagando-se, por meio delas, até manifestar-se na esfera da direita. Esta, por ser a última, se eleva e retorna, colidindo com as cinco esferas em repouso, reiniciando a transferência de energia, agora no sentido contrário, fazendo a esfera da esquerda subir.

O movimento repete-se por várias vezes até parar em razão das perdas de energia que ocorrem no sistema. As figuras 5, 6 e 7 mostram três instantâneos do comportamento do aparato. No primeiro (figura 5), a esfera da esquerda é liberada de uma determinada altura. Esta esfera atinge a sua vizinha. No choque, a energia é transferida desta para a segunda esfera. Depois, da segunda para a terceira e da terceira para a quarta e, por fim, da quarta para a quinta esfera. Esta, por sua vez, sai em movimento ascendente (figuras 6 e 7).

Figura 5. Comportamento do Pêndulo de Newton

(Foto do autor)



Figura 6. Comportamento do Pêndulo de Newton

(Foto do autor)

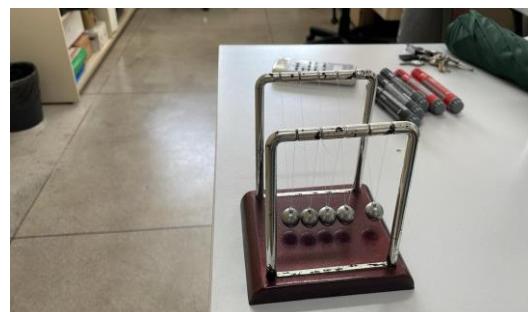


Figura 7. Comportamento do Pêndulo de Newton

(Foto do autor)



Na hipótese de considerarmos desprezíveis todas as forças dissipativas, o sistema permanecerá oscilando indefinidamente, com as esferas das extremidades atingindo sempre a mesma altura após receber o impacto da esfera ao seu lado.

Portanto, haverá nesse caso, conservação da energia mecânica total e também da quantidade movimento do sistema. Nessa hipótese teremos uma colisão perfeitamente elástica.

O canhão de Gauss é um experimento que demonstra a transferência de energia e momento linear entre esferas metálicas alinhadas, impulsionadas por um ímã central. A primeira esfera, ao colidir com o conjunto que está em repouso, a energia é transmitida sucessivamente até a última, que é ejetada com velocidade aumentada, evidenciando a conservação do momento e a ação da força magnética inicial. Durante esse processo, o comportamento das esferas se assemelha ao de colisões parcialmente elásticas, nas quais parte da energia cinética é conservada e parte é dissipada em forma de calor, som e deformações inelásticas. Essa dinâmica também é observada no pêndulo de Newton, onde a energia é transferida entre esferas metálicas com perda mínima, mas inevitável, refletindo o mesmo princípio físico presente no canhão de Gauss.

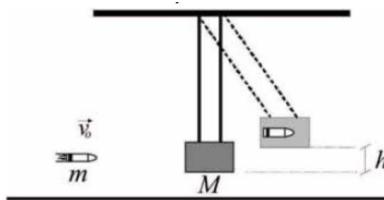
No entanto, ao considerar a realidade física dessas interações, torna-se evidente que o sistema se comporta como uma sequência de colisões parcialmente elásticas. Avaliar o coeficiente de restituição e os mecanismos de dissipação envolvidos é essencial para compreender, e até otimizar, a eficiência desses dispositivos em contextos experimentais ou tecnológicos.

Colisões perfeitamente inelásticas:

Colisões perfeitamente inelásticas são choques em que a velocidade relativa de afastamento é nula. Neste tipo choque, os corpos caminham juntos após a colisão, fazendo com que o coeficiente de restituição seja igual à zero. As colisões inelásticas são sistemas dissipativos com máxima dissipação de energia, nos quais a energia cinética diminui ($E_{Cf} < E_{Ci}$). Porém, tem-se a conservação na quantidade de movimento $\left(\vec{P}_i = \vec{P}_f \right)$.

O pêndulo balístico (figura 8) é um dispositivo prático no qual ocorre uma colisão perfeitamente inelástica. Este, por sua vez, é utilizado para determinação da velocidade de projéteis.

Figura 8. Pêndulo balístico
(Questão 173456 – UEL 1º Fase 2018)



O projétil de massa m e velocidade v , proveniente de um disparo na horizontal, irá alojar-se no bloco, fazendo com que o conjunto seja elevado até determinada altura máxima h . Pela lei da conservação do momento, temos que: o momento anterior ao choque é igual ao momento posterior ao choque.

$$\vec{P}_{\text{antes}} = \vec{P}_{\text{depois}} \rightarrow m \cdot \vec{v} = (M + m) \vec{V} \rightarrow \vec{V} = \frac{m \cdot \vec{v}}{(M+m)} \quad (19)$$

A energia cinética, imediatamente após a colisão, é transformada em energia potencial.

$$E_c = E_p \rightarrow \frac{(M+m)}{2} \cdot V^2 = (M+m) \cdot gh \rightarrow V = \sqrt{2gh} \quad (20)$$

$$\text{Igualando (20) e a (21) teremos: } V = \frac{(M+m)}{2} \cdot \sqrt{2gh} \quad (21)$$

Por meio do resultado obtido, é possível determinar a velocidade do projétil. Conhecendo a altura atingida pelo bloco e daí, conhecendo-se as massas e o valor de g , calcula-se a velocidade do projétil. O quadro a seguir nos traz as relações entre os diferentes tipos de colisões mecânicas:

Quadro 2 – relação entre os diferentes tipos de choques

Principais tipos de choque	Coeficiente de restituição	Energia	Quantidade de movimento
Perfeitamente elástico	$e = 1$	Conservação da energia cinética	Constante $\vec{P}_{\text{antes}} = \vec{P}_{\text{depois}}$
Parcialmente elástico	$0 < e < 1$	Dissipação Parcial	Constante $\vec{P}_{\text{antes}} = \vec{P}_{\text{depois}}$
Perfeitamente inelástico	$e = 0$	Máxima Dissipação	Constante $\vec{P}_{\text{antes}} = \vec{P}_{\text{depois}}$

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

2.4. Fundamentação teórica da metodologia da pesquisa

A metodologia adotada na nossa pesquisa de constituiu a partir das contribuições de Maria Cecília de Souza Minayo, Antoni Zabala, Antonio Flávio Barbosa Moreira e Vera Maria Candaua, definindo, por meio deles, o tipo de pesquisa, o delineamento, o instrumento de coleta de dados, bem como os critérios de análise dos dados.

Segundo Minayo (2001), a metodologia é o caminho constitutivo do pensar as ligações entre o planejamento e a prática exercida durante a pesquisa, ocupando um lugar central no interior das teorias. Por outro lado, muito embora a metodologia determine os passos a serem seguidos, haverá sempre uma parcela criativa do pesquisador, consistindo, portanto, numa ressignificação do arcabouço teórico, ao passar nas ‘mãos’ de quem a utiliza. É um conjunto de técnicas a serem postas a serviço da intervenção na realidade, o que não deve substituir nunca a criatividade do pesquisador, mas unir-se a ela na construção de uma interpretação da realidade estudada.

Nossa pesquisa, cujo objeto de análise é a prática da física, com olhar centrado na evolução das explicações que os estudantes constroem da atividade experimental investigada, se caracteriza como uma pesquisa qualitativa, com delineamento de estudo de caso, cujo produto educacional foi aplicado a partir da construção de uma sequência didática, e cuja análise de tal aplicação se deu pela comparação da evolução das respostas dadas pelos estudantes envolvidos aos questionários inicial e pós atividade. Nos parágrafos a seguir, apresentamos o recorte de cada uma das fundamentações utilizadas na caracterização de nossa sequência didática.

O que é uma pesquisa qualitativa?

Segundo Minayo (2001), uma pesquisa qualitativa é aquela que trabalha com o universo dos significados, dos motivos, das aspirações, das crenças, dos valores e das atitudes. Em outras palavras, a pesquisa qualitativa busca compreender a realidade a partir da perspectiva dos sujeitos envolvidos, valorizando os aspectos subjetivos, simbólicos e sociais que não podem ser quantificados de forma objetiva.

Ainda segundo Minayo, a pesquisa qualitativa foca em fenômenos complexos e inseridos em contextos específicos, buscando interpretações profundas das ações humanas. Para isso, utiliza métodos como entrevistas abertas, observação participante, grupos focais e análise de conteúdo. Ela trabalha com amostras intencionais e não probabilísticas, sendo caracterizada pela atuação do pesquisador como instrumento central da investigação, em constante interação com o objeto estudado.

A pesquisa qualitativa não pretende generalizar resultados, mas sim compreender sentidos e significados em contextos específicos, sendo especialmente útil em áreas como ciências sociais, saúde coletiva, educação e psicologia.

Pesquisa interpretativa

A pesquisa interpretativa, conforme destacam Moreira e Candau (2005), se insere no campo das abordagens qualitativas e parte do pressuposto de que a realidade social é construída pelos sujeitos em interação, sendo, portanto, plural, dinâmica e carregada de significados. Nesse tipo de investigação, o foco está em compreender o sentido das ações humanas e das práticas sociais no contexto em que ocorrem, valorizando a subjetividade, a linguagem, os valores culturais e os processos de construção de sentido.

Segundo Moreira, a pesquisa interpretativa não busca prever ou controlar variáveis, mas sim interpretar os fenômenos a partir das perspectivas dos participantes e das múltiplas leituras possíveis da realidade. O pesquisador, nesse processo, atua como um mediador de significados, envolvendo-seativamente com o campo de estudo e com os sujeitos pesquisados. Assim, o conhecimento produzido é sempre situado, contextualizado e provisório, resultado de um diálogo entre os dados empíricos, o referencial teórico e a sensibilidade do pesquisador.

Essa abordagem tem sido amplamente utilizada em investigações nas áreas de educação, saúde, cultura e estudos sociais, por sua capacidade de captar a complexidade das relações humanas e dos processos formativos. Em suma, a pesquisa interpretativa busca reconhecer e interpretar a diversidade de sentidos atribuídos pelos sujeitos às suas experiências, considerando que compreender é sempre um processo de construção compartilhada entre pesquisador e participantes.

O que é uma sequência didática?

Segundo Antoni Zabala (1998), uma sequência didática é um conjunto ordenado, estruturado e articulado de atividades de ensino e aprendizagem, com o objetivo de alcançar determinados conteúdos ou competências. Essa sequência é planejada de forma progressiva, respeitando a lógica de desenvolvimento dos alunos e os objetivos educacionais propostos. Uma sequência didática está orientada por objetivos claros, parte dos conhecimentos prévios dos alunos e propõe atividades organizadas em ordem crescente de complexidade. Além disso, inclui momentos de avaliação e reorientação da aprendizagem e tem como foco o desenvolvimento de competências, indo além da simples memorização de conteúdos.

Para Zabala, a sequência didática não é um simples agrupamento de tarefas, mas sim uma proposta pedagógica coerente e intencional, que considera o ponto de partida dos alunos, seus conhecimentos prévios, as dificuldades previstas e os caminhos mais adequados para promover aprendizagens significativas.

A sequência tem sido uma das formas de organização de produtos educacionais mais utilizadas nos programas profissionais em ensino de física. Uma revisão que corrobora com esta afirmação foi realizada em todos os produtos educacionais produzidos pelo Polo 32 do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (Nesi; Batista, 2018). As autoras buscaram investigar e caracterizar o perfil teórico metodológico de tais produtos. Os resultados apontaram que a sequência didática foi a perspectiva metodológica mais utilizada para a constituição dos produtos. Dos dezesseis produtos educacionais analisados na nossa revisão bibliográfica, dez a utilizaram.

O questionário como instrumento de coleta de dados

Segundo Moreira; Candaú (2003), uma característica importante da pesquisa em ensino diz respeito aos instrumentos de medida, tais como testes de conhecimento sob os mais diversos formatos, escalas de atitude, fichas de observação e questionários, sendo este último altamente utilizado, requerendo cuidado na sua elaboração, sob pena de não serem respondidos ou de fornecerem informações distorcidas.

Segundo Antônio Carlos Gil (Gil, 2008), o questionário é um dos instrumentos mais utilizados na coleta de dados em pesquisas, especialmente nas abordagens quantitativas, mas também pode ser adaptado a estudos qualitativos. Ele consiste em um conjunto estruturado de perguntas, que pode ser aplicado de forma presencial, ou por meios digitais, com o objetivo de obter informações diretamente dos participantes sobre opiniões, comportamentos, características ou experiências.

Gil destaca que o questionário deve ser claro, objetivo e adequado ao público-alvo, e seu sucesso depende de um bom planejamento, da formulação cuidadosa das questões e da sequência lógica das informações. As perguntas podem ser fechadas (com opções de resposta definidas) ou abertas (permitindo respostas livres), conforme o tipo de dado desejado e a abordagem metodológica adotada.

Análise comparativa dos questionários

Segundo Moreira (2001), a análise comparativa de questionários é uma estratégia importante para interpretar os dados coletados, especialmente quando se busca identificar padrões, contrastes e convergências nas respostas dos participantes. Ao comparar as respostas a um mesmo conjunto de perguntas, o pesquisador pode perceber semelhanças e diferenças significativas entre sujeitos, grupos ou contextos, o que enriquece a compreensão dos fenômenos estudados.

Essa análise não se resume a quantificar respostas, como na abordagem estatística tradicional, mas envolve uma leitura interpretativa, que considera os sentidos atribuídos pelos respondentes às questões propostas. Para isso, é necessário organizar os dados de maneira sistemática, geralmente por meio de categorias temáticas, que permitam relacionar as falas ou respostas escritas com os objetivos da pesquisa.

Além disso, Moreira destaca que a análise comparativa em pesquisas qualitativas deve levar em conta o contexto sociocultural e a experiência dos sujeitos, pois o significado das respostas pode variar de acordo com suas vivências e percepções. Assim, o foco está menos na frequência das respostas e mais na profundidade e diversidade de significados que elas revelam.

Por meio do delineamento acima descrito, esta pesquisa se insere no campo da pesquisa qualitativa, com ênfase em um estudo de caso. Tal abordagem permite

compreender em profundidade os fenômenos educacionais observados em um contexto específico, considerando os significados atribuídos pelos sujeitos envolvidos. Nesse sentido, a investigação foi conduzida com base na atuação do pesquisador também como professor, o que reforça o caráter participativo e interpretativo do estudo.

A aplicação do produto educacional ocorreu por meio de Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS), utilizadas como estrutura didática para a intervenção pedagógica. No âmbito dessa proposta, os instrumentos de coleta de dados adotados incluíram um questionário diagnóstico inicial, um questionário final, além da análise dos resultados obtidos nas atividades experimentais realizadas pelos estudantes. Esses dados foram tratados a partir de uma análise descritiva e interpretativa, em consonância com os princípios da pesquisa qualitativa, permitindo compreender as contribuições da intervenção para o processo de ensino e aprendizagem.

Capítulo 3 Desenvolvimento do Produto educacional

3.1 Apresentação

Nosso produto educacional consiste em uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS), elaborada com base nos oito passos característicos da metodologia proposta por Marco Antônio Moreira. Essa metodologia, consolidada na pesquisa em ensino de Ciências, especialmente no ensino de Física, ancora-se na Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel, a qual reconhece que a aprendizagem ocorre de maneira mais eficaz quando novos conhecimentos se relacionam de modo não arbitrário e não literal com o que o aluno já sabe, ou seja, com seus subsunções. Tal metodologia tem sido amplamente utilizada na pesquisa em ensino, em diversas áreas do conhecimento (André; Silva, 2022). O não arbitrário significa que o processo de ancoragem não é aleatório, ou seja, não é qualquer subsunçor, mas aqueles que sejam potencialmente significativos. Por outro lado, ser não literal significa que a aprendizagem por ancoragem modifica o subsunçor e, ao mesmo tempo, o material a ser aprendido. Aprender é, portanto, atribuir significado.

Sob essa perspectiva, a construção do conhecimento em sala de aula deve partir dos conhecimentos prévios dos estudantes, que funcionam como ancoradouros para a aprendizagem de novos conteúdos. A aprendizagem significativa ocorre quando há interação entre o significado lógico do conteúdo, ou seja, sua estrutura conceitual objetiva e coerente, e o significado psicológico, que depende do grau de familiaridade e da predisposição do estudante para aprender aquele conteúdo. O professor, nesse contexto, assume um papel fundamental como mediador do processo de subsunção, promovendo condições favoráveis para que os alunos reorganizem cognitivamente seus esquemas conceituais, a partir de atividades que desafiem suas concepções espontâneas.

A proposta desenvolvida nesta UEPS parte da premissa de que unidades de ensino planejadas com intencionalidade teórica e metodológica podem potencializar a autonomia intelectual e a criticidade nas aulas de Física, ao mesmo tempo em que transformam a curiosidade ingênua dos alunos em curiosidade que contribua para a aprendizagem conceitual. Essa transformação é fundamental para o desenvolvimento de um pensamento científico mais elaborado e reflexivo.

Nesse contexto, o canhão de Gauss foi escolhido como recurso central da UEPS, não apenas por seu apelo motivacional, mas também por seu potencial didático-cognitivo. Trata-se de um dispositivo experimental que permite explorar, de forma integrada, conceitos fundamentais da mecânica e do eletromagnetismo, como o magnetismo, as colisões parcialmente elásticas, a transferência de energia cinética e a conservação da quantidade de movimento, muito embora nossa sequência buscasse contemplar apenas o estudo dos choques mecânicos. A observação e a análise do funcionamento do aparato criam oportunidades significativas para que os alunos confrontem suas concepções prévias sobre choques, forças e energia, permitindo a identificação de inconsistências e a construção de explicações mais sofisticadas, ou seja, favorecendo reestruturações conceituais.

Além de estimular o interesse dos alunos, o canhão de Gauss cria um ambiente propício para a aprendizagem significativa, na medida em que os fenômenos observados podem ser articulados com conceitos científicos mais amplos e abstratos. Ao interagir com o experimento e com os argumentos desenvolvidos em sala, os estudantes são levados a revisar e reorganizar seus subsunções, promovendo mudanças cognitivas duradouras e relevantes, conforme os princípios da teoria ausubeliana.

Assim, a UEPS proposta não apenas valoriza a mediação pedagógica e o protagonismo do estudante, como também incorpora um aparato experimental que, além de ilustrar conteúdos físicos com clareza, favorece o desenvolvimento de estruturas cognitivas mais elaboradas, alinhadas a uma visão crítica, investigativa e teoricamente fundamentada da ciência.

A organização da unidade se deu de forma sequencial e articulada, iniciando-se com o levantamento dos subsunções relevantes, por meio de estratégias de sondagem das concepções prévias dos alunos. Essa etapa visa identificar estruturas cognitivas já existentes que possam ancorar os novos conhecimentos, assegurando a relação não arbitrária entre conteúdo novo e conhecimento anterior. Tal etapa se deu por meio da resposta ao questionário inicial, no qual buscamos sondar qual o grau de entendimento dos conceitos de vetores, colisões, energia mecânica, momento linear e conservação da energia e do momento.

Em seguida, foram planejadas situações de conflito cognitivo, por meio da introdução do canhão de Gauss como recurso experimental central. Esse aparato foi

escolhido por sua capacidade de gerar interesse e por permitir a exploração de conceitos fundamentais da física, como interações magnéticas, choques parcialmente elásticos, conservação da energia e da quantidade de movimento, em um contexto acessível e observável. O experimento é utilizado não apenas como instrumento demonstrativo, mas como elemento provocador de questionamentos, instigando os alunos a revisarem suas concepções intuitivas. Tal atividade experimental foi guiada por situações-problema em que se buscou possibilitar que eles mesmos realizassem a atividade prática, mediada pelas seguintes seis situações: determinação da direção e o sentido do vetor velocidade, natureza da força de atração e aceleração, modalidade da energia que a última esfera adquire ao sair do trilho, classificação das colisões com e sem forças dissipativas e velocidade de saída da última esfera.

A UEPS foi organizada de modo a alternar momentos expositivos, atividades práticas, discussões em grupo e reflexões conceituais, permitindo diferentes formas de engajamento cognitivo e afetivo dos estudantes. O professor atua como mediador intencional, orientando o processo de subsunção progressiva e promovendo a integração entre o significado lógico dos conteúdos, ou seja, sua estrutura conceitual formal, e o significado psicológico, o sentido atribuído pelos alunos a partir de suas experiências e predisposição para aprender.

Ao longo das atividades, buscou-se promover reestruturações conceituais, por meio da proposição de tarefas que desestabilizassem explicações prévias inconsistentes e favorecessem a construção de compreensões mais elaboradas. A unidade culmina com atividades de sistematização, nas quais os conceitos são retomados e organizados com a participação ativa dos alunos, visando consolidar os novos significados atribuídos aos fenômenos físicos observados.

Dessa forma, o produto educacional foi construído de modo coerente com os princípios da aprendizagem significativa, integrando fundamentos teóricos sólidos, estratégias didáticas contextualizadas e um recurso experimental com forte potencial de motivação e transformação cognitiva. A organização da UEPS permite, portanto, não apenas o ensino de conteúdos específicos de física, mas também a formação de atitudes investigativas, reflexivas e autônomas por parte dos estudantes.

3.2 Objetivos

Geral

Estimular os estudantes, por meio de uma atividade simples e prática do Canhão de Gauss, a participarem das aulas de física, promovendo a aprendizagem significativa dos conteúdos relacionados às colisões mecânicas, além da valorização do protagonismo na execução de todos os passos da atividade experimental, possibilitando caracterizar os tipos de colisões.

Específicos

- Diagnosticar os conhecimentos prévios dos estudantes, utilizando estratégias de sondagem e problematização, com o intuito de identificar subsunções relevantes que sirvam de base para a aprendizagem significativa dos conteúdos abordados.
- Elaborar e aplicar uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) centrada na utilização do experimento Canhão de Gauss, integrando aspectos conceituais da física com atividades práticas e contextualizadas.
- Atuar como mediador pedagógico no processo de construção do conhecimento, promovendo a interação entre o significado lógico dos conteúdos e o significado psicológico atribuído pelos estudantes, de modo a favorecer a reestruturação conceitual.
- Analisar os efeitos da intervenção didática por meio da experimentação, comparando o desempenho e as compreensões dos alunos antes e após a aplicação da UEPS, a fim de avaliar a efetividade do produto educacional na promoção da aprendizagem significativa.

3.3 Conteúdos e Habilidades Envolvidos

No estudo das colisões mecânicas entre dois corpos, a análise e a classificação, quanto ao tipo de colisões , estão relacionadas com a que acontece com a energia cinética e com a quantidade de movimento ou momento linear, antes e após

a colisão. Sendo assim, as possíveis variações dessas grandezas classificam os tipos de colisões.

A base Nacional Comum Curricular prevê que o ensino médio possa desenvolver conteúdos e habilidades capazes de possibilitar ao cidadão comum manifestar, frente às demandas do mundo moderno, três competências específicas relativas ao aprendizado de ciências da natureza e suas tecnologias. São elas:

1. Analisar fenômenos naturais e processos tecnológicos, com base nas interações e relações entre matéria e energia, para propor ações individuais e coletivas que aperfeiçoem processos produtivos, minimizem impactos socioambientais e melhorem as condições de vida em âmbito local, regional e global.
2. Analisar e utilizar interpretações sobre a dinâmica da Vida, da Terra e do Cosmos para elaborar argumentos, realizar previsões sobre o funcionamento e a evolução dos seres vivos e do Universo, e fundamentar e defender decisões éticas e responsáveis.
3. Investigar situações-problema e avaliar aplicações do conhecimento científico e tecnológico e suas implicações no mundo, utilizando procedimentos e linguagens próprios das Ciências da Natureza, para propor soluções que considerem demandas locais, regionais e/ou globais, e comunicar suas descobertas e conclusões a públicos variados, em diversos contextos e por meio de diferentes mídias e tecnologias digitais de informação e comunicação (TDIC).

Nossa proposta se alinha com as três competências específicas, uma vez que:

1. Os choques mecânicos, são um tipo de interação matéria e energia.
2. Os choques mecânicos ocorrem na natureza e tem relação direta com a dinâmica da vida na terra.
3. A atividade experimental propõe investigar uma situação-problema, busca avaliar aplicações do conhecimento científico e tecnológico e suas implicações no mundo, utilizando procedimentos e linguagens próprios das Ciências da Natureza.

Habilidades relativas a cada uma das três competências específicas na BNCC

Competência Específica 1.

HABILIDADE (EM13CNT101): Analisar e representar, com ou sem o uso de dispositivos e de aplicativos digitais específicos, as transformações e conservações em sistemas que envolvam quantidade de matéria, de energia e de movimento para

realizar previsões sobre seus comportamentos em situações cotidianas e em processos produtivos que priorizem o desenvolvimento sustentável, o uso consciente dos recursos naturais e a preservação da vida em todas as suas formas.

Competência Específica 2.

HABILIDADE (EM13CNT204): Elaborar explicações, previsões e cálculos a respeito dos movimentos de objetos na Terra, no Sistema Solar e no Universo com base na análise das interações gravitacionais, com ou sem o uso de dispositivos e aplicativos digitais (como softwares de simulação e de realidade virtual, entre outros).

Competência Específica 3.

HABILIDADE (EM13CNT301): Construir questões, elaborar hipóteses, previsões e estimativas, empregar instrumentos de medição e representar e interpretar modelos explicativos, dados e/ou resultados experimentais para construir, avaliar e justificar conclusões no enfrentamento de situações-problema sob uma perspectiva científica.

Como apresentado na seção 2.3, trata-se de uma impressão 3D, confeccionada em uma impressora 3D do tipo FDM (Modelagem de Disposição Fundida) da marca GT MAX 3D, cujas dimensões são 3 cm de largura e 32 cm de comprimento, sendo, portanto, de fácil transporte e armazenamento. O aparato é composto de um conjunto de ímãs e esferas de ferro, capazes de transferirem energia cinética de uns para os outros. Com uma série de ímãs, aceleramos uma bolinha metálica, após colisões elásticas sucessivas. A cada colisão, a bolinha impulsionada é acelerada pelo campo magnético do imã seguinte. Assim, a última bolinha é lançada com uma velocidade considerável, uma vez que adquire a energia acumulada nos sucessivos funcionamentos magnéticos, salvo as perdas pelo atrito e interações, pois, sabemos, que se tratam de choques parcialmente elásticos.

Foram gastos 75 gramas de filamento para cada canhão. Foram impressos 04 unidades do Canhão de Gauss. Também foram comprados, para cada canhão, 4 ímãs de neodímio no formato pastilha, com diâmetro 12 mm e altura 6 mm, e 7 esferas de aço de diâmetro 9 mm e massa de aproximadamente 3 gramas.

3.4 Os oito passos de nossa UEPS

Os alunos serão divididos em grupo de cinco alunos. Cada grupo realizará as atividades em conjunto, gerando um único relatório. Todos os alunos responderam

individualmente ao questionário prévio para avaliação de seus conhecimentos sobre a atividade proposta referente às colisões mecânicas utilizando o canhão de Gauss. Em seguida cada grupo receberá um kit para montagem, utilização e observação das colisões a partir do aparato experimental. A atividade proporcionará aos estudantes um momento de interação por meio da montagem e manuseio do experimento. A prática da experimentação levará os estudantes a uma melhor compreensão dos assuntos abordados. A seguir, apresentamos os oito passos da nossa UEPS e como eles foram materializados.

Quadro 3 – Os oito passos da UEPS

Aula	Passos da UEPS	Atividade planejada	Duração
1	1º Introdução.	Situar os alunos no contexto do estudo dos choques mecânicos por meio da apresentação da dinâmica da atividade e dos conteúdos que serão ensinados e da forma como as atividades serão desenvolvidas.	10 minutos
	2º Questionário inicial.	Aplicar o Questionário prévio (Canhão de Gauss) de forma individual.	20 minutos
	3º Propor situações-problemas.	Estimular cada estudante no processo de ensino e aprendizagem.	20 minutos
2	4º Trabalhar os conhecimentos a serem ensinados/aprendidos através da experimentação.	Observar a evolução do estudante quanto à aprendizagem.	50 minutos
3	5º Retomar os aspectos mais gerais dos temas abordados.	Destacar semelhanças e diferenças relacionadas à primeira apresentação.	30 minutos
	6º Concluir a unidade com a resolução novamente do questionário inicial.	Buscar a reconciliação integrativa.	20 minutos
4	7º Realizar a avaliação da aprendizagem a partir da UEPS.	Avaliar o desempenho dos estudantes por meio das UEPS.	25 minutos
	8º Observar o desempenho dos alunos através das evidências de que a aprendizagem significativa é progressiva.	Avaliar a aplicação da UEPS	25 minutos

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

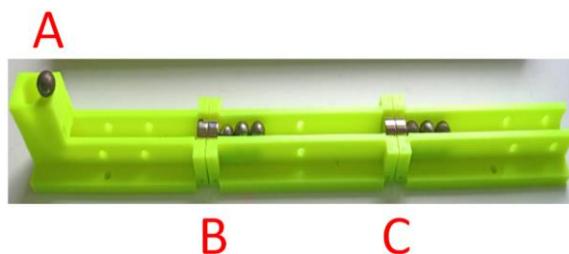
Duração: 4 aulas.

1º Passo: na definição do tema específico a ser abordado, apresentaremos o estudo dos choques mecânicos, bem como a atividade teórico-experimental que eles irão realizar utilizando do Canhão de Gauss. (**Duração: 10 minutos**). Antes de realizar

esta etapa da atividade, devemos explicar aos alunos que a bolinha será abandonada do topo do orifício ‘A’, descerá pelo tubo curvo. A partir daí, será acelerada pela força de atração do par de ímãs ‘B’.

Figura 9. Canhão de Gauss

Fonte: elaborada pelo autor.



2º Passo: aplicação de um questionário prévio que será respondido individualmente por cada aluno, o qual terá cinco perguntas relacionadas aos conteúdos que serão trabalhados na aula experimental, cujo objetivo é avaliar os conhecimentos prévios acerca do estudo dos choques mecânicos.

A seguir, apresentamos as perguntas que compõem o questionário prévio, que serão respondidas pelos alunos, por meio de uma ficha em sala de aula.

Questionário prévio (Canhão de Gauss) - Duração: 20 minutos

1º) Observe com atenção as posições das esferas na figura abaixo.



Assinale a alternativa que representa corretamente o vetor velocidade da última esfera ao sair da calha do canhão.

- a) $\xrightarrow{\vec{v}}$
- b) $\downarrow \vec{v}$
- c) $\uparrow \vec{v}$
- d) $\xleftarrow{\vec{v}}$
- e) $\nearrow 60^\circ$

2º) Leia o texto abaixo com atenção.

São choques em que o módulo da velocidade de aproximação é igual ao módulo da velocidade de afastamento, imediatamente antes e após o choque, respectivamente. Os corpos sofrem deformações elásticas, no entanto voltam às características iniciais. Os corpos conservam sua quantidade de movimento, e a energia do sistema permanece constante.

De acordo com a classificação das colisões, assinale a alternativa que representa corretamente o texto que você acabou ler.

- a) Colisões perfeitamente elásticas.
- b) Colisões perfeitamente inelásticas.
- c) Colisões parcialmente elásticas.

3º) Considerando que a massa da esfera que sai do canhão de Gauss é 0,4 kg e a quantidade de movimento tem módulo de 1,2 kg·m/s, marque a alternativa que expressa a velocidade da esfera ao sair da calha.

- a) 1 m/s
- b) 2 m/s
- c) 3 m/s
- d) 4 m/s
- e) 5 m/s

4º) Com base na questão anterior, marque a alternativa que corresponde à energia cinética da esfera ao sair da calha do canhão.

- a) 0,8
- b) 1,2
- c) 1,8
- d) 3,0
- e) 9,0

5º) Leia os textos abaixo sobre o funcionamento do Canhão de Gauss.

Etapa I.

Estado inicial do canhão de Gauss. Três esferas metálicas são colocadas em contato com o ímã. A quarta esfera (pivô) é posicionada separadamente a uma distância d (aproximadamente 3 cm do ímã), em que o campo magnético seja suficiente para iniciar o movimento.

Etapa II.

Ao movimentar-se em direção ao ímã, a esfera pivô será atraída por uma força magnética cada vez mais intensa, sendo acelerada ao longo do caminho, consequentemente, e sua _____ proporcionalmente com o quadrado da sua _____ instantânea.

Etapa III.

Quando a esfera pivô colidir com o ímã, haverá transferência de energia e momento dela para o ímã, e em seguida transferência para as sucessivas esferas adjacentes. O resultado observado será a transferência de energia e momento, adquirida na aceleração magnética pela esfera pivô, para a última esfera adjacente.

Etapa IV.

A última esfera metálica adjacente é acelerada, e separa-se das demais. A ejeção, devida à aceleração da esfera, finaliza a operação do canhão de Gauss, em que a última esfera do trilho irá adquirir energia cinética devida à aceleração magnética experimentada pela esfera pivô.

Assinale corretamente a alternativa que completa as lacunas no estágio II do funcionamento do Canhão de Gauss.

- a) Energia cinética aumenta, aceleração.
- b) Energia cinética diminui, velocidade.
- c) Energia cinética aumenta, velocidade.
- d) Energia potencial aumenta, velocidade.
- e) Energia potencial diminui, aceleração.

3º Passo: Por meio do QRCode ao lado, os estudantes irão assistir ao vídeo ilustrativo sobre a atividade que irão desenvolver no laboratório e em seguida iremos propor as situações problemas abaixo descritas, que estão em nível bem introdutório, levando em conta o conhecimento prévio dos estudantes.



(Referência do vídeo: <https://www.youtube.com/watch?v=vMErygmHIns>)

(Duração: 20 minutos)

Situação 1:

É possível determinar a direção e o sentido do vetor velocidade da esfera ao sair do canhão de Gauss? Se for possível, desenhe a esfera e o vetor velocidade dentro da moldura a seguir.

**Situação 2:**

A esfera pivô, ao movimentar-se em direção dos ímãs, será atraída por uma força de natureza gravitacional, magnética ou nuclear?

Situação 3:

Com base no lançamento que você acabou de realizar e observar, levando em consideração a ausência das forças dissipativas, qual a modalidade de energia que a última esfera adquire ao sair do trilho?

Situação 4:

Desprezando as forças dissipativas, como você classificaria as colisões observadas entre as esferas durante o funcionamento do canhão de Gauss?

- () Colisões perfeitamente elásticas.
- () Colisões perfeitamente inelásticas.
- () Colisões parcialmente elásticas.

Situação 5:

Levando em consideração as forças dissipativas, como você classificaria as colisões envolvidas durante o funcionamento do canhão de Gauss?

- () Colisões perfeitamente elásticas.
- () Colisões perfeitamente inelásticas.
- () Colisões parcialmente elásticas.

Situação 6:

Utilizando a balança de precisão, anote a massa da esfera. Considerando a quantidade de movimento igual a 1,2 kg.m/s, estime a velocidade com a última esfera sairá do trilho.

Massa da esfera (Kg)	Velocidade da esfera (m/s)

4º Passo: Trabalhar os conhecimentos a serem ensinados/aprendidos juntamente com a experimentação, levando em consideração a diferenciação progressiva por meio das atividades propostas pelo professor.

Duração: uma aula de 50 minutos

5º Passo: Anotar os dados coletados nas respectivas atividades, escrevendo os resultados obtidos. Nesse momento, os estudantes terão a oportunidade de comentar seus resultados entre os grupos e levantar novas situações que contribuam para o ensino e aprendizagem.

Duração: 30 minutos.

6º Passo: Concluir a unidade retomando as características mais relevantes do conteúdo em questão, buscando a reconciliação integrativa. Neste passo, o professor deve elencar os subsunções ativados no início e como foram transformados pela experiência de ensino desenvolvida.

Duração: 20 minutos

7º Passo: Avaliação da aprendizagem dos estudantes por meio da UEPS desenvolvida.

Duração: 30 minutos

Questionário após a aula experimental (Canhão de Gauss)

1º) Observe com atenção as posições das esferas na figura abaixo.



Assinale a alternativa que representa corretamente o vetor velocidade da última esfera ao sair da calha do canhão.

- a) $\xrightarrow{\vec{v}}$
- b) $\downarrow \vec{v}$
- c) $\uparrow \vec{v}$
- d) $\leftarrow \vec{v}$
- e)

2º) Leia o texto abaixo com atenção.

São choques em que o módulo da velocidade de aproximação é igual ao módulo da velocidade de afastamento, imediatamente antes e após o choque, respectivamente. Os corpos sofrem deformações elásticas, no entanto voltam às características iniciais. Os corpos conservam sua quantidade de movimento, e a energia do sistema permanece constante.

De acordo com a classificação das colisões, assinale a alternativa que representa corretamente o texto que você acabou ler.

- a) Colisões perfeitamente elásticas.
- b) Colisões perfeitamente inelásticas.
- c) Colisões parcialmente elásticas.

3º) Considerando que a massa da esfera que sai do canhão de Gauss é 0,4 kg e a quantidade de movimento tem módulo de 1,2 kg·m/s, marque a alternativa que expressa a velocidade da esfera ao sair da calha.

- a) 1 m/s
- b) 2 m/s
- c) 3 m/s
- d) 4 m/s
- e) 5 m/s

4º) Com base na questão anterior, marque a alternativa que corresponde à energia cinética da esfera ao sair da calha do canhão.

- a) 0,8
- b) 1,2
- c) 1,8
- d) 3,0
- e) 9,0

5º) Leia os textos abaixo sobre o funcionamento do Canhão de Gauss.

Etapa I.

Estado inicial do canhão de Gauss. Três esferas metálicas são colocadas em contato com o ímã. A quarta esfera (pivô) é posicionada separadamente a uma distância d (aproximadamente 3 cm do ímã), em que o campo magnético seja suficiente para iniciar o movimento.

Etapa II.

Ao movimentar-se em direção ao ímã, a esfera pivô será atraída por uma força magnética cada vez mais intensa, sendo acelerada ao longo do caminho, consequentemente, e sua _____ proporcionalmente com o quadrado da sua _____ instantânea.

Etapa III.

Quando a esfera pivô colidir com o ímã, haverá transferência de energia e momento dela para o ímã, e em seguida transferência para as sucessivas esferas adjacentes. O resultado observado será a transferência de energia e momento, adquirida na aceleração magnética pela esfera pivô, para a última esfera adjacente.

Etapa IV.

A última esfera metálica adjacente é acelerada, e separa-se das demais. A ejeção, devida à aceleração da esfera, finaliza a operação do canhão de Gauss, em que a última esfera do trilho irá adquirir energia cinética devida à aceleração magnética

experimentada pela esfera pivô. Assinale corretamente a alternativa que completa as lacunas no estágio II do funcionamento do Canhão de Gauss.

- a) Energia cinética aumenta, aceleração.
- b) Energia cinética diminui, velocidade.
- c) Energia cinética aumenta, velocidade.
- d) Energia potencial aumenta, velocidade.
- e) Energia potencial diminui, aceleração.

Duração: 25 minutos.

Tais etapas presentes na quinta questão têm como objetivo revelar o nível de aprendizagem dos alunos em relação aos conceitos abordados ao longo da aplicação da UEPS. A análise das etapas do funcionamento do Canhão de Gauss permite revisar conceitos fundamentais da Física, como energia cinética, velocidade, aceleração e conservação da quantidade de movimento. Nesse contexto, as perguntas formuladas ao longo da UEPS têm como objetivo revelar o nível de aprendizagem dos alunos em relação a esses conceitos, abordados de forma integrada entre teoria e prática.

O retorno obtido por meio das respostas funciona como um importante diagnóstico, permitindo ao professor planejar desdobramentos didáticos mais precisos. Assim, reforça-se a necessidade de aprofundar a articulação entre a Física conceitual e a experimental, ampliando o campo perceptivo e interpretativo dos estudantes e fortalecendo uma aprendizagem significativa sobre os princípios envolvidos no experimento.

8º Passo: Avaliar se houve a aprendizagem exitosa por meio das evidências do domínio dos estudantes no campo conceitual e progressivo revelado pela comparação entre as respostas individuais ao questionário inicial e o final.

Duração: 25 minutos.

Capítulo 4 Aplicação do Produto Educacional

Baseados na aprendizagem significativa e nas unidades de ensino potencialmente significativas, concebemos um produto educacional que está posto na presente dissertação, o qual se utilizou de um pequeno aparato experimental, conhecido como canhão de Gauss, para o estudo físico das colisões mecânicas. Tal produto educacional se materializou por meio de uma UEPS, como apresentado no capítulo 3.

A UEPS (Unidade de Ensino Potencialmente Significativa) é uma metodologia de ensino, ou seja, uma estratégia pedagógica aplicada em sala de aula, fundamentada na Teoria da Aprendizagem Significativa. Ela orienta a construção das atividades didáticas, e não a condução da pesquisa científica.

4.1. Contexto e ‘Locus’ da aplicação do produto educacional

A aplicação do produto educacional foi realizada com uma turma de 13 alunos do 1º ano do Ensino Médio do Colégio Pontual, uma escola privada com perfil voltado para a formação científico-acadêmica. As atividades foram desenvolvidas ao longo de quatro aulas de 50 minutos cada, conforme detalhado no produto educacional em anexo.

As expectativas em relação à aprendizagem de Física envolveram, principalmente, a valorização da experimentação e da contextualização de conceitos teóricos, com o intuito de tornar o aprendizado mais significativo. Esperava-se que os alunos compreendessem, de forma mais concreta e aplicada, os princípios da conservação da energia e do momento linear, conteúdos já introduzidos nos anos finais do Ensino Fundamental II, mas agora revisitados sob uma nova abordagem, mais prática e engajadora.

A proposta buscava promover uma vivência ativa desses conceitos por meio do experimento com o canhão de Gauss, contribuindo para despertar o interesse dos estudantes pela Física, além de reforçar a aprendizagem por meio da observação, manipulação e discussão coletiva dos fenômenos envolvidos.

A seguir, apresentaremos uma descrição pormenorizada de como se desenrolou cada uma das etapas.

1º Etapa: Nessa etapa definimos o tema que foi abordado com os alunos, apresentamos o estudo dos choques mecânicos, bem como as atividades a serem realizadas utilizando o Canhão de Gauss.

Figura 10: apresentação tema e da atividade utilizando o Canhão de Gauss
(Fotos do autor).



2º Etapa: Após definirmos o tema e as atividades que iríamos desenvolver, aplicamos um questionário prévio contendo cinco questões com o objetivo de avaliar o conhecimento dos alunos acerca das colisões mecânicas.

Avaliar o conhecimento prévio dos alunos é um passo fundamental e de extrema importância para projetar experiências de aprendizagem eficientes. O conhecimento prévio refere-se ao que os estudantes já sabem, entendem e podem fazer antes de se depararem com novos conteúdos. Ele influênciaria como eles processam, interpretam e aplicam novas informações.

Figura 11: aplicação do questionário prévio
(Fotos do autor)



3º Etapa: Por meio de um QRCode, os alunos assistiram ao vídeo ilustrativo referente à atividade que iriam desenvolver no laboratório. Em seguida, cada grupo recebeu uma ficha contendo seis situações problemas, em nível bem introdutório, levando em consideração o conhecimento prévio dos estudantes.

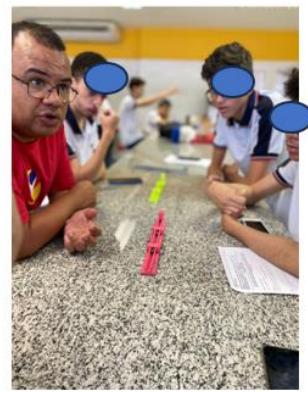
Vídeo ilustrativo →



4º Etapa: Nesta etapa trabalhamos os conteúdos apresentados em sala de aula juntamente com o aparato experimental do canhão de Gauss, onde cada grupo montou seu experimento e deu início à análise das situações propostas na atividade.

Figura 12: Atividade no laboratório com os grupos

(Fotos do autor).



5º Etapa: Neste momento cada grupo realizou a experimentação com o apoio do professor orientando as situações problemas. Os estudantes tiveram a oportunidade de anotar e discutir cada situação com membros de outros grupos, e assim comparar os resultados obtidos.

Observe agora as situações propostas e o resultado de cada grupo diante dos desafios estabelecidos. Muito embora as atividades experimentais tenham sido desenvolvidas em grupo, a resposta a ambos os questionários, inicial e final, foram realizadas individualmente.

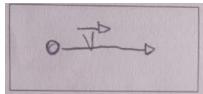
Situação 1:

É possível determinar a direção e o sentido do vetor velocidade da esfera ao sair do canhão de Gauss? Se for possível, desenhe a esfera e o vetor velocidade dentro da moldura a seguir.

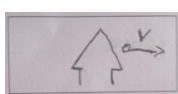


Respostas:

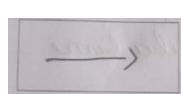
Grupo 1.



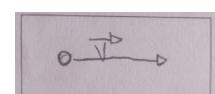
grupo 2.



grupo 3.



grupo 4.



Na Situação 1, os alunos foram convidados a identificar e representar a direção e o sentido do vetor velocidade da esfera ao sair do canhão de Gauss. Os desenhos apresentados indicaram que os estudantes compreenderam que a velocidade é representada por um vetor com direção horizontal, alinhada com o eixo do canhão, e sentido para fora, acompanhando o movimento da esfera. A correta representação gráfica demonstra familiaridade com os conceitos de cinemática vetorial e a capacidade de aplicar esses conhecimentos em contextos experimentais. Essa atividade também atuou como organizador prévio, ativando conhecimentos anteriores e preparando os alunos para reflexões mais complexas nas etapas seguintes, promovendo uma aprendizagem significativa de acordo com a teoria de Ausubel.

Situação 2:

A esfera pivô, ao movimentar-se em direção aos ímãs, será atraída por uma força de natureza gravitacional, magnética ou nuclear?

Respostas:

Todos os grupos responderam força magnética.

Na Situação 2, todos os grupos identificaram corretamente que a força responsável pela atração da esfera pivô em direção aos ímãs no canhão de Gauss é a força magnética. Essa resposta unânime revela que os alunos compreenderam a natureza da interação envolvida no experimento e conseguiram distinguir essa força das demais opções apresentadas, como a gravitacional e a nuclear. O resultado evidencia consistência conceitual e a capacidade de aplicar o conhecimento aprendido a uma situação experimental concreta, contribuindo para o desenvolvimento de uma aprendizagem significativa, conforme a teoria de Ausubel.

Situação 3:

Com base no lançamento que você acabou de realizar e observar, levando em consideração a ausência das forças dissipativas, qual a modalidade de energia que a última esfera adquire ao sair do trilho?

Respostas:

Todos os grupos responderam energia cinética.

Na Situação 3, os alunos foram questionados sobre qual modalidade de energia a última esfera adquire ao sair do trilho, considerando a ausência de forças dissipativas. Todos os grupos responderam corretamente que se trata de energia cinética, o que indica um bom nível de compreensão conceitual. A unanimidade na resposta demonstra que os estudantes foram capazes de relacionar a observação prática do experimento com o conceito teórico de conservação da energia mecânica, identificando a conversão da energia magnética acumulada em movimento. Tal desempenho revela que a atividade proporcionou aprendizagem significativa, conforme a teoria de Ausubel, ao permitir que os alunos ativassem conhecimentos prévios e os aplicassem em um novo contexto de forma funcional e concreta.

Situação 4:

Desprezando as forças dissipativas, como você classificaria as colisões observadas entre as esferas durante o funcionamento do canhão de Gauss?

- () Colisões perfeitamente elásticas.
- () Colisões perfeitamente inelásticas.
- () Colisões parcialmente elásticas.

Respostas:

Todos os grupos responderam colisões perfeitamente elásticas.

Na Situação 4, os estudantes foram convidados a classificar as colisões entre as esferas do canhão de Gauss, considerando um sistema ideal sem forças dissipativas. Todos os grupos optaram corretamente pela alternativa "colisões perfeitamente elásticas". Esse resultado evidencia que os alunos compreenderam que, nesse modelo idealizado, tanto a energia cinética quanto a quantidade de movimento são conservadas durante as colisões. A resposta unânime demonstra um bom domínio conceitual e a capacidade de aplicar abstrações teóricas a fenômenos observados experimentalmente, o que contribui para consolidar uma aprendizagem significativa, conforme defendido por Ausubel.

Situação 5:

Levando em consideração as forças dissipativas, como você classificaria as colisões envolvidas durante o funcionamento do canhão de Gauss?

- () Colisões perfeitamente elásticas.
- () Colisões perfeitamente inelásticas.
- () Colisões parcialmente elásticas.

Respostas:

Todos os grupos responderam colisões parcialmente elásticas.

Na Situação 5, os alunos foram desafiados a classificar as colisões do canhão de Gauss considerando a presença de forças dissipativas. Todos os grupos responderam corretamente que se tratam de colisões parcialmente elásticas, demonstrando compreensão das limitações dos modelos teóricos diante da realidade experimental. A resposta indica que os estudantes reconheceram a perda parcial de energia cinética devido a fatores como atrito, som e deformações, o que revela um nível mais refinado de análise conceitual. Essa habilidade de diferenciar progressivamente o comportamento idealizado do real reforça a consolidação de uma

aprendizagem significativa e contextualizada, conforme a perspectiva construtivista de Ausubel.

Situação 6:

Utilizando a balança de precisão, anote a massa da esfera. Considerando a quantidade de movimento igual a $1,2 \text{ kg.m/s}$, estime a velocidade com a última esfera sairá do trilho.

Massa da esfera (Kg)	Velocidade da esfera (m/s)

Figura 13: medindo massa e estimando velocidade da esfera

(Fotos do autor).



Respostas:

Todos os grupos mediram a massa da esfera por meio de uma balança e encontraram um valor aproximado de 0,3 kg e, por meio da conservação do momento linear, encontraram a velocidade de 4m/s da esfera ao sair do trilho. É importante registrar aqui que a medição realizada pelos estudantes utilizando a balança teve um erro sistemático, provavelmente ocasionado por um defeito na resposta do instrumento. A bolinha pesa, aproximadamente 3 gramas e não 0,3 kg (300 gramas), como consta nas respostas dos estudantes. Contudo, tal desvio não causa nenhum prejuízo na aprendizagem da física dos choques, uma vez que a preocupação centrou-se nos conceitos e nas fórmulas matemáticas.

6º Etapa: Nesta etapa os alunos retomaram a discussão, levando em consideração os seguintes pontos: conservação da energia mecânica e a conservação do momento linear, bem como as características das colisões mecânicas.

Figura 14: Discussão dos resultados

(Fotos do autor).



7º Etapa: Analisando as respostas dadas pelos grupos na etapa 5, bem como a retomada dos pontos mais importantes durante a atividade discutidos na etapa 6, considero positivos os resultados obtidos por meio das seis situações-problema propostas aos estudantes. Os alunos mostraram-se motivados com os resultados e deslumbrados com a experimentação.

8º Etapa: Neste momento avaliamos se houve aprendizagem eficaz por meio dos estudantes comparando as respostas individuais dos estudantes ao questionário inicial e final.

A análise dos questionários prévio e final permite avaliar o progresso dos alunos durante a atividade experimental. O questionário inicial identificou os conhecimentos prévios, enquanto o final revelou os avanços conceituais. A comparação entre as respostas dos dois instrumentos possibilita verificar se houve aprendizagem significativa. Essa análise também permite identificar eventuais dificuldades persistentes, bem como a eficácia das estratégias didáticas adotadas. Dessa forma, os questionários funcionam como ferramentas valiosas tanto para o processo de ensino quanto para a comprovação do aprendizado efetivo dos alunos.

ANÁLISE DA PRIMEIRA QUESTÃO;

1º) Observe com atenção as posições das esferas na figura abaixo.



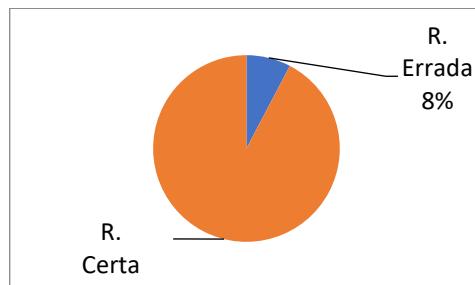
Assinale a alternativa que representa corretamente o vetor velocidade da última esfera ao sair da calha do canhão.

- a) $\xrightarrow{\vec{v}}$
- b) $\downarrow \vec{v}$
- c) $\uparrow \vec{v}$
- d) $\xleftarrow{\vec{v}}$
- e) $\nearrow \vec{v} \quad 60^\circ$

A primeira questão do questionário busca verificar se os alunos conseguiam identificar corretamente o vetor velocidade da última esfera ao sair da calha do canhão de Gauss, considerando suas características fundamentais: direção, sentido e orientação.

Questionário prévio (Canhão de Gauss)

Resposta: 12 alunos (92,30%) responderam corretamente a primeira questão com a alternativa (a) e 1 aluno (7,70%) respondeu a alternativa (d).

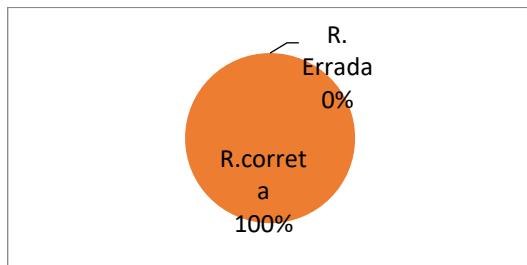


No questionário prévio à aula experimental, 12 alunos (92,30%) já demonstraram compreensão adequada do conceito ao assinalar a alternativa correta (a), enquanto apenas 1 aluno (7,70%) marcou uma alternativa incorreta (d). Esse

resultado inicial já apontava para um bom nível de conhecimento prévio sobre vetores no contexto da cinemática.

Questionário após a aula experimental (Canhão de Gauss)

Resposta: 13 alunos (100%) responderam corretamente a primeira questão com a alternativa (a).



No entanto, após a aula experimental com o canhão de Gauss, houve um avanço notável: 100% dos alunos (13/13) marcaram corretamente a alternativa (a). Esse dado revela que a atividade prática teve um efeito positivo e consolidativo sobre o conteúdo, promovendo a correção de equívocos conceituais e o fortalecimento da compreensão.

A análise pedagógica destaca que o uso de experimentos visuais no ensino de Física favorece a ligação entre teoria e prática, promovendo uma aprendizagem mais significativa. Com base na teoria de Ausubel, a atividade permitiu ancorar novos conceitos em conhecimentos prévios. A comparação entre os questionários mostrou que a intervenção foi eficaz, estimulando uma aprendizagem ativa, contextualizada e duradoura.

ANÁLISE DA SEGUNDA QUESTÃO;

2º) Leia o texto abaixo com atenção.

São choques em que o módulo da velocidade de aproximação é igual ao módulo da velocidade de afastamento, imediatamente antes e após o choque, respectivamente. Os corpos sofrem deformações elásticas, no entanto voltam às características iniciais. Os corpos conservam sua quantidade de movimento, e a energia do sistema permanece constante.

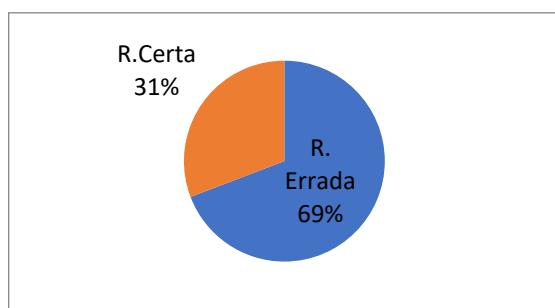
De acordo com a classificação das colisões, assinale a alternativa que representa corretamente o texto que você acabou ler.

- a) Colisões perfeitamente elásticas.
- b) Colisões perfeitamente inelásticas.
- c) Colisões parcialmente elásticas.

A questão avalia se o aluno comprehende o conceito de colisão perfeitamente elástica, identificando suas principais características, como a conservação da quantidade de movimento e da energia cinética. Também exige a interpretação de um texto com base nos conhecimentos prévios, diferenciando entre os tipos de colisões e aplicando corretamente os conceitos físicos à situação descrita.

Questionário prévio (Canhão de Gauss)

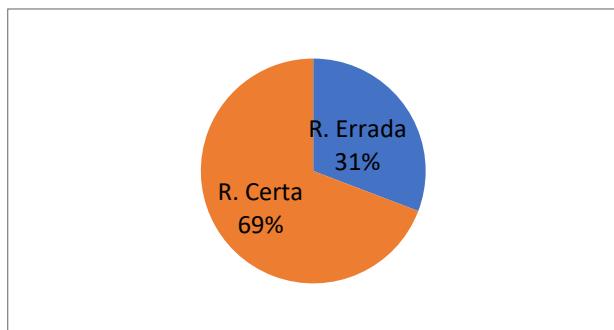
Resposta: 4 alunos (30,80%) responderam corretamente a segunda questão com a alternativa (a) e 9 alunos (69,20%) com alguma das demais alternativas.



No questionário aplicado antes da aula experimental com o Canhão de Gauss, apenas 4 alunos (30,80%) responderam corretamente à segunda questão, identificando a alternativa (a), colisões perfeitamente elásticas. A maioria, 9 alunos (69,20%), optou por alternativas incorretas, o que indica que a maior parte da turma apresentava dificuldades conceituais relacionadas à classificação das colisões e à compreensão dos princípios de conservação da energia e da quantidade de movimento. Esse resultado inicial sugere a presença de concepções alternativas ou superficiais construídas a partir de experiências cotidianas ou ensino anterior com pouca contextualização.

Questionário após a aula experimental (Canhão de Gauss)

Resposta: 9 alunos (69,20%) responderam corretamente a segunda questão com a alternativa (a) e 4 alunos (30,80%) responderam com as demais alternativas.



Após a realização da aula experimental com o Canhão de Gauss, observou-se um aumento expressivo no número de respostas corretas: agora 9 alunos (69,20%) acertaram a alternativa correta, e apenas 4 alunos (30,80%) permaneceram com equívocos conceituais. Essa mudança revela um avanço significativo na aprendizagem conceitual da maioria dos estudantes. A prática experimental permitiu aos alunos observar os efeitos de uma colisão elástica, promovendo maior clareza na distinção entre os tipos de colisão.

Segundo Ausubel, a aprendizagem significativa acontece quando novos conteúdos se conectam aos conhecimentos prévios dos alunos. A aula experimental atuou como organizador prévio prévio, ajudando a reorganizar ideias equivocadas por meio da integração entre teoria e prática, o que nos parece ser manifestação da diferenciação progressiva. Além disso, despertou o interesse e a curiosidade, fatores essenciais para a aprendizagem significativa.

ANÁLISE DA TERCEIRA QUESTÃO;

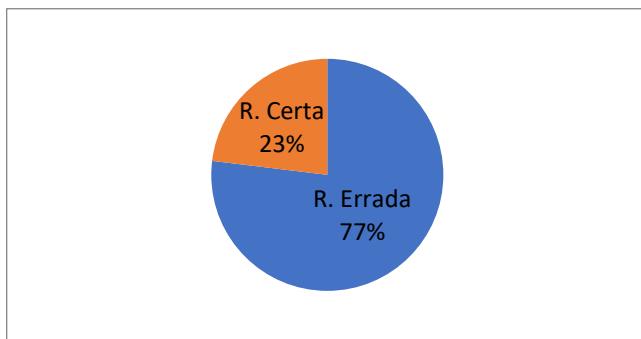
3º) Considerando que a massa da esfera que sai do canhão de Gauss é 0,4 kg e a quantidade de movimento tem módulo de 1,2 kg·m/s, marque a alternativa que expressa a velocidade da esfera ao sair da calha.

- a) 1 m/s b) 2 m/s c) 3 m/s d) 4 m/s e) 5 m/s

A terceira questão permite verificar se o aluno consegue relacionar corretamente os conceitos físicos e os valores numéricos apresentados, fazendo uso da fórmula da quantidade de movimento para encontrar a velocidade da esfera. Além disso, serve como uma ponte entre teoria e prática, especialmente em um contexto experimental como o do Canhão de Gauss, onde o conceito é observado de forma concreta. Avalia, portanto, a aprendizagem significativa do conceito físico, quando o estudante deixa de ver fórmulas isoladas e passa a compreendê-las em situações reais.

Questionário prévio (Canhão de Gauss)

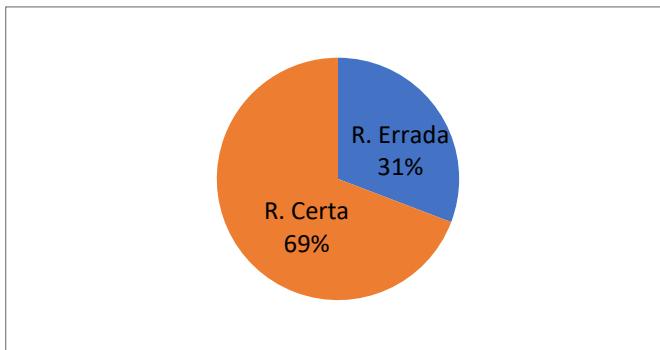
Resposta: 3 alunos (23,08%) responderam corretamente a terceira questão com a alternativa (c) e 10 alunos (76,92%) com alguma das demais alternativas.



No questionário aplicado antes da aula experimental, apenas 3 alunos (23,08%) acertaram a alternativa correta (**c**) ao calcular a velocidade a partir da quantidade de movimento. A maioria, 10 alunos (76,92%), errou, o que indica dificuldade na aplicação prática da fórmula $\vec{Q} = m \times \vec{v}$. Esse resultado sugere que os alunos não compreendiam plenamente o significado físico da quantidade de movimento ou não conseguiam relacioná-lo a situações reais, demonstrando uma aprendizagem baseada na memorização de fórmulas, sem ancoragem conceitual.

Questionário após a aula experimental (Canhão de Gauss)

Resposta: 9 alunos (69,20%) responderam corretamente a terceira questão com a alternativa (c) e 4 alunos (30,80%) responderam com alguma das demais alternativas.



Após a realização da atividade experimental com o Canhão de Gauss, o número de acertos aumentou significativamente: 9 alunos (69,20%) responderam corretamente à terceira questão, enquanto 4 alunos (30,80%) ainda apresentaram dificuldades. Essa mudança representa um avanço claro na capacidade dos estudantes de aplicar o conceito físico de forma contextualizada e significativa, utilizando corretamente a relação entre massa, velocidade e quantidade de movimento.

A análise dos resultados revela uma evolução consistente na aprendizagem conceitual dos alunos, demonstrando que a aula experimental foi fundamental para promover a compreensão prática do conceito de quantidade de movimento. A significativa melhora nos resultados (de 23,08% para 69,20% de acertos) evidencia que a abordagem prática-contextual, aliada à mediação docente, favorece a aprendizagem significativa proposta por Ausubel, ao transformar fórmulas abstratas em conhecimento compreendido, aplicado e integrado.

ANÁLISE DA QUARTA QUESTÃO;

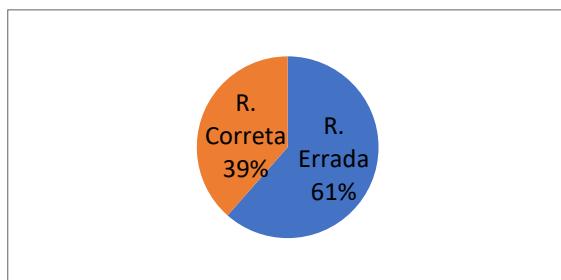
4º) Com base na questão anterior, marque a alternativa que corresponde à energia cinética da esfera ao sair da calha do canhão.

- a) 0,8 J
- b) 1,2 J
- c) 1,8 J
- d) 3,0 J
- e) 9,0 J

A quarta questão tem como objetivo avaliar a capacidade do aluno de aplicar corretamente o conceito de energia cinética utilizando dados previamente fornecidos (massa e velocidade da esfera, obtidos na questão anterior).

Questionário prévio (Canhão de Gauss)

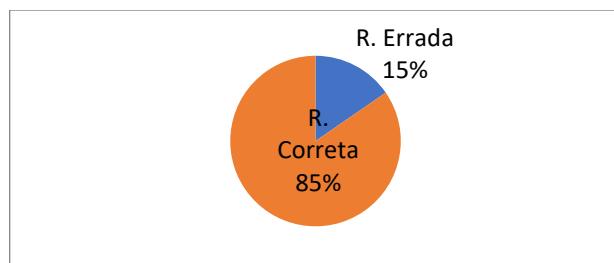
Resposta: 5 alunos (38,46%) responderam corretamente a quarta questão com a alternativa (c) e 8 alunos (61,54%) com as demais alternativas.



Antes da aula experimental, 5 alunos (38,46%) responderam corretamente à quarta questão, enquanto 8 alunos (61,54%) apresentaram respostas incorretas. Esses dados indicam que, inicialmente, mais da metade da turma apresentava dificuldade em aplicar a fórmula da energia cinética ($E_c = \frac{mv^2}{2}$) e em entender seu significado físico, especialmente em contextos reais como o do Canhão de Gauss. A dificuldade possivelmente se deve a um ensino anterior centrado em fórmulas abstratas, sem conexão com a experiência concreta dos fenômenos.

Questionário após a aula experimental (Canhão de Gauss)

Resposta: 11 alunos (84,61%) responderam corretamente a quarta questão com a alternativa (c) e 2 alunos (15,39%) responderam com as demais alternativas.



Após a aula prática, o número de acertos subiu significativamente: 11 alunos (84,61%) responderam corretamente, e apenas 2 alunos (15,39%) ainda demonstraram dificuldades. Essa mudança mostra que os estudantes conseguiram relacionar a velocidade da esfera com sua energia cinética, compreendendo não apenas o cálculo, mas também a importância desse conceito para interpretar fenômenos físicos.

A evolução nos resultados, de 38,46% para 84,61% de acertos, confirma que a aula experimental foi essencial para promover aprendizagem significativa do conceito de energia cinética. Os alunos não apenas aprenderam a resolver o problema matematicamente, mas também compreenderam o sentido físico e prático do fenômeno, conectando o conteúdo à realidade observada no experimento. Isso demonstra a eficácia da abordagem prática na formação de conhecimentos científicos duradouros.

ANÁLISE DA QUINTA QUESTÃO;

5º) Leia os textos abaixo sobre o funcionamento do Canhão de Gauss.

Etapa I.

Estado inicial do canhão de Gauss. Três esferas metálicas são colocadas em contato com o ímã. A quarta esfera (pivô) é posicionada separadamente a uma distância d (aproximadamente 3 cm do ímã), em que o campo magnético seja suficiente para iniciar o movimento.

Etapa II.

Ao movimentar-se em direção ao ímã, a esfera pivô será atraída por uma força magnética cada vez mais intensa, sendo acelerada ao longo do caminho, consequentemente, e sua _____ proporcionalmente com o quadrado da sua _____ instantânea.

Etapa III.

Quando a esfera pivô colidir com o ímã, haverá transferência de energia e momento dela para o ímã, e em seguida transferência para as sucessivas esferas adjacentes. O resultado observado será a transferência de energia e momento, adquirida na aceleração magnética pela esfera pivô, para a última esfera adjacente.

Etapa IV.

A última esfera metálica adjacente é acelerada, e separa-se das demais. A ejeção, devida à aceleração da esfera, finaliza a operação do canhão de Gauss, em que a última esfera do trilho irá adquirir energia cinética devida à aceleração magnética experimentada pela esfera pivô.

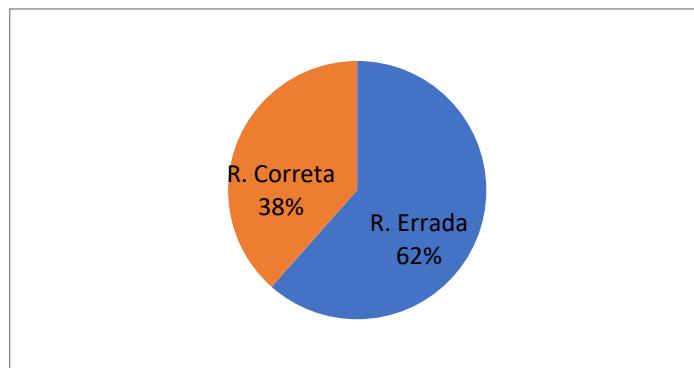
Assinale corretamente a alternativa que completa as lacunas no estágio II do funcionamento do Canhão de Gauss.

- a) Energia cinética aumenta, aceleração.
- b) Energia cinética diminui, velocidade.
- c) Energia cinética aumenta, velocidade.
- d) Energia potencial aumenta, velocidade.
- e) Energia potencial diminui, aceleração.

A quinta questão busca avaliar a compreensão do aluno sobre o processo de conversão de energia e movimento no Canhão de Gauss, com foco específico na etapa em que a esfera pivô é acelerada pelo campo magnético. Trata-se de uma questão integradora, que exige raciocínio conceitual e interpretação científica, não apenas memorização. Ao relacionar texto descritivo e fórmulas físicas, promove aprendizagem significativa, pois ajuda o aluno a compreender como e por que os fenômenos ocorrem fisicamente no experimento.

Questionário prévio (Canhão de Gauss)

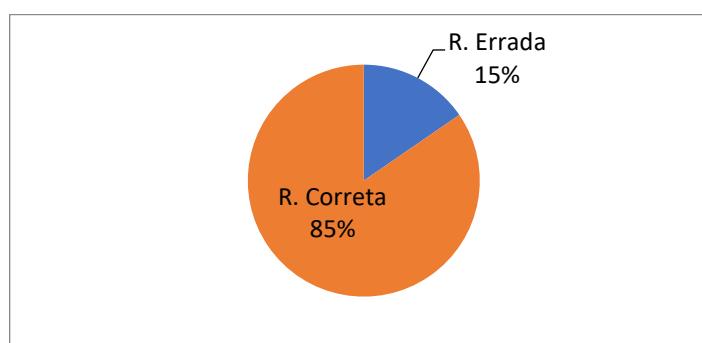
Resposta: 5 alunos (38,46%) responderam corretamente a quinta questão com a alternativa (c) e 8 alunos (61,54%) com as demais alternativas.



Antes da aula experimental, 5 alunos (38,46%) responderam corretamente à quinta questão, enquanto 8 alunos (61,54%) erraram. Esse resultado revela que mais da metade da turma não compreendia adequadamente a relação entre energia cinética e o quadrado da velocidade, nem o processo de conversão de energia ocorrido no sistema do Canhão de Gauss. Essa dificuldade pode indicar que muitos estudantes ainda tratavam os conceitos de forma fragmentada, sem perceber a integração entre as leis do movimento e a conservação de energia em contextos reais.

Questionário após a aula experimental (Canhão de Gauss)

Resposta: 11 alunos (84,61%) responderam corretamente a quarta questão com a alternativa (c) e 2 alunos (15,39%) responderam com as demais alternativas.



Após a aula experimental, houve um avanço expressivo: 11 alunos (84,61%) responderam corretamente, e apenas 2 alunos (15,39%) continuaram com dificuldades. Esse resultado mostra que a atividade prática permitiu aos estudantes visualizar e compreender o fenômeno físico descrito na questão, conectando teoria e prática com clareza.

A comparação dos dados evidencia uma evolução clara na compreensão conceitual dos alunos, com o número de acertos aumentando de 38,46% para 84,61%. Isso indica que a atividade prática com o Canhão de Gauss foi fundamental para promover aprendizagem significativa, permitindo que os alunos não apenas aplicassem fórmulas, mas compreendessem o processo físico por trás da aceleração e liberação de energia no sistema. A integração entre teoria e prática foi decisiva para esse avanço.

É interessante observar que nesta questão o estudante retoma, com a leitura das etapas, todo processo vivido nas questões anteriores, juntamente com a parte experimental. Observe que de todas as questões colocadas na atividade, a questão de número cinco foi a que tivemos o maior percentual de acertos. Isto se deve ao amadurecimento e ao nível de compreensão dos alunos por meio do trabalho realizado. É importante observar que a evolução dos desafios, partindo da primeira questão, motiva os estudantes a refletirem e melhorarem suas conceituações, permitindo, em isso acontecendo, que no final os desempenhos sejam maiores.

Capítulo 5 Resultados e Conclusão

Este capítulo apresenta os resultados da aplicação dos questionários prévio e final relacionados à atividade experimental com o Canhão de Gauss, realizada no contexto da aprendizagem de conceitos de Física, como vetor velocidade, colisões, quantidade de movimento e energia cinética. A análise dos dados obtidos foi interpretada à luz da teoria da aprendizagem significativa de David Ausubel, com foco nos processos de modificação de subsunções, reconciliação integradora e diferenciação progressiva.

A comparação entre os resultados dos questionários aplicados antes e depois da atividade experimental revela uma evolução significativa na compreensão conceitual dos estudantes. Em todas as questões houve aumento do número de respostas corretas, o que evidencia que a experiência prática contribuiu positivamente para a assimilação dos conteúdos.

De acordo com Ausubel (2003), a aprendizagem significativa ocorre quando novas informações são integradas de forma não arbitrária e substantiva à estrutura cognitiva preexistente do aprendiz. Nessa perspectiva, os resultados analisados demonstram que houve modificação de subsunções, pois, nas primeiras duas questões, os alunos revisaram e refinaram conceitos que já possuíam parcialmente, ajustando-os com base nas observações realizadas durante o experimento. Também foi possível identificar a reconciliação integradora, especialmente na segunda questão, em que os estudantes conseguiram abandonar concepções alternativas, reorganizando o novo conhecimento de maneira coerente com os princípios teóricos. Além disso, observou-se a diferenciação progressiva nas questões três e quatro, nas quais conceitos abstratos, como quantidade de movimento e energia cinética, passaram a ser compreendidos com maior profundidade, considerando suas fórmulas, aplicações e implicações práticas, bem como compreendendo a relação entre eles, complementaridade e diferenças no contexto do funcionamento do canhão de Gauss. Nos parágrafos subsequentes apresentamos uma síntese analítica a partir dos três eixos considerados, a saber:

1º Eixo: modificação de subsunção pela análise da evolução das respostas certas.

2º Eixo: reconciliação quando eles interpretam mais de uma situação com o mesmo conceito.

3º eixo: diferenciação quando eles conseguem explicar o mesmo fenômeno com ou sem determinada grandeza, por exemplo, com ou sem força dissipativa. em geral, caso ideal x caso real.

1º Eixo: modificação de subsunçor pela análise da evolução das respostas certas.

A modificação de subsunções, segundo a teoria da aprendizagem significativa de Ausubel (2003), refere-se à reestruturação de conceitos já presentes na estrutura cognitiva do aprendiz, permitindo que novas informações se integrem de forma substantiva e não arbitrária. Com base nos resultados obtidos nos questionários prévio e final, é possível identificar esse processo nas respostas dos alunos ao longo da atividade experimental com o Canhão de Gauss.

Com base na análise das cinco questões aplicadas aos alunos, é possível identificar o primeiro eixo que revela um processo claro de modificação e refinamento dos subsunções dos alunos, conforme a teoria de Ausubel. Na primeira questão, o alto índice inicial de acertos (92,30%) evoluiu para 100%, indicando que o experimento teve um papel consolidativo, reforçando um conhecimento já presente.

A segunda questão apresentou um aumento de acertos de 30,80% para 69,20%, demonstrando reconciliação integradora, com reorganização de concepções equivocadas sobre colisões elásticas.

Nas terceira e quarta questões, os ganhos (23,08% para 69,20% e 38,46% para 84,61%) apontam para diferenciação progressiva, à medida que os alunos passaram a compreender e aplicar as fórmulas de forma contextualizada.

Por fim, a quinta questão, de caráter integrador, obteve o maior índice de acertos no pós-teste (84,61%). Essa questão sintetizava os conceitos explorados anteriormente, exigindo do aluno uma compreensão holística do experimento. O desempenho elevado sugere que os subsunções foram não apenas modificados, mas também integrados e consolidados em um esquema conceitual mais complexo e maduro. A leitura interpretativa das etapas do experimento serviu como organizador

cognitivo que reforçou a estrutura conceitual global desenvolvida ao longo da experiência.

Assim, a análise da evolução das respostas corretas ao longo das cinco questões revela um claro movimento de modificação e refinamento dos subsunções dos alunos, favorecido pela articulação entre teoria e prática e pela mediação didática intencional, elementos essenciais para a promoção da aprendizagem significativa. O quadro a seguir

Quadro 4 - Análise da Evolução Cognitiva a partir do Desempenho dos Alunos

Questão	Tema Avaliado	% de Acertos (Pré)	% de Acertos (Pós)	Tipo de Modificação Cognitiva (Ausubel)	Interpretação Pedagógica
1	Vetor velocidade	92,30%	100%	Modificação de subsunções consolidados	Reforço e estabilização de conhecimento prévio já existente. A prática consolidou a estrutura conceitual do vetor velocidade.
2	Colisões perfeitamente elásticas	30,80%	69,20%	Reconciliação integradora	Reestruturação de concepções alternativas a partir da experiência prática, promovendo integração coerente com a teoria física.
3	Quantidade de movimento	23,08%	69,20%	Diferenciação progressiva	Ampliação da compreensão conceitual, com aplicação da fórmula em contexto real, superando a visão mecânica e isolada.
4	Energia cinética	38,46%	84,61%	Diferenciação progressiva	Compreensão do conceito como fenômeno físico aplicado, não apenas matemático. Maior profundidade e significado atribuído.
5	Interpretação integrada do experimento	38,46%	84,61%	Síntese e consolidação conceitual	Articulação e integração de conceitos explorados nas questões anteriores, com leitura interpretativa e amadurecimento cognitivo.

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

2º Eixo: reconciliação quando eles interpretam mais de uma situação com o mesmo conceito.

Com base na análise das cinco questões aplicadas aos alunos, é possível identificar um segundo eixo de análise centrado na reconciliação conceitual em situações múltiplas, especialmente quando os alunos interpretam mais de uma situação com base em um mesmo conceito. Essa habilidade evidencia uma

aprendizagem significativa e está alinhada à reconciliação integradora, conforme proposto por Ausubel.

Um exemplo claro ocorre nas questões 2 e 5, onde o conceito de conservação da quantidade de movimento é exigido em contextos distintos. Na questão 2, os alunos enfrentam suas concepções equivocadas sobre colisões perfeitamente elásticas, sendo levados a reorganizar essas ideias a partir da experiência prática, o que representa um movimento típico de reconciliação integradora. Já na questão 5, esse mesmo conceito reaparece dentro de um contexto mais complexo e integrado, exigindo do aluno não apenas a lembrança, mas a aplicação adaptada e contextualizada, o que demonstra transferência significativa de conhecimento.

Essa transferência também é observada nas questões 3 e 4, cujos conceitos (quantidade de movimento e energia cinética) são retomados de forma articulada na questão 5. A capacidade dos alunos de mobilizar esses conhecimentos anteriormente isolados para interpretar uma situação experimental global aponta para uma síntese conceitual mais avançada. Esse movimento mostra que os subsunções não foram apenas ativados, mas também reorganizados em um esquema conceitual mais coeso e unificado.

Adicionalmente, o desempenho dos alunos na quinta questão indica que eles conseguiram reconhecer relações conceituais entre fenômenos físicos diferentes, como vetores, colisões e conservação de energia, o que vai além da simples memorização ou aplicação mecânica. Trata-se de uma leitura interpretativa que exige tanto diferenciação progressiva quanto integração conceitual. Nesse sentido, observa-se uma clara superação de visões fragmentadas, comum nos estágios iniciais de aprendizagem, para dar lugar a uma compreensão mais ampla e articulada.

Portanto, esse eixo de análise evidencia como os alunos foram capazes de aplicar um mesmo conceito em múltiplas situações, o que revela não apenas a modificação dos subsunções, mas também sua reconciliação e integração dentro de um sistema cognitivo mais maduro e significativo. Essa habilidade é essencial no ensino de ciências e demonstra que a aprendizagem ocorreu de forma efetiva e transformadora.

3º eixo: diferenciação quando eles conseguem explicar o mesmo fenômenos com ou sem determinada grandeza, por exemplo, com ou sem força dissipativa. em geral, caso ideal x caso real.

A aprendizagem significativa, segundo a teoria de Ausubel, envolve não apenas a aquisição de novos conceitos, mas também a refinada capacidade de distinguir entre diferentes níveis de explcação de um mesmo fenômeno. Nesse contexto, o terceiro eixo de análise, Diferenciação, concentra-se na habilidade dos alunos de compreender e explicar fenômenos físicos sob diferentes condições, como a distinção entre casos ideais e reais ou a consideração da presença ou ausência de determinadas grandezas, como forças dissipativas.

Nas questões 3 e 4, essa diferenciação é mais evidente. Os alunos, ao passarem de 23,08% para 69,20% (questão 3) e de 38,46% para 84,61% (questão 4), demonstraram que foram capazes de ampliar sua compreensão não apenas aplicando fórmulas, mas interpretando os conceitos de quantidade de movimento e energia cinética dentro de contextos mais realistas. Isso indica que eles começaram a compreender que os resultados teóricos (idealizados) podem ser modificados pela presença de fatores como forças dissipativas, colisões não perfeitamente elásticas ou perdas de energia. Trata-se de um movimento cognitivo em que o aluno deixa de enxergar os conceitos como verdades absolutas e passa a vê-los como modelos interpretativos que dependem de condições específicas.

Essa habilidade se aprofunda ainda mais na questão 5, onde os conceitos anteriormente abordados são integrados em uma situação experimental mais complexa. O alto índice de acertos (84,61%) sugere que os alunos foram capazes de aplicar suas compreensões diferenciais em uma análise integrada, reconhecendo, por exemplo, a diferença entre o comportamento idealizado de um sistema e os desvios observados na prática experimental, como perdas por atrito ou deformações. Isso evidencia uma diferenciação conceitual madura, pois os alunos articulam o modelo teórico com o comportamento real, compreendendo as limitações e aplicações de cada abordagem.

Assim, este eixo de análise evidencia a capacidade dos alunos de diferenciar conceitualmente um mesmo fenômeno, reconhecendo variações como a presença ou ausência de grandezas físicas, como forças dissipativas. A distinção entre caso ideal

e real reflete uma compreensão mais profunda e flexível dos conceitos físicos, indicando não apenas a aquisição, mas a reorganização do conhecimento em estruturas conceituais mais complexas e adaptáveis.

Reflexão final:

Ao longo deste processo, enfrentei diversas dificuldades, tanto no campo da docência quanto na pesquisa. Uma das maiores foi conciliar teoria e prática em sala de aula, especialmente ao tentar promover uma aprendizagem significativa em um contexto marcado por limitações estruturais, heterogeneidade de saberes e tempo pedagógico reduzido, que é uma infeliz realidade da disciplina “Física” na escola básica. Além disso, compreender profundamente os fundamentos da teoria de Ausubel e traduzi-los em estratégias didáticas eficazes exigiu um esforço contínuo de estudo, experimentação e revisão crítica.

Apesar desses desafios, também vivenciei avanços importantes. Foi possível observar, por meio da análise dos dados, evoluções reais na aprendizagem dos alunos, evidenciando que, quando expostos a situações bem planejadas e contextualizadas, eles são capazes de reorganizar e aprofundar suas estruturas conceituais. Ver essa transformação se refletir nos resultados e, principalmente, nas atitudes dos estudantes frente ao conhecimento científico, foi extremamente motivador.

Do ponto de vista pessoal e profissional, houve um crescimento significativo. Como professor, amadureci no planejamento e na condução de experiências de ensino-aprendizagem mais intencionais e alinhadas com princípios do cognitivismo. Como pesquisador, desenvolvi um olhar mais analítico e sensível sobre os processos cognitivos dos alunos, compreendendo melhor as nuances da construção do conhecimento. Aprendi a valorizar mais o tempo do aluno, suas dúvidas e trajetórias, e a reconhecer que a verdadeira aprendizagem exige paciência, escuta e reflexão contínua.

Esperamos que esta dissertação contribua para a pesquisa e ensino de física, e, também, que sirva para que colegas professores de física a utilize em suas aulas.

Referências Bibliográficas

- ALCÂNTARA, L. S.; SOUZA, E. A. Canhão de Gauss. **Revista Brasileira de Ensino de Física**: v. 45, 2023.
- ANDRÉ, W. C. S.; SILVA, I. M. Contribuições e limitações de sequências de ensino na forma de unidades de ensino potencialmente significativas: uma revisão sistemática da literatura. **Investigações em Ensino de Ciências**, 27(3), p. 270–290, 2022. <https://doi.org/10.22600/1518-8795.ienci2022v27n3p270>.
- AUSUBEL, David P.; NOVAK, Joseph D.; HANESIAN, Helen. *Psicologia educacional*. 2. ed. Tradução de José Elias Garcia. São Paulo: Martins Fontes, 2003.
- AUSUBEL, D. P. *Aquisição e retenção de conhecimentos: uma perspectiva cognitiva*. Lisboa: Plátano, 2003.
- BAPTISTA, J. P. Os princípios fundamentais ao longo da história da física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**. 28 (4), 2006.
- BOLZAN, M.S.; ORLANDO, M. T. D.; LOPES, N. A. Guia didático de uma unidade de ensino potencialmente significativa sobre impulso e quantidade de movimento. IFES, MNPEF, 2016. Disponível em: < https://repositorio.ifes.edu.br/bitstream/handle/123456789/377/PRODUTO_Impulso_quantidade_movimento.pdf?sequence=2&isAllowed=y>. Acesso em 23/06/2025.
- FERREIA, R. N. **Proposta de ensino para cinemática usando o canhão de Gauss pautada na teoria da aprendizagem significativa**. Dissertação (Mestrado Profissional) – Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – Campus Sobral (IFCE), Sobral/CE, 2018. Disponível em: <<https://ifce.edu.br/sobral/campus-sobral/cursos/posgraduacoes/mestrado-1/mnpef/arquivos/8-proposta-de-ensino-para-cinematica-usando-o-canhaoo-de-gauss-pautada-na-teoria-da-aprendizagem-significativa.pdf>>. Acesso em: 08 mar. 2024.
- GUEDES, G. B. **O uso do Arduino como uma ferramenta avaliativa no ensino de cinemática**. Dissertação (Mestrado Profissional) – Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física. Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2019. Disponível em: <file:///C:/Users/Jo%C3%A3ozinho/Downloads/ Dissertacao_Gabriel%20Borges_MNPEF.pdf>. Acesso em: 24 jul. 2024.
- HALLYDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de física**. v. 1. Rio de Janeiro: LTC, 2011.
- LOPES, E.; VIEIRA, M. C. C.; BOITA, J. Canhão de Gauss caseiro como facilitador do ensino na área de magnetismo. **Ciência & Natura**, Santa Maria, v. 46, Número Especial 3, 2024.
- MELO, T.; SILVA, L. S.; SILVA, S. S.; SILVA, A. N.; MORAES, D. V. Canhão de Gauss como facilitador no Ensino de física do ensino médio. In: Camponês, K. C. A interlocução de saberes na formação docente. Ponta Grossa: Atena Editora, 2019.

MORAES, V. O. **Unidade de ensino potencialmente significativa para o estudo físico e musical da vibração de barras homogêneas por meio da análise experimental da kalimba.** Dissertação (Mestrado Profissional) – Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física. Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Recife/PE, 2022. Disponível em: < <http://www.mnpef.ufrpe.br/?q=pt-br/dissertacoes>>. Acesso em: 08 mar. 2024.

MANUAL DO MUNDO. Como fazer um CANHÃO MAGNÉTICO CASEIRO (CANHÃO DE GAUSS). Direção e apresentação: Iberê Thenório. Produção executiva: Mari Fulfaró. Produção: João Vítor Muçouçah. Imagens: Otávio Augusto Rodrigues. Edição de imagens: Cristiane Poveda. Arte gráfica: Daniel HenaresYoutube, publicado em 14/07/2015.

MINAYO, M. C. S. **Pesquisa social:** teoria, método e criatividade. 18ed. Petrópolis: Vozes, 2001.

MOREIRA, M. A. **Teorias de Aprendizagem.** 2ed. São Paulo: EPU, 2011a.x

MOREIRA, M. A. Aprendizagem significativa: o conceito subjacente. **Aprendizagem Significativa em Revista**, v. 1, n. 3, 2011b.

MOREIRA, M. A. Pesquisa em ensino: aspectos metodológicos. UFRGS: Departamento de Física, 2003. Disponível em <http://moreira.if.ufrgs.br/pesquisaemensino.pdf>. Acesso em 17/06/2025.

MOREIRA, Antonio Flávio Barbosa; CANDAU, Vera Maria. A pesquisa qualitativa em educação: outros espaços e outras epistemologias. *Revista Brasileira de Educação*, Rio de Janeiro, n. 10, p. 80–91, jan./abr. 2005.

MOREIRA, M. A. **Aprendizagem significativa:** a teoria de David Ausubel. 2ed. São Paulo: Centauro, 2006.

MOREIRA, M. A. **Unidades de ensino potencialmente significativas – UEPS.** Porto Alegre: instituto de Física, 2016. Disponível em: <<https://www.if.ufrgs.br/~moreira/UEPSport.pdf>> Acesso em 12/06/2022.

NESI, E. R.; BATISTA, M. C. Produtos educacionais elaborados no mestrado profissional em ensino de física: a busca por referenciais norteadores. **Revista Valore**, Volta Redonda, 3 (Edição Especial): 554-563., 2018.

NUSSENZVEIG, H. M. **Mecânica.** 4ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2002.

RODRIGUES, A. R. **Um produto educacional, baseado no canhão de Gauss, para o ensino de conceitos relacionados a mecânica e eletromagnetismo.** Dissertação (Mestrado Acadêmico) – Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e **Matemática**. Universidade Franciscana (UFN), Santa Maria/RS, 2022. Disponível em: <https://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UFN-1_79144630ff2626a47237af045146110d>. Acesso em: 08 mar. 2024.

SILVA FILHO, O. L; FERREIRA, M. TEORIAS DA APRENDIZAGEM E DA EDUCAÇÃO COMO REFERENCIAIS EM PRÁTICAS DE ENSINO: AUSUBEL E LIPMAN

ZABALA, Antoni. As sequências didáticas e as sequências de conteúdo. In: **A prática educativa** - Como ensinar. Porto Alegre: Artmed, 1998. Capítulo 3, p.53-87.

Apêndice A Atividade da aula experimental

Grupo 1.

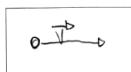
Professor: William Coelho

Turma: 1º Ano (Ensino Médio)

Atividade Experimental - Data: 04/11/24

Situação 1:

É possível determinar a direção e o sentido do vetor velocidade da esfera ao sair do canhão de Gauss? Se for possível, desenhe a esfera e o vetor velocidade dentro da moldura a seguir.



Situação 2:

A esfera pivô, ao movimentar-se em direção dos ímãs, será atraída por uma força de natureza gravitacional, magnética ou nuclear?

Mag. Núcl.

Situação 3:

Com base no lançamento que você acabou de realizar e observar, levando em consideração a ausência das forças dissipativas, qual a modalidade de energia que a última esfera adquire ao sair do trilho?

Energia Cinética

Situação 4:

Desprezando as forças dissipativas, como você classificaria as colisões observadas entre as esferas durante o funcionamento do canhão de Gauss?

Colisões perfeitamente elásticas.

Colisões perfeitamente inelásticas.

Colisões parcialmente elásticas.

Situação 5:

Levando em consideração as forças dissipativas, como você classificaria as colisões envolvidas durante o funcionamento do canhão de Gauss?

Colisões perfeitamente elásticas.

Colisões perfeitamente inelásticas.

Colisões parcialmente elásticas.

Atividade 6:

Utilizando a balança de precisão, anote a massa da esfera. Considerando a quantidade de movimento igual a 1,2 kg.m/s, estime a velocidade com a última esfera sairá do trilho.

Massa da esfera (Kg)	Velocidade da esfera (m/s)
0,3 Kg	4 m/s

Grupo: 1

Grupo 2.

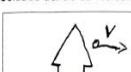
Professor: William Coelho

Turma: 1º Ano (Ensino Médio)

Atividade Experimental - Data: 04/11/24

Situação 1:

É possível determinar a direção e o sentido do vetor velocidade da esfera ao sair do canhão de Gauss? Se for possível, desenhe a esfera e o vetor velocidade dentro da moldura a seguir.



Horizontal
e Para
Frente

Situação 2:

A esfera pivô, ao movimentar-se em direção dos ímãs, será atraída por uma força de natureza gravitacional, magnética ou nuclear?

Mag. Núcl.

Situação 3:

Com base no lançamento que você acabou de realizar e observar, levando em consideração a ausência das forças dissipativas, qual a modalidade de energia que a última esfera adquire ao sair do trilho?

Energia
Cinética

Situação 4:

Desprezando as forças dissipativas, como você classificaria as colisões observadas entre as esferas durante o funcionamento do canhão de Gauss?

Colisões perfeitamente elásticas.

Colisões perfeitamente inelásticas.

Colisões parcialmente elásticas.

Situação 5:

Levando em consideração as forças dissipativas, como você classificaria as colisões envolvidas durante o funcionamento do canhão de Gauss?

Colisões perfeitamente elásticas.

Colisões perfeitamente inelásticas.

Colisões parcialmente elásticas.

Atividade 6:

Utilizando a balança de precisão, anote a massa da esfera. Considerando a quantidade de movimento igual a 1,2 kg.m/s, estime a velocidade com a última esfera sairá do trilho

Massa da esfera (Kg)	Velocidade da esfera (m/s)
0,8 Kg	9 m/s

Grupo: 2

Grupo 3.

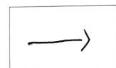
Professor William Coelho

Turma 1º Ano (Ensino Médio)

Atividade Experimental - Data 04/11/24

Situação 1:

É possível determinar a direção e o sentido do vetor velocidade da esfera ao sair do canhão de Gauss? Se for possível desenhe a esfera e o vetor velocidade dentro da moldura a seguir.



Situação 2:

A esfera pivô, ao movimentar-se em direção dos imãs, será atraída por uma força de natureza gravitacional, magnética ou nuclear? **FORÇA MAGNÉTICA**

Situação 3:

Com base no lançamento que você acabou de realizar e observar, levando em consideração a ausência das forças dissipativas, qual a modalidade de energia que a última esfera adquire ao sair do trilho? **ENERGIA CINÉTICA**

Situação 4:

Desprezando as forças dissipativas, como você classificaria as colisões observadas entre as esferas durante o funcionamento do canhão de Gauss?

- () Colisões perfeitamente elásticas.
- () Colisões perfeitamente inelásticas.
- () Colisões parcialmente elásticas.

Situação 5:

Levando em consideração as forças dissipativas, como você classificaria as colisões envolvidas durante o funcionamento do canhão de Gauss?

- () Colisões perfeitamente elásticas.
- () Colisões perfeitamente inelásticas.
- () Colisões parcialmente elásticas.

Atividade 6:

Utilizando a balança de precisão, anote a massa da esfera. Considerando a quantidade de movimento igual a 1,2 kg m/s, estime a velocidade com a última esfera sairá do trilho

Massa da esfera (Kg)	Velocidade da esfera (m/s)
0,3 Kg	4m/s

Grupo: 3

Grupo 4.

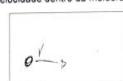
Professor William Coelho

Turma 1º Ano (Ensino Médio)

Atividade Experimental - Data 04/11/24

Situação 1:

É possível determinar a direção e o sentido do vetor velocidade da esfera ao sair do canhão de Gauss? Se for possível, desenhe a esfera e o vetor velocidade dentro da moldura a seguir



Situação 2:

A esfera pivô, ao movimentar-se em direção dos imãs, será atraída por uma força de natureza gravitacional, magnética ou nuclear? **Magnética**

Situação 3:

Com base no lançamento que você acabou de realizar e observar, levando em consideração a ausência das forças dissipativas, qual a modalidade de energia que a última esfera adquire ao sair do trilho?

Simétrica

Situação 4:

Desprezando as forças dissipativas, como você classificaria as colisões observadas entre as esferas durante o funcionamento do canhão de Gauss?

- () Colisões perfeitamente elásticas.
- () Colisões perfeitamente inelásticas.
- () Colisões parcialmente elásticas.

Situação 5:

Levando em consideração as forças dissipativas, como você classificaria as colisões envolvidas durante o funcionamento do canhão de Gauss?

- () Colisões perfeitamente elásticas.
- () Colisões perfeitamente inelásticas.
- () Colisões parcialmente elásticas.

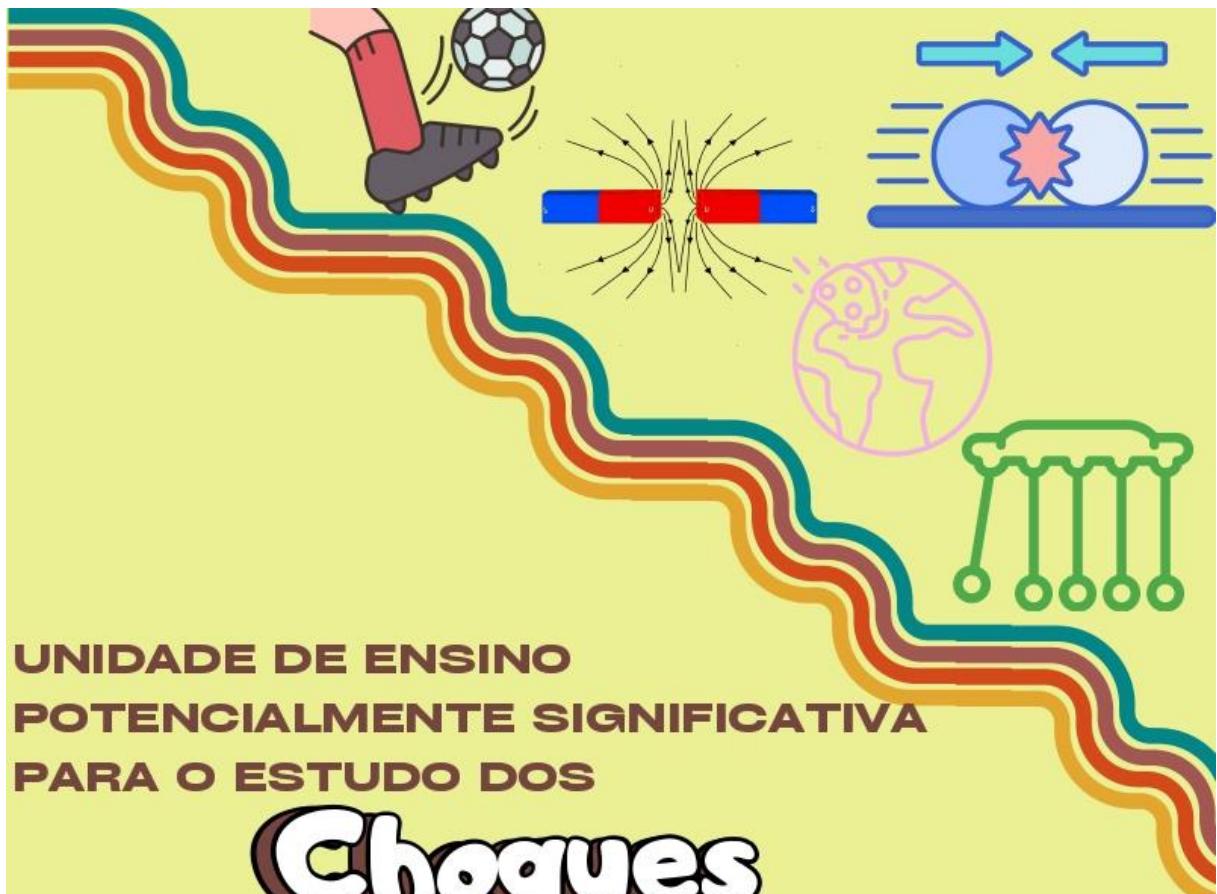
Atividade 6:

Utilizando a balança de precisão, anote a massa da esfera. Considerando a quantidade de movimento igual a 1,2 kg m/s, estime a velocidade com a última esfera sairá do trilho.

Massa da esfera (Kg)	Velocidade da esfera (m/s)
0,3	8,4

Grupo: H

Apêndice B Produto Educacional



**UNIDADE DE ENSINO
POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA
PARA O ESTUDO DOS**

Choques Mecânicos

**IMPULSIONADOS POR FORÇAS
MAGNÉTICAS UTILIZANDO O CANHÃO
DE GAUSS NO ENSINO MÉDIO**

MNPEF Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física



UFRPE



SOCIEDADE BRASILEIRA DE FÍSICA



A presente cartilha foi desenvolvida com o objetivo de ofertar uma forma inovadora, divertida e participativa de ensinar os conteúdos relativos ao estudo dos choques mecânicos, valorizando o diálogo entre professor e aluno e abrindo espaço para a autonomia dos alunos na realização de um conjunto de atividades experimentais, juntamente com o aprendizado do conteúdo.

É fruto do produto educacional desenvolvido na nossa dissertação de mestrado, no Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, polo 58 – Universidade Federal Rural de Pernambuco. Consiste numa Unidade de Ensino Potencialmente Significativa - UEPS, construída tomando por base seus oito passos característicos, metodologia desenvolvida por Marco Antônio Moreira. Tal metodologia tem sido amplamente utilizada nas aulas de física da escola básica e se baseia na Teoria da Aprendizagem Significativa - TAS, na qual os conhecimentos prévios dos estudantes são valorizados no processo de ensino.

Aos professores que desejarem aprender mais sobre a metodologia das UEPS e sobre a TAS, podem acessar a dissertação na página do mestrado na UFRPE, bastando acessar o endereço eletrônico <https://ww2.mnpef.ufrpe.br/>.

O objetivo principal foi o de estimular os estudantes por meio de uma atividade simples e prática utilizando o Canhão de Gauss a participarem das aulas de física, promovendo a aprendizagem significativa dos conteúdos relacionados às colisões mecânicas, além da valorização do protagonismo na execução de todos os passos da atividade experimental envolvendo o citado aparato, possibilitando caracterizar os tipos de colisões.

Esperamos que esta cartilha sirva para enriquecer as aulas de mecânica, agregando diversão na participação ativa do estudante, valorizando a importância das atividades experimentais na compreensão dos conteúdos.



Conteúdos e habilidades



Competências

A base Nacional Comum Curricular prevê que o ensino médio possa desenvolver conteúdos e habilidades capazes de possibilitar ao cidadão comum manifestar, frente às demandas do mundo moderno, três competências específicas relativas ao aprendizado de ciências da natureza e suas tecnologias. São elas:

1. Analisar fenômenos naturais e processos tecnológicos, com base nas interações e relações entre matéria e energia, para propor ações individuais e coletivas que aperfeiçoem processos produtivos, minimizem impactos socioambientais e melhorem as condições de vida em âmbito local, regional e global.
2. Analisar e utilizar interpretações sobre a dinâmica da Vida, da Terra e do Cosmos para elaborar argumentos, realizar previsões sobre o funcionamento e a evolução dos seres vivos e do Universo, e fundamentar e defender decisões éticas e responsáveis.
3. Investigar situações-problema e avaliar aplicações do conhecimento científico e tecnológico e suas implicações no mundo, utilizando procedimentos e linguagens próprios das Ciências da Natureza, para propor soluções que considerem demandas locais, regionais e/ou globais, e comunicar suas descobertas e conclusões a públicos variados, em diversos contextos e por meio de diferentes mídias e tecnologias digitais de informação e comunicação (TDIC).

Nossa proposta se alinha com as três competências específicas, uma vez que:

1. Os choques mecânicos, são um tipo **de interação matéria e energia**.
2. Os choques mecânicos ocorrem na natureza e tem relação direta com a **dinâmica da vida na terra**.
3. A atividade experimental propõem investigar uma **situação-problema**, busca avaliar aplicações do conhecimento científico e tecnológico e suas implicações no mundo, utilizando procedimentos e linguagens próprios das Ciências da Natureza.

Habilidades relativas a cada uma das três competências específicas na BNCC

COMPETÊNCIA ESPECÍFICA 1

HABILIDADE (EM13CNT101): Analisar e representar, com ou sem o uso de dispositivos e de aplicativos digitais específicos, as transformações e conservações em sistemas que envolvam quantidade de matéria, de energia e de movimento para realizar previsões sobre seus comportamentos em situações cotidianas e em processos produtivos que priorizem o desenvolvimento sustentável, o uso consciente dos recursos naturais e a preservação da vida em todas as suas formas.

COMPETÊNCIA ESPECÍFICA 2

HABILIDADE (EM13CNT204): Elaborar explicações, previsões e cálculos a respeito dos movimentos de objetos na Terra, no Sistema Solar e no Universo com base na análise das interações gravitacionais, com ou sem o uso de dispositivos e aplicativos digitais (como softwares de simulação e de realidade virtual, entre outros).

COMPETÊNCIA ESPECÍFICA 3

HABILIDADE (EM13CNT301): Construir questões, elaborar hipóteses, previsões e estimativas, empregar instrumentos de medição e representar e interpretar modelos explicativos, dados e/ou resultados experimentais para construir, avaliar e justificar conclusões no enfrentamento de situações-problema sob uma perspectiva científica.

O que é o canhão de Gauss?

O canhão de Gauss é um aparato experimental relativamente simples, pois se trata de um acelerador magnético linear, capaz de lançar um projétil. Além de ser simples, e de fácil execução, é riquíssimo nos conteúdos de mecânica que podem ser abordados e investigados. A figura a seguir mostra o protótipo desenvolvido por nós para esta atividade educacional.



Trata-se de uma impressão 3D, confeccionada em uma impressora 3D do tipo FDM (Modelagem de Disposição Fundida) da marca GT MAX 3D, cujas dimensões são 3 cm de largura e 32 cm de comprimento, sendo, portanto, de fácil transporte e armazenamento.

O aparato é composto de um conjunto de ímãs e esferas de ferro, capazes de transferirem energia cinética de uns para os outros. Com uma série de ímãs, aceleramos uma bolinha metálica, após colisões elásticas sucessivas. A cada colisão, a bolinha impulsionada é acelerada pelo campo magnético do imã seguinte. Assim, a última bolinha é lançada com uma velocidade considerável, uma vez que adquire a energia acumulada nos sucessivos funcionamentos magnéticos, salvo as perdas pelo atrito e interações, pois, sabemos, que se tratam de choques parcialmente elásticos.

O projeto do Canhão de Gauss desenvolvido no “Simplify3D” e disponibilizado no site <<https://www.thingiverse.com/thing:378696>>, sob o nome “Newtonian Projectile Launcher”, salvo no formato “.stl”, que consiste num formato padrão para desenvolvimento e compartilhamento de projetos de prototipagem rápida. Foi impresso em uma impressora da marca GtMax3D do modelo A3 V2 utilizando filamento tipo ABS, que funciona com firmware “Marlin” modificado.

Foram gastos 75 gramas de filamento para cada canhão. Foram impressos 04 unidades do Canhão de Gauss. Também foram comprados, para cada canhão, 4 imãs de neodímio no formato pastilha, com diâmetro 12 mm e altura 6 mm, e 7 esferas de aço de diâmetro 9 mm e massa de aproximadamente 3 gramas.

Como podemos observar na figura 2, existem dois conjuntos dispostos no trilho, cada um dos quais composto por dois imãs e três esferas. Os imãs de cada um dos dois conjuntos estão dispostos da sequência N-S-N-S. o motivo de utilizar dois imãs em cada conjunto foi o de aumentar a atração magnética, e, portanto, a aceleração da esfera motora. O intuito de utilizarmos dois conjuntos foi o de estudar as interações de choques mecânicos e a transferência de energia em dois momentos de choques. Para melhor compreensão da análise física do canhão de Gauss, veremos, a seguir, os conceitos físicos relacionados ao aparato experimental, que servirão como base no processo de ensino e aprendizagem.

Como podemos observar na figura a seguir, existem dois conjuntos dispostos no trilho, cada um dos quais composto por dois imãs e três esferas. Os imãs de cada um dos dois conjuntos estão dispostos da sequência N-S-N-S. o motivo de utilizar dois imãs em cada conjunto foi o de aumentar a atração magnética, e, portanto, a aceleração da esfera motora. O intuito de utilizarmos dois conjuntos foi o de estudar as interações de choques mecânicos e a transferência de energia em dois momentos de choques.

Para melhor compreensão mais aprofundada da análise física do canhão de Gauss, podem visitar o capítulo 2 da nossa dissertação na página do mestrado na UFRPE, bastando acessar o endereço eletrônico <https://ww2.mnpef.ufrpe.br/>. A seguir, apresentamos um resumo dos conceitos físicos relacionados ao aparato experimental, que servirão como base no processo de ensino e aprendizagem.



Conservação da Energia Mecânica:

E um sistema isolado, onde apenas forças conservativas causam variações de energia, a energia cinética e a energia potencial podem variar, mas sua soma, a energia mecânica do sistema, não pode variar.

$$E_{mecânica} = E_{cinética} + E_{potencial}$$

A conservação da energia mecânica é um caso particular do princípio geral de conservação de energia. A energia mecânica se conserva quando atuam, no corpo, apenas forças conservativas, sendo energia total mantida constante. Um sistema é dito conservativo quando as forças que realizam trabalho transformam exclusivamente energia potencial em energia cinética e vice e versa. É o que ocorre com as forças de gravidade, elásticas e eletrostáticas que, por sua vez, são denominadas forças conservativas. Sabe-se que as energias cinética e potencial sofrem variação, todavia sua soma permanece constante, ou seja, a energia mecânica muda sua forma, mas o conteúdo total permanece o mesmo.

Assim, para um sistema conservativo onde só há energia potencial gravitacional e energia cinética, a conservação da energia mecânica pode ser expressa da seguinte forma:

$$\begin{aligned} E_M(\text{final}) &= E_M(\text{inicial}) \\ E_M &= E_{\text{cinética}} + E_{\text{Potencial}} = \text{Constante} \\ E_{Cf} + E_{Pf} &= E_{Ci} + E_{Pi} \end{aligned}$$

Conservação da Quantidade de Movimento:

Quando estudamos a Lei fundamental da Dinâmica, aprendemos que a força resultante e a aceleração são grandezas diretamente proporcionais. A aceleração adquirida pelo corpo apresenta sempre a mesma direção e o mesmo sentido da força resultante. A equação fundamental $F = m \cdot a$ é a formalização algébrica da segunda lei de Newton. Na segunda Lei, a definição de quantidade de movimento, também conhecida como momento linear, coloca a força resultante como sendo igual à variação temporal da quantidade de movimento. Esta formulação será muito útil para entendermos um dos princípios mais importantes da física, o da conservação da conservação do momento linear. De acordo com esse princípio, a quantidade de movimento de um corpo isolado de forças externas é constante. Assim, sendo o $P = m \cdot v$ a quantidade de movimento, e $I = f \cdot \Delta t$ o impulso, temos:

$$I = \Delta P \rightarrow I = P_{final} - P_{inicial} \rightarrow F \cdot \Delta t = m \cdot v_{final} - m \cdot v_{inicial}$$

Choques mecânicos ou colisões:

Quando dois ou mais corpos entram em contato, dizemos que há uma colisão ou um choque. Um jogo de bilhar é um excelente cenário para observarmos um bom número de colisões mecânicas, sejam elas entre bolas ou entre uma bola e a borda da mesa, ou ainda entre o taco do jogador e a bola. Tais choques ocorrem em curtíssimo intervalo de tempo, e as forças internas trocadas durante o fenômeno são muito intensas e de curta duração, comparadas às forças externas que eventualmente agem sobre o sistema. Isso leva à conservação da quantidade de movimento imediatamente antes e depois da colisão. Tal aproximação ao caso ideal é bastante segura, pois a perda de energia é desprezível em relação ao quantitativo de energia em jogo. Partindo deste caso ideal, podemos afirmar que nos choques mecânicos, o momento linear total dos corpos envolvidos nas colisão não se altera, ou seja:

$$m_1 \cdot v_1 + m_2 \cdot v_2 + \dots + m_n \cdot v_n = \text{constante}$$

Duas fases podem ser distinguidas numa colisão mecânica: a de deformação e a de restituição. A fase da deformação é aquela que ocorre quando os corpos entram em contato e passam a se deformar mutuamente. Nessa fase, há, geralmente, degradação de energia mecânica (cinética) em energia térmica, energia sonora, dentre outras dissipações. Por isso, a maior parte das situações onde ocorre colisão mecânica constitui-se num sistema dissipativo. Excepcionalmente, porém, no caso de as perdas de energia mecânica serem desprezíveis, consideramos o sistema conservativo. A fase da restituição é aquela que começa após a fase da deformação, entretanto, não ocorre em todas as colisões da mesma forma, pois depende do coeficiente de restituição (e). Pode-se considerar o coeficiente de restituição como sendo uma grandeza física empregada para medir as propriedades elásticas dos corpos e a variação de energia cinética eventualmente sofrida em uma colisão. O coeficiente de restituição é uma grandeza adimensional, pois é resultado da divisão de duas grandezas iguais, quais sejam os módulos das velocidades relativas de afastamento (após a colisão) e de aproximação (antes da colisão). Tal grandeza não depende da massa dos corpos, mas depende dos materiais com os quais são constituídos os corpos que participam da colisão. Seu valor normalmente está compreendido entre 0 e 1, dependendo do tipo de choque que está ocorrendo e é definido como sendo:

$$e = \frac{\text{velocidade relativa de afastamento (antes da colisão)}}{\text{velocidade relativa de aproximação (antes da colisão)}}$$

De acordo com os valores do coeficiente de restituição, as colisões mecânicas unidimensionais classificam-se em três categorias: perfeitamente elásticas elásticas ($e = 1$), parcialmente elásticas ($0 < e < 1$) e inelásticas ($e = 0$).

Colisões perfeitamente elásticas:

Colisões perfeitamente elásticas são choques em que a velocidade relativa de aproximação e a velocidade relativa de afastamento, imediatamente antes e depois da colisão, são iguais em módulo, o que fará com que o coeficiente de restituição seja igual a 1. Neste tipo de choque, a energia cinética final do sistema é igual à energia cinética inicial, isto é, o sistema é conservativo. Além da conservação da energia cinética, a quantidade de movimento ou momento linear também se conserva durante a colisão, pois o sistema de corpos é isolado de forças externas.

Colisões parcialmente elásticas:

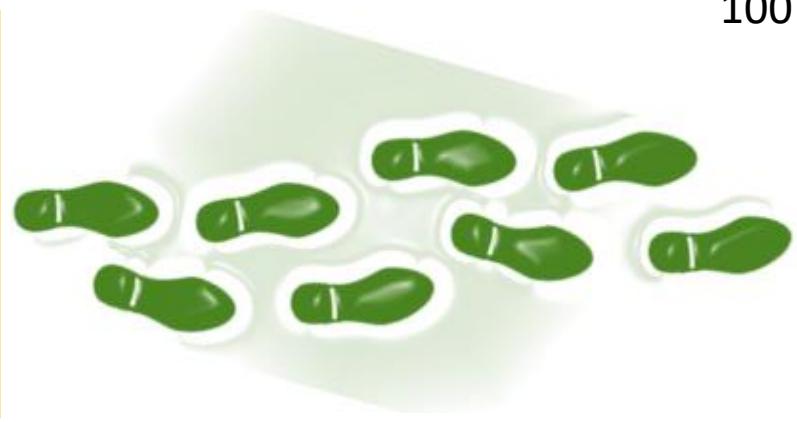
Colisões parcialmente elásticas são choques em que o módulo da velocidade relativa de afastamento será menor do que o módulo da velocidade relativa de aproximação, fazendo com que o coeficiente de restituição assuma valores entre 0 e 1. Neste tipo de colisão há conservação da quantidade de movimento, mas não da energia cinética inicial, que tem seu valor reduzido por dissipação. O pêndulo de Newton consiste num exemplo do choque parcialmente elástico. Ao suspendermos e abandonarmos a esfera de uma das duas extremidades, ela desce, transformando a energia potencial inicial em energia cinética. Ao atingir o nível inferior, essa esfera colide frontalmente com sua vizinha em repouso e o impacto se transmite para as quatro esferas subsequentes, propagando-se, por meio delas, até manifestar-se na esfera da outra extremidade. Esta, por ser a última, se eleva e retorna, colidindo com as quatro esferas em repouso, reiniciando a transferência de energia, até parar em razão das perdas de energia que ocorrem no sistema.

Colisões perfeitamente inelásticas:

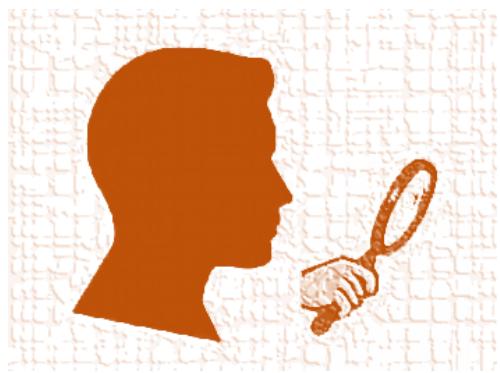
Colisões perfeitamente inelásticas são choques em que a velocidade relativa de afastamento é nula. Neste tipo de choque, os corpos caminham juntos após a colisão, fazendo com que o coeficiente de restituição seja igual a zero. As colisões inelásticas são sistemas com máxima dissipação de energia, nos quais a energia cinética diminui. Porém, tem-se a conservação na quantidade de movimento. O quadro a seguir sintetiza as características mecânicas de cada um destes casos.

Principais tipos de choque	Coeficiente de restituição	Energia	Quantidade de movimento
Perfeitamente elástico	$e = 1$	Conservação da energia cinética	Constante $\vec{P}_{\text{antes}} = \vec{P}_{\text{depois}}$
Parcialmente elástico	$0 < e < 1$	Dissipação parcial	Constante $\vec{P}_{\text{antes}} = \vec{P}_{\text{depois}}$
Perfeitamente inelástico	$e = 0$	Máxima dissipação	Constante $\vec{P}_{\text{antes}} = \vec{P}_{\text{depois}}$

Os 8 passos de NOSSA UEPS



AULA	PASSOS DA UEPS E DURAÇÃO	PASSOS DA UEPS	ATIVIDADE PLANEJADA
1	1º passo 10 min	Introdução.	Situar os alunos no contexto do estudo dos choques mecânicos por meio da apresentação dos conteúdos e das atividades que serão desenvolvidas.
	2º passo 20 min	Questionário inicial.	Aplicar o Questionário prévio (Canhão de Gauss) de forma individual.
	3º passo 20 min	Propor situações-problemas.	Estimular cada estudante no processo de ensino e aprendizagem.
2	4º passo 50 min	Trabalhar os conhecimentos a serem ensinados/aprendidos através da experimentação.	Observar a evolução do estudante quanto à aprendizagem.
3	5º passo 30 min	Retomar os aspectos mais gerais dos temas abordados.	Destacar semelhanças e diferenças relacionadas à primeira apresentação.
	6º passo 20 min	Concluir a unidade com a resolução novamente do questionário inicial.	Buscar a reconciliação integrativa.
4	7º passo 25 min	Realizar a avaliação da aprendizagem a partir da UEPS.	Avaliar o desempenhos dos estudantes por meio das UEPS.
	8º passo 25 min	Observar o desempenho dos alunos através das evidências de que a aprendizagem significativa é progressiva.	Avaliar a aplicação da UEPS



Agora vamos
Esmiuçar cada
um dos passos?

1º Passo: na definição do tema específico a ser abordado, apresentaremos o estudo dos choques mecânicos, bem como a atividade teórico-experimental que eles irão realizar utilizando do Canhão de Gauss. (Duração: 10 minutos). Antes de realizar esta etapa da atividade, devemos explicar aos alunos que a bolinha será abandonada do topo do orifício 'A', descerá pelo tubo curvo. A partir daí, será acelerada pela força de atração do par de ímãs 'B'.

Duração: 10 minutos.



2º Passo: aplicação de um questionário prévio que será respondido individualmente por cada aluno, o qual terá cinco perguntas relacionadas aos conteúdos que serão trabalhados na aula experimental, cujo objetivo é o de ter uma ideia dos conhecimentos prévios acerca do estudo dos choques mecânicos. A seguir, apresentamos as perguntas que compõem o questionário prévio, que será respondido pelos alunos por meio de uma ficha em sala de aula.

Duração: 20 minutos.

Questionário prévio (Canhão de Gauss)

1º) Observe com atenção as posições das esferas na figura abaixo.



Assinale a alternativa que representa corretamente o vetor velocidade da última esfera ao sair da calha do canhão.

- a) \overrightarrow{v}
- b) $\downarrow \overrightarrow{v}$
- c) $\uparrow \overrightarrow{v}$
- d) \overleftarrow{v}
- e) $\nearrow 60^\circ$

2º) Leia o texto abaixo com atenção.

São choques em que o módulo da velocidade de aproximação é igual ao módulo da velocidade de afastamento, imediatamente antes e após o choque, respectivamente. Os corpos sofrem deformações elásticas, no entanto voltam às características iniciais. Os corpos conservam sua quantidade de movimento, e a energia do sistema permanece constante.

De acordo com a classificação das colisões, assinale a alternativa que representa corretamente o texto que você acabou ler.

- a) Colisões perfeitamente elásticas.
- b) Colisões perfeitamente inelásticas.
- c) Colisões parcialmente elásticas.

3º) Considerando que a massa da esfera que sai do canhão de Gauss é 0,4 kg e a quantidade de movimento tem módulo de 1,2 kg.m/s, marque a alternativa que expressa a velocidade da esfera ao sair da calha.

- a) 1 m/s
- b) 2 m/s
- c) 3 m/s
- d) 4 m/s
- e) 5 m/s

4º) Com base na questão anterior, marque a alternativa que corresponde à energia cinética da esfera ao sair da calha do canhão.

- a) 0,8 b) 1,2 c) 1,8 d) 3,0 e) 9,0

5º) Leia os textos abaixo sobre o funcionamento do Canhão de Gauss.

Etapa I.

Estado inicial do canhão de Gauss. Três esferas metálicas são colocadas em contato com o ímã. A quarta esfera (pivô) é posicionada separadamente a uma distância d (aproximadamente 3 cm do ímã), em que o campo magnético seja suficiente para iniciar o movimento.

Etapa II.

Ao movimentar-se em direção ao ímã, a esfera pivô será atraída por uma força magnética cada vez mais intensa, sendo acelerada ao longo do caminho, consequentemente, e sua _____ proporcionalmente com o quadrado da sua _____ instantânea.

Etapa III.

Quando a esfera pivô colidir com o ímã, haverá transferência de energia e momento dela para o ímã, e em seguida transferência para as sucessivas esferas adjacentes. O resultado observado será a transferência de energia e momento, adquirida na aceleração magnética pela esfera pivô, para a última esfera adjacente.

Etapa IV.

A última esfera metálica adjacente é acelerada, e separa-se das demais. A ejeção, devida à aceleração da esfera, finaliza a operação do canhão de Gauss, em que a última esfera do trilho irá adquirir energia cinética devida à aceleração magnética experimentada pela esfera pivô.

Assinale corretamente a alternativa que completa as lacunas no estágio II do funcionamento do Canhão de Gauss.

- a) Energia cinética aumenta, aceleração.
b) Energia cinética diminui, velocidade.
c) Energia cinética aumenta, velocidade.
d) Energia potencial aumenta, velocidade.
e) Energia potencial diminui, aceleração.

3º Passo: Por meio do QRCode ao lado, os estudantes irão assistir ao vídeo ilustrativo sobre a atividade que irão desenvolver no laboratório e em seguida iremos propor as situações problemas abaixo descritas, que estão em nível bem introdutório, levando em conta o conhecimento prévio dos estudantes.



SCAN ME

Duração: 20 minutos.

Situação 1: É possível determinar a direção e o sentido do vetor velocidade da esfera ao sair do canhão de Gauss? Se for possível, desenhe a esfera e o vetor velocidade dentro da moldura a seguir.



Situação 2: A esfera pivô, ao movimentar-se em direção dos ímãs, será atraída por uma força de natureza gravitacional, magnética ou nuclear?

Situação 3: Com base no lançamento que você acabou de realizar e observar, levando em consideração a ausência das forças dissipativas, qual a modalidade de energia que a última esfera adquire ao sair do trilho?

Situação 4: Desprezando as forças dissipativas, como você classificaria as colisões observadas entre as esferas durante o funcionamento do canhão de Gauss?

- () Colisões perfeitamente elásticas.
- () Colisões perfeitamente inelásticas.
- () Colisões parcialmente elásticas.

Situação 5: Levando em consideração as forças dissipativas, como você classificaria as colisões envolvidas durante o funcionamento do canhão de Gauss?

- () Colisões perfeitamente elásticas.
- () Colisões perfeitamente inelásticas.
- () Colisões parcialmente elásticas.

Situação 6: Utilizando a balança de precisão, anote a massa da esfera. Considerando a quantidade de movimento igual a $1,2 \text{ kg.m/s}$, estime a velocidade com a última esfera sairá do trilho.

Massa da esfera (Kg)	Velocidade da esfera (m/s)

4º Passo (Duração: uma aula de 50 minutos): Trabalhar os conhecimentos a serem ensinados/aprendidos juntamente com a experimentação, levando em consideração a diferenciação progressiva por meio das atividades propostas pelo professor.

Duração: uma aula de 50 minutos.

5º Passo: Anotar os dados coletados nas respectivas atividades, escrevendo os resultados obtidos. Nesse momento, os estudantes terão a oportunidade de comentar seus resultados entre os grupos e levantar novas situações que contribuam para o ensino e aprendizagem.

Duração: 30 minutos.

6º Passo: Concluir a unidade retomando as características mais relevantes do conteúdo em questão, buscando a reconciliação integrativa.

Duração: 20 minutos.

7º Passo: Avaliação da aprendizagem dos estudantes por meio da UEPS desenvolvida.

Duração: 25 minutos.

8º Passo: Observar o desempenho dos alunos por meio das evidências de que a aprendizagem significativa é progressiva. Aqui é necessário realizar uma avaliação comparativa entre os questionários inicial e final como forma de saber a evolução individual de cada, e, assim, retomar os tópicos em que não houve aprendizagem cientificamente correta.

Duração: 25 minutos.

Questionário após a aula experimental (Canhão de Gauss)

1º) Observe com atenção as posições das esferas na figura abaixo.



Assinale a alternativa que representa corretamente o vetor velocidade da última esfera ao sair da calha do canhão.

- a) \overrightarrow{v}
- b) $\downarrow \overrightarrow{v}$
- c) $\uparrow \overrightarrow{v}$
- d) \overleftarrow{v}
- e) $\nearrow 60^\circ$

2º) Leia o texto abaixo com atenção.

São choques em que o módulo da velocidade de aproximação é igual ao módulo da velocidade de afastamento, imediatamente antes e após o choque, respectivamente. Os corpos sofrem deformações elásticas, no entanto voltam às características iniciais. Os corpos conservam sua quantidade de movimento, e a energia do sistema permanece constante.

De acordo com a classificação das colisões, assinale a alternativa que representa corretamente o texto que você acabou ler.

- a) Colisões perfeitamente elásticas.
- b) Colisões perfeitamente inelásticas.
- c) Colisões parcialmente elásticas.

3º) Considerando que a massa da esfera que sai do canhão de Gauss é 0,4 kg e a quantidade de movimento tem módulo de 1,2 kg.m/s, marque a alternativa que expressa a velocidade da esfera ao sair da calha.

- a) 1 m/s b) 2 m/s c) 3 m/s d) 4 m/s e) 5 m/s

4º) Com base na questão anterior, marque a alternativa que corresponde à energia cinética da esfera ao sair da calha do canhão.

- a) 0,8 b) 1,2 c) 1,8 d) 3,0 e) 9,0

5º) Leia os textos abaixo sobre o funcionamento do Canhão de Gauss.

Etapa I.

Estado inicial do canhão de Gauss. Três esferas metálicas são colocadas em contato com o ímã. A quarta esfera (pivô) é posicionada separadamente a uma distância d (aproximadamente 3 cm do ímã), em que o campo magnético seja suficiente para iniciar o movimento.

Etapa II.

Ao movimentar-se em direção ao ímã, a esfera pivô será atraída por uma força magnética cada vez mais intensa, sendo acelerada ao longo do caminho, consequentemente, e sua _____ proporcionalmente com o quadrado da sua _____ instantânea.

Etapa III.

Quando a esfera pivô colidir com o ímã, haverá transferência de energia e momento dela para o ímã, e em seguida transferência para as sucessivas esferas adjacentes. O resultado observado será a transferência de energia e momento, adquirida na aceleração magnética pela esfera pivô, para a última esfera adjacente.

Etapa IV.

A última esfera metálica adjacente é acelerada, e separa-se das demais. A ejeção, devida à aceleração da esfera, finaliza a operação do canhão de Gauss, em que a última esfera do trilho irá adquirir energia cinética devida à aceleração magnética experimentada pela esfera pivô.

Assinale corretamente a alternativa que completa as lacunas no estágio II do funcionamento do Canhão de Gauss.

- a) Energia cinética aumenta, aceleração.
b) Energia cinética diminui, velocidade.
c) Energia cinética aumenta, velocidade.
d) Energia potencial aumenta, velocidade.
e) Energia potencial diminui, aceleração.