



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE
NÚCLEO DE FORMAÇÃO DOCENTE
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA
POLO 46

VICTOR EMANUEL SILVA DUTRA

ELETRÓSTATICA NO 1º ANO DO ENSINO MÉDIO: UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA INTEGRANDO HISTÓRIA E EXPERIMENTAÇÃO DE BAIXO CUSTO.

CARUARU - PE

2025

VICTOR EMANUEL SILVA DUTRA

**ELETRÓSTÁTICA NO 1º ANO DO ENSINO MÉDIO: UMA SEQUÊNCIA
DIDÁTICA INTEGRANDO HISTÓRIA E EXPERIMENTAÇÃO DE BAIXO CUSTO.**

Dissertação apresentada ao Polo 46 do Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física da UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física. Área de concentração: Ensino de Física.

Orientador: Professor Dr. Heydson Henrique Brito da Silva.

CARUARU - PE
2025

.Catalogação de Publicação na Fonte. UFPE - Biblioteca Central

Dutra, Victor Emanuel Silva.

Eletrostática no 1º Ano do Ensino Médio: uma sequência didática integrando história e experimentação de baixo custo / Victor Emanuel Silva Dutra. - Recife, 2025.
99f.: il.

Dissertação (Mestrado)- Universidade Federal de Pernambuco, Centro Acadêmico do Agreste (CAA), Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF) - POLO 46, 2025.

Orientação: Professor Dr. Heydson Henrique Brito da Silva.

1. Eletrostática; 2. Sequência didática; 3. Aprendizagem significativa. I. Silva, Heydson Henrique Brito da. II. Título.

UFPE-Biblioteca Central

VICTOR EMANUEL SILVA DUTRA

ELETRÓSTÁTICA NO 1º ANO DO ENSINO MÉDIO: UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA INTEGRANDO HISTÓRIA E EXPERIMENTAÇÃO DE BAIXO CUSTO.

Dissertação apresentada ao Polo 46 do Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física da UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física. Área de concentração: Ensino de Física.

Aprovada em (dia) de (mês) de (ano).

BANCA EXAMINADORA

Dr. Heydson Henrique Brito da Silva - Orientador
Universidade Federal de Pernambuco

Dr. Henrique Patriota Alves, UFRPE
(Membro externo)

Dr. Augusto Cesar Lima Moreira, UFPE
(Membro interno)

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pela força e pela serenidade concedida em todos os momentos desta jornada.

À minha esposa Ana Paula, pelo apoio incondicional, pela paciência e pela compreensão diante das ausências e desafios que marcaram este percurso.

Ao meu orientador professor Dr. Heydson Henrique Brito da Silva, pela dedicação, pelas orientações criteriosas e pela confiança depositada neste trabalho.

Aos professores e colegas do **Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF)** da **Universidade Federal de Pernambuco – Centro Acadêmico do Agreste**, pelo compartilhamento de experiências, pelos debates construtivos e pelo incentivo constante à pesquisa e à inovação no ensino de Física.

Aos alunos e à equipe gestora EREM Severino Cordeiro de Arruda onde esta proposta foi desenvolvida, pela colaboração, pela disponibilidade e pelo entusiasmo durante a aplicação da sequência didática. Meus sinceros agradecimentos!

RESUMO

Esta dissertação apresenta uma sequência didática para o ensino de Eletrostática no 1º ano do Ensino Médio, desenvolvida no âmbito do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF). O trabalho integra três fundamentos teórico-metodológicos: Aprendizagem Significativa de Ausubel, Abordagem Histórica da Ciência e Experimentação de Baixo Custo, visando superar as dificuldades no ensino de conceitos abstratos desta temática. A sequência organiza-se em seis encontros de 100 minutos, iniciando com contextualização histórica através de documentários, seguindo para experimentação com materiais acessíveis (eletroscópios caseiros, eletróforo de Volta artesanal) e culminando com aplicações tecnológicas como blindagem eletrostática. A metodologia adotou abordagem qualitativa com observação sistemática do engajamento discente e análise de atividades. Os resultados indicaram que essa integração se mostrou eficaz na superação de dificuldades conceituais, particularmente na compreensão da indução eletrostática e construção da noção de campo elétrico. A articulação entre experimentação prévia e formalização subsequente se mostrou eficiente para ancoragem de conceitos abstratos. Houve indícios de que a sequência desenvolvida constitui produto educacional replicável que oferece alternativa viável para aprendizagem significativa em Eletrostática, demonstrando ser possível conciliar rigor conceitual, contextualização histórica e investigação prática mesmo em contextos com recursos limitados.

Palavras-chave: Eletrostática, Sequência Didática, Aprendizagem Significativa.

ABSTRACT

This dissertation presents a didactic sequence for teaching Electrostatics in the first year of Brazilian High School, developed within the National Professional Master's Program in Physics Teaching (MNPEF). The study integrates three theoretical-methodological foundations: Ausubel's Meaningful Learning theory, Historical Approach to Science, and Low-Cost Experimentation, aiming to address the challenges in teaching abstract concepts in this subject. The instructional sequence is organized into six 100-minute sessions, beginning with historical contextualization through documentaries, progressing to hands-on experimentation with accessible materials (homemade electroscopes, handmade Volta's electrophorus), and culminating with technological applications such as electrostatic shielding. The research employed a qualitative methodology based on systematic observation of student engagement and activity analysis. Results demonstrated that this integrated approach proved effective in overcoming traditional conceptual difficulties, particularly in understanding electrostatic induction and developing the notion of electric field. The strategic articulation between preliminary experimentation and subsequent formalization showed efficiency in anchoring abstract concepts. Evidence suggests that the developed sequence constitutes a replicable educational product that provides a viable alternative for meaningful learning in Electrostatics, demonstrating that conceptual rigor, historical contextualization, and practical investigation can be successfully integrated even in resource-limited educational contexts.

Keywords: Electrostatics, Didactic Sequence, Meaningful Learning.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	07
2 A APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA NO ENSINO DE FÍSICA E A HISTÓRIA DA ELETRICIDADE ATÉ O SÉCULO XVIII	09
2.1 A aprendizagem significativa e o ensino de física	09
2.2 O papel do enfoque histórico-experimental na aprendizagem significativa	09
2.3 A ciência da eletricidade no começo do século XVII	10
2.4 Marcos históricos importantes no desenvolvimento da eletricidade entre os séculos XVII e XVIII	12
3 FUNDAMENTOS DA ELETROSTÁTICA	17
3.1 Carga elétrica e os princípios da eletrostática	17
3.2 Condutores e isolantes elétricos	19
3.3 Força elétrica e lei de Coulomb	20
3.4 Campo elétrico	22
3.4.1 Conceito e definição de campo elétrico	22
3.4.2 Campo elétrico gerado por uma carga puntiforme	22
3.4.3 Linhas de campo elétrico	24
3.4.4 A lei de Gauss	24
3.4.5 Condutores em equilíbrio eletrostático	25
3.5 Potencial elétrico	26
4 REVISÃO DA LITERATURA	28
4.1 Aprendizagem significativa, experimentação de baixo custo e história da ciência	29
4.2 Integrando significado, prática e história no ensino de física	32
5 METODOLOGIA	34
5.1 Apresentação da sequência didática	34
5.1.1 Informações básicas e uma visão geral da sequência	34
5.2 Detalhamento dos encontros	35
5.2.1 Encontro 01: 02 aulas de 50 minutos	36
5.2.2 Encontro 02: 02 aulas de 50 minutos	34
5.2.3 Encontro 03: 02 aulas de 50 minutos	39
5.2.4 Encontro 04: 02 aulas de 50 minutos	44
5.2.5 Encontro 05: 02 aulas de 50 minutos	45
5.2.6 Encontro 06: 02 aulas de 50 minutos	50
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES	52
6.1 Pilares Metodológicos e sua Eficácia	53
6.2 Superação de Dificuldades Conceituais Tradicionais	55
6.3 Avaliação Formativa	57

6.4 Limitações e Desafios	58
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	60
REFERÊNCIAS	63
APÊNDICE A - PRODUTO EDUCACIONAL	66
ANEXO A – MINI SIMULADO APLICADO	97

1 INTRODUÇÃO

A comum despreocupação com a contextualização e a forma, às vezes demasiadamente abstrata, com a qual normalmente o ensino de Física no Ensino Médio brasileiro é trabalhado, faz com que os estudantes tenham grande dificuldade em relacionar os conceitos científicos com a realidade concreta na qual estão imersos. O ensino da Eletrostática, em particular, sofre sensivelmente com esse problema, uma vez que muitos fenômenos elétricos são invisíveis e seus princípios, via de regra, são apresentados de forma puramente teórica ou excessivamente matematizada.

Além disso, duas abordagens fundamentais para uma melhor compreensão dos fenômenos elétricos são frequentemente negligenciadas: o contexto histórico-científico que possibilitou o desenvolvimento dessa ciência, principalmente no século XVIII, e a utilização de experimentos em sala de aula como parte integrante da apresentação e construção dos conceitos.

Outro ponto a ser refletido é a ordem cronológica dos conteúdos tradicionalmente adotada para o ensino de Física na maior parte do Brasil. Normalmente, ao 1º ano do Ensino Médio é destinado o estudo da Mecânica, ao 2º ano o estudo da Termodinâmica, Óptica e Ondas e, finalmente, ao 3º ano o estudo do Eletromagnetismo e, raramente, noções de Física Moderna. Cabe destacar que a maioria dos estudantes brasileiros só tem contato efetivo com a Física nessa etapa da educação básica, sobretudo os pertencentes a escolas públicas.

A forma como esse primeiro contato é realizado é um dos principais motivos da aversão e da falta de motivação dos alunos em relação ao estudo da Física. Em pleno século XXI, no qual a eletricidade e o magnetismo constituem bases fundamentais para o modo de vida tecnológico e globalizado, os estudantes só entram em contato com a Física contemporânea ao final da educação básica. Nesse momento, em sua maioria, já carregam uma concepção de que a disciplina se resume à resolução de problemas matemáticos descontextualizados, sem conexão com suas vivências cotidianas.

A Base Nacional Comum Curricular (BNCC) (BRASIL, 2018) propõe o ensino por investigação como abordagem central, incentivando os alunos a questionar, experimentar, analisar e construir seus próprios conhecimentos em vez de apenas receber informações prontas. Destaca ainda a relevância da história da ciência para a compreensão do desenvolvimento científico, promovendo a contextualização do conhecimento, a análise de diferentes perspectivas e a discussão sobre a natureza da ciência.

Diante desse cenário, este trabalho tem como objetivo geral analisar os impactos de uma sequência didática que integra aspectos históricos e experimentais no ensino da Eletrostática, avaliando sua eficácia na motivação e na aprendizagem de conceitos de Física no Ensino Médio. Para alcançar esse objetivo, busca-se levantar as concepções prévias dos alunos acerca dos fenômenos elétricos; desenvolver uma sequência didática que integre elementos históricos e atividades experimentais de baixo custo; aplicar a proposta em uma turma do 1º ano do Ensino Médio; avaliar os impactos dessa abordagem tanto no engajamento quanto na aprendizagem dos estudantes; e, por fim, produzir um material educacional replicável, acessível a outros docentes da educação básica.

A dissertação está organizada da seguinte forma: o Capítulo 2 apresenta a fundamentação teórica, discutindo a teoria da aprendizagem significativa, a relevância da história da ciência e o papel da experimentação no ensino de Física. O Capítulo 3 reúne uma revisão de pesquisas recentes relacionadas ao ensino de Eletrostática, destacando contribuições e lacunas. O Capítulo 4 descreve a metodologia adotada, caracterizando o contexto escolar, os instrumentos utilizados e o planejamento da sequência didática. O Capítulo 5 detalha a estrutura do produto educacional, apresentando as atividades previstas em cada encontro. O Capítulo 6 analisa os resultados da aplicação da sequência, apontando avanços e dificuldades encontradas. Por fim, o Capítulo 7 apresenta as considerações finais, com as contribuições da pesquisa, suas limitações e possibilidades de continuidade.

Dessa forma, a questão que orienta este estudo pode ser expressa da seguinte maneira: *como a inserção da Eletrostática já no 1º ano do Ensino Médio, apoiada na integração entre a história da ciência e a experimentação de baixo custo, pode favorecer a aprendizagem significativa dos estudantes?*

2 A APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA NO ENSINO DE FÍSICA E A HISTÓRIA DA ELETRICIDADE ATÉ O SÉCULO XVIII

2.1 A aprendizagem significativa e o ensino de física

A teoria da aprendizagem significativa, proposta por David Ausubel (1968), constitui uma das abordagens mais influentes no campo da educação, especialmente no contexto do ensino de ciências. Segundo Ausubel, a aprendizagem ocorre de forma mais eficaz quando o novo conteúdo se conecta de maneira substantiva e não arbitrária ao conhecimento prévio do estudante (os *subsunçores*, conforme definidos por AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980). Essa teoria destaca a importância de estruturas cognitivas já existentes na mente do aluno, que podem ser relacionadas ao novo conteúdo, promovendo uma compreensão mais duradoura e significativa.

No ensino de física, particularmente no da Eletrostática, a complexidade matemática e a presença de conceitos abstratos, como campo elétrico e potencial elétrico, representam desafios para os estudantes. A abordagem da aprendizagem significativa sugere que a didática deve favorecer a integração desses conceitos com conhecimentos prévios, além de contextualizar o conteúdo historicamente e experimentalmente, facilitando a compreensão e o interesse do aluno.

2.2 O papel do enfoque histórico-experimental na aprendizagem significativa

A combinação do enfoque histórico e experimental no ensino de física constitui uma estratégia pedagógica poderosa que potencializa a construção do conhecimento de forma significativa, conforme preconiza a teoria de Ausubel. Essa relação promove uma abordagem contextualizada, dinâmica e concreta, facilitando a conexão entre conceitos teóricos e experiências vividas pelos estudantes.

A história da ciência revela a evolução do conhecimento científico, destacando os processos de descoberta, os obstáculos enfrentados, as controvérsias e as conquistas. Ao incorporar esse enfoque, o ensino valoriza o percurso humano do desenvolvimento científico, humanizando a ciência e demonstrando que o conhecimento é construído ao longo do tempo por meio de investigações e questionamentos. Ao conhecer a história da descoberta de conceitos, os estudantes percebem o contexto da necessidade do conhecimento, tornando-o mais relevante e menos abstrato, ou seja, ele faz conexões efetivamente relevantes.

Já as experiências práticas e demonstrações possibilitam aos estudantes vivenciar fenômenos, testar hipóteses e compreender conceitos por meio da manipulação e observação direta. A experimentação fornece evidências concretas que fundamentam teorias e leis, consolidando o entendimento. Experimentos concretos validam e ilustram as ideias, ajudando a consolidar conceitos por meio de experiências próprias, o que é fundamental na teoria de Ausubel.

Assim, a relação entre o enfoque histórico e experimental no ensino de física é complementar e está extremamente afinada com a promoção da aprendizagem significativa pregada pela teoria de Ausubel. Enquanto o aspecto histórico humaniza e contextualiza o conteúdo, mostrando a evolução e a construção do conhecimento científico ao longo do tempo, o aspecto experimental fornece experiências concretas que representam, de forma palpável, esses processos.

Essa combinação torna o ensino mais envolvente, relacionável e compreensível, facilitando a formação de conexões substanciais na mente do estudante. Assim, promove-se uma aprendizagem que não se limita à memorização de fórmulas ou conceitos isolados, mas que se fundamenta em uma compreensão integrada, crítica e duradoura do conteúdo de física.

2.3 A ciência da eletricidade no começo do século XVII

Os primeiros registros do estudo da eletricidade remontam à Grécia Antiga. O filósofo Tales de Mileto (c. 624–546 a.C.) observou que o âmbar (em grego, *élektron*), quando friccionado, atraía pequenos objetos como penas e palha, conforme ilustra a Figura 1. Esse fenômeno, hoje conhecido como eletrização por atrito, foi uma das primeiras descrições científicas sobre eletricidade estática. Entretanto, os gregos não desenvolveram uma teoria consistente sobre o assunto, atribuindo o efeito a propriedades místicas ou magnéticas.

Figura 1- Pena sendo atraída por âmbar



Fonte: Física do Eletromagnetismo, 2025.

Durante o Império Romano e a Idade Média, pouco progresso foi feito no estudo da eletricidade. O naturalista romano Plínio, o Velho (23–79 d.C.), mencionou em sua *História*

Natural as propriedades de atração do âmbar, mas sem avanços teóricos. O conhecimento sobre eletricidade permaneceu limitado a observações esporádicas, sem experimentação sistemática.

No século XVI, com o Renascimento e o avanço do método experimental, os fenômenos elétricos começaram a ser estudados de forma mais rigorosa. O médico e físico inglês William Gilbert (1544–1603) publicou *De Magnete* (1600), uma obra pioneira que diferenciou os efeitos elétricos dos magnéticos. Até Gilbert, os fenômenos elétricos e magnéticos eram frequentemente confundidos, ele foi o primeiro a começar diferenciá-los de forma mais clara.

Segundo Gilbert, a eletricidade resultava do atrito em certos materiais (como o âmbar) e atraía apenas objetos leves e secos. Já o magnetismo, era uma propriedade intrínseca de minerais como a magnetita (ímã natural) e afetava metais como o ferro, independentemente de atrito. Apesar de não estar em pleno acordo com o que se sabe hoje, essa distinção foi fundamental para o desenvolvimento separado da eletrostática e do magnetismo.

Ele também rejeitou explicações místicas e lendas medievais sobre magnetismo e, em contrapartida, realizou experimentos controlados, como esfregar diferentes materiais para testar sua eletricidade e documentou suas observações de forma sistemática, estabelecendo um padrão empírico para a ciência moderna.

Seu trabalho influenciou grandes nomes como Galileu Galilei, Otto von Guericke e outros cientistas do século XVII que se basearam em suas descobertas para desenvolver máquinas eletrostáticas. Porém, sua distinção entre eletricidade e magnetismo só seria plenamente reconciliada no século XIX, com os estudos de Orsted e Faraday sobre eletromagnetismo.

No começo do século XVII, as investigações sobre eletricidade ganharam impulso. O cientista alemão Otto von Guericke (1602–1686) desenvolveu a primeira máquina eletrostática por volta de 1660, um dispositivo que produzia eletricidade estática ao girar uma esfera de enxofre contra um pano. Basicamente, consistia em uma bola de enxofre montada em uma espécie de berço de madeira, que ele girava manualmente contra outro objeto para produzir uma carga, conforme ilustra a Figura 2. Esse invento permitiu a geração controlada de cargas elétricas, facilitando experimentos futuros.

Figura 2 - Reprodução da Máquina de Otto von Guericke



Fonte: ELEPOT/UFRJ, 2025.

Desde as observações de Tales de Mileto até as experiências de Gilbert e Guericke, o estudo da eletricidade evoluiu de curiosidades isoladas para uma investigação científica organizada. O século XVII marcou o início de uma abordagem experimental mais rigorosa, pavimentando o caminho para as grandes descobertas do século XVIII.

2.4 Marcos históricos importantes no desenvolvimento da eletricidade entre os séculos XVII e XVIII

Como descrito anteriormente, Otton von Guericke desenvolveu a primeira máquina eletrostática, composta por uma esfera de enxofre rotativa, demonstrando que a eletricidade podia ser produzida artificialmente, não dependendo apenas de materiais como o âmbar.

Em 1675, em seus estudos sobre a atração eletrostática, Robert Boyle (1627–1691), utilizando uma bomba de vácuo, investigou a natureza da atração elétrica, confirmando que o vácuo não impedia sua ação.

Francis Hauksbee (1660-1713), por volta de 1706, desenvolve uma máquina um pouco mais avançada que seria fundamental para o estudo sistematizado da eletricidade no século XVIII e que culminaria na invenção da pilha por Alessandro Volta. De forma geral, ela consiste em um globo de vidro que é girado rapidamente enquanto entra em contato com um material de atrito, como lã ou couro. O atrito entre os dois materiais causa uma transferência de carga elétrica, acumulando carga no globo de vidro e criando uma diferença de potencial. Essa máquina está ilustrada na Figura 3.

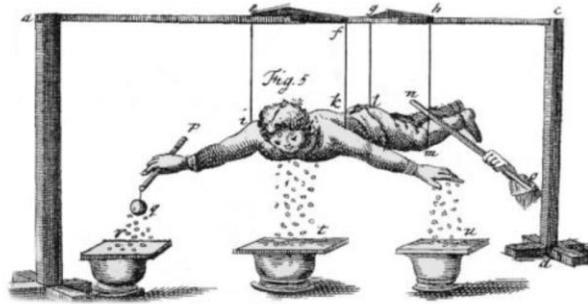
Por volta de 1729, Stephen Gray (1666–1736) demonstrou que a eletricidade podia ser transportada através de certos materiais, como os metais, enquanto outros a “bloqueavam”, como a seda. A Figura 4 mostra uma de suas famosas experiências que o levou a classificar os materiais em condutores e isolantes.

Figura 3 - Máquina de Hauksbee



Fonte: MAGLAB, 2025.

Figura 4 - Garoto suspenso por linhas de seda



Fonte: Heilbron (1979, p. 247).

Nessa experiência, um menino era suspenso por fios de seda, fazendo com que ele não tivesse contato com o chão e, em seguida, seu corpo era eletrizado utilizando uma das máquinas eletrostáticas de Hauksbee. Após eletrizado, o menino passava a atrair lâminas de metal leve, como ouro ou prata, bem como penas de aves.

Ainda na primeira metade do século XVIII, por volta de 1733, quando o estudo dos fenômenos elétricos ainda se encontrava em estágio primário, Charles François de Cisternay Du Fay (1698-1739) realizou uma série de experimentos meticulosos que revolucionaram a compreensão dos fenômenos elétricos. Seus trabalhos demonstraram de forma inequívoca a existência de dois tipos distintos de eletricidade que ele denominou "vítrea" e "resinosa".

Através de experimentos sistemáticos com diversos materiais, Du Fay observou que corpos carregados com o mesmo tipo de eletricidade se repeliam mutuamente, enquanto aqueles com tipos diferentes se atraíam. Esta descoberta fundamental representou um marco conceitual, estabelecendo pela primeira vez o princípio da bipolaridade elétrica, que mais tarde evoluiria para o moderno conceito de cargas positivas e negativas.

Em 1745 Pieter van Musschenbroek (1692-1761) construiu o que se popularizaria historicamente como garrafa de Leyden. Esse dispositivo, relativamente simples, foi o precursor do que se conhece modernamente como capacitor. A Figura 5 mostra uma réplica desse dispositivo.

Figura 5 - Réplica da garrafa de Leyden



Fonte: Museu Interativo da Física, 2015.

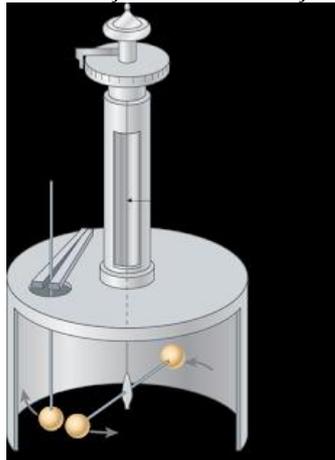
A garrafa consistia essencialmente em um recipiente de vidro parcialmente preenchido com água, contendo um eletrodo metálico mergulhado no líquido e revestido externamente por um material condutor. Sua operação se baseava no princípio de armazenamento de cargas elétricas entre duas superfícies condutoras separadas por um isolante (o vidro).

A garrafa de Leyden permitiu pela primeira vez o armazenamento concentrado de quantidades significativas de carga elétrica, superando a limitação das máquinas eletrostáticas que apenas geravam eletricidade durante sua manipulação. Com isso, tornou possível a realização de experimentos controlados e reproduzíveis com descargas elétricas intensas, estabelecendo um novo padrão de investigação científica. Esse estudo sistemático levou ao desenvolvimento das primeiras teorias quantitativas sobre a natureza da eletricidade.

Entre 1747 e 1751 Benjamin Franklin (1706-1790) propôs uma teoria unificadora que revolucionaria o entendimento da eletricidade. Ele postulou a existência de um único "fluido elétrico" presente em toda matéria e desenvolveu os conceitos de cargas positivas (excesso de fluido) e negativas (deficiência de fluido). Baseado nesse modelo, ele explicou os fenômenos de atração e repulsão, bem como o princípio de funcionamento da garrafa de Leyden, e introduziu o princípio de conservação da carga elétrica. Franklin também estabeleceu termos e conceitos que permanecem na física até os dias de hoje como, por exemplo, "carga", "descarga", "aterramento", "blindagem elétrica", etc.

Em 1785, Charles-Augustin de Coulomb (1736-1806) desenvolveu seu famoso instrumento: a balança de torção. Este aparelho extremamente sensível permitia medir forças extremamente fracas com precisão nunca antes alcançada. Através de experimentos meticulosos com sua balança de torção, Coulomb estabeleceu a lei matemática fundamental da força entre cargas elétricas pontuais. A Figura 6 mostra esquematicamente esse importante instrumento.

Figura 6 - Ilustração de uma balança de torção



Fonte: 5Volts, 2016.

Coulomb foi um dos principais cientistas que transformaram o estudo da eletricidade de uma disciplina qualitativa em uma ciência matemática muito mais precisa. Suas contribuições no final do século XVIII estabeleceram as bases quantitativas da eletrostática e influenciaram profundamente o desenvolvimento posterior do eletromagnetismo.

Em 1780, Luigi Galvani (1737-1798) observou acidentalmente que músculos de rãs dissecadas se contraíam quando tocados por instrumentos metálicos durante tempestades. Em seus experimentos subsequentes propôs a teoria da "eletricidade animal". Essa teoria postulava que os tecidos biológicos possuíam uma forma intrínseca de eletricidade e que os metais atuavam apenas como condutores desta energia vital. Com isso, essa contração muscular era resultado da descarga desta eletricidade biológica.

Entre 1792 e 1800, Alessandro Volta (1745-1827) reproduziu os experimentos de Galvani e começou a questionar a interpretação biológica, demonstrando que a eletricidade surgia do contato entre metais diferentes e que o tecido animal funcionava apenas como detector sensível. Assim, para Volta, a verdadeira fonte era a diferença de potencial entre os metais diferentes. Em 1800, Volta desenvolve sua famosa pilha elétrica. A pilha de Alessandro Volta representou a primeira fonte artificial contínua de corrente elétrica na história da ciência.

O arranjo físico da pilha baseava-se na justaposição alternada de discos de dois metais diferentes, zinco e cobre, separados por camadas de material poroso embebido em solução salina. Esta disposição em série permitia o acúmulo de potencial elétrico, onde cada par de metais distintos funcionava como uma célula elementar. Volta demonstrou empiricamente que a tensão total do sistema era proporcional ao número de pares metálicos empregados, estabelecendo assim o princípio da associação em série de geradores elétricos. A Figura 7 mostra uma réplica dessa pilha.

O funcionamento do dispositivo se baseava na diferença de potencial gerada pelo contato entre metais diferentes e nas reações químicas que ocorriam nas interfaces metal-eletrólito. O zinco, mais reativo, sofria oxidação espontânea, liberando elétrons que fluíam através do circuito externo até o cobre, onde ocorria a redução de espécies presentes na solução eletrolítica. Este processo contínuo de transferência eletrônica constituía a corrente elétrica propriamente dita.

Assim, a invenção da pilha de Volta estabeleceu os princípios físicos e químicos que permitiram a era da eletricidade prática, pois forneceu a primeira fonte confiável de corrente contínua, transformando-a de curiosidade científica em força motriz da Segunda Revolução Industrial. Sua influência direta se estende desde os estudos fundamentais de corrente elétrica até as aplicações tecnológicas que definiram o século XIX como a "era da eletricidade".

Figura 7 - Réplica da pilha de Volta



Fonte: Wikipedia, 2024.

3 FUNDAMENTOS DA ELETROSTÁTICA

3.1 Carga elétrica e os princípios da eletrostática

O alicerce básico para o estudo dos fenômenos elétricos é o conceito de carga elétrica. De acordo com Halliday e Resnick:

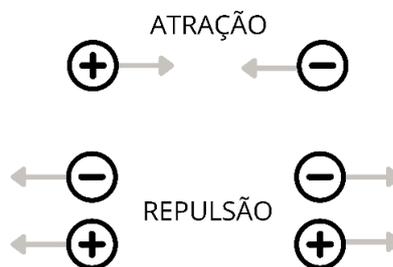
A **carga elétrica** é uma propriedade intrínseca das partículas fundamentais de que é feita a matéria; em outras palavras, é uma propriedade associada a própria existência dessas partículas. (HALLIDAY, RESNICK, 2009, p. 2)

No Sistema Internacional de Unidades (SI) a unidade de quantidade de carga elétrica é o *coulomb* (C), em homenagem a Charles Augustin de Coulomb que, utilizando a sua famosa balança de torção, deduziu empiricamente a lei matemática fundamental da força entre cargas elétricas pontuais. O *coulomb* não é uma das sete unidades fundamentais do SI, mas sim, o *ampère*, simbolizado por A, que mede intensidade de corrente elétrica. Segundo Moysés Nussenzveig:

[...] a carga elétrica, manifesta-se de duas formas diferentes, que convencionamos chamar de *positiva* e *negativa*, levando à possibilidade de atração ou repulsão, e a matéria é normalmente neutra, cancelando os efeitos das interações elétricas. (NUSENZVEIG, 2012, p.3)

Os termos *positivo* e *negativo* para descrever esses dois tipos de cargas elétricas foi cunhado originalmente por Benjamin Franklin. O fato da interação elétrica ser atrativa ou repulsiva é conhecido como **princípio da atração e repulsão**. Esse princípio está ilustrado esquematicamente na Figura 8.

Figura 8 - Princípio da atração e repulsão



Fonte: Autoria própria (2025).

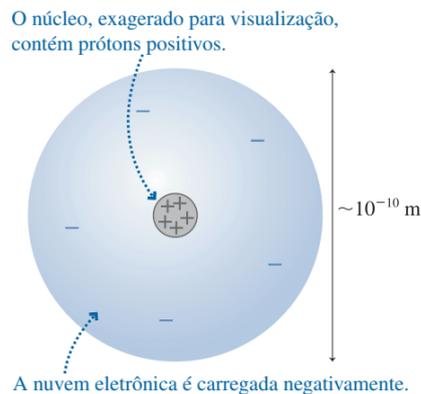
Contudo, o estudo da eletricidade até o fim do século XVIII se desenvolveu praticamente sem evidências concretas da existência dos átomos. Mesmo com relatos que remontam à Grécia antiga sobre a ideia de que a matéria é composta de partículas fundamentais e indivisíveis, o estudo sistematizado e contínuo do átomo só começa a ganhar força no começo do século XIX com os estudos de Jonh Dalton (1766-1844) em seu modelo atômico popularmente conhecido como *Modelo Bola de Bilhar*.

Todavia, a concepção da existência dos átomos, bem como uma visão, mesmo que simplificada, de sua estrutura geral é fundamental para se iniciar o estudo dos fenômenos elétricos de forma sólida e eficiente. Para tal, o **modelo simplificado** de átomo inicialmente apresentado por Randall Knight no volume 3 de sua coleção *Física Uma Abordada Estratégica*, é suficiente para um bom entendimento dos conceitos que serão desenvolvidos adiante. Randall diz que:

[...] todo átomo consiste de um *núcleo* muito pequeno e denso (diâmetro $\sim 10^{-14}\text{m}$) circundado por *elétrons*, de massa muito menor do que o núcleo orbitando em torno do mesmo. As frequências orbitais dos elétrons são tão grandes ($\sim 10^{15}$ revoluções por segundo) que os elétrons parecem formar uma **nuvem eletrônica** com diâmetro $\sim 10^{-10}$ m, um fator 10^4 maior do que o do núcleo. (KNIGHT, 2009, p.793)

A Figura 9 ilustra de forma pictórica esse modelo.

Figura 9 – Visão pictórica de um átomo



Fonte: KNIGHT (2009, p.793).

Nesse modelo simplificado tem-se o núcleo composto essencialmente por partículas eletricamente positivas, **prótons**, e partículas eletricamente neutras (carga nula), os **nêutrons**; e uma nuvem eletrônica composta por partículas eletricamente negativas denominadas de **elétrons**. A Tabela 1 contém os valores admitidos atualmente, com uma aproximação de duas casa decimais, para a massa e a carga elétrica dessas partículas.

Tabela 1 - Prótons, elétrons e nêutrons

Partícula	Massa (Kg)	Carga (C)
Próton	$1,67 \times 10^{-27}$	$+ 1,60 \times 10^{-19}$
Elétron	$9,11 \times 10^{-31}$	$- 1,60 \times 10^{-19}$
Nêutron	$1,68 \times 10^{-27}$	0

Fonte: Autoria própria (2025)

O valor de $1,60 \times 10^{-19}$ C para o módulo da quantidade de carga elétrica do próton e do elétron é denominado **carga elétrica elementar**, simbolizada pela letra **e**. Esse valor está diretamente ligado a um princípio da eletrostática muito importante, o **princípio da quantização da carga elétrica**.

De forma geral, esse princípio estabelece que *a carga elétrica na natureza se manifesta em múltiplos inteiros de uma unidade fundamental (e), sendo impossível a existência de cargas livres menores que esta quantidade elementar*. A equação (1) ilustra esse princípio matematicamente.

$$Q = \pm N \cdot e \quad (1)$$

Nessa equação o termo (Q) representa a quantidade de carga elétrica do corpo, (e) a carga elétrica elementar, (N) o número (inteiro) de elétrons que foram transferidos do corpo ou para o corpo e o sinal positivo ou negativo descreve, respectivamente, a saída ou a chegada de elétrons nesse corpo.

Assim, para um corpo que possui igual número de prótons e elétrons diz-se que ele está **eletricamente neutro**. Quando houver um maior número de elétrons do que de prótons o corpo estará **negativamente carregado**. Já quando o número de elétrons for menor do que o número de prótons, o corpo estará **positivamente** carregado.

Os processos mais comuns utilizados para carregar um corpo, positiva ou negativamente, são denominados **processos de eletrização**. Nesses processos *só existe transferência de elétrons* entre os corpos, e nunca de prótons. Ou seja, quando se diz que um corpo está positivamente carregado não é porque ele recebeu prótons, mas sim, porque parte de seus elétrons foram de alguma forma transferidos para outro corpo.

Outra lei fundamental da natureza e que está diretamente ligada ao presente estudo é o **princípio da conservação da carga elétrica**. Esse princípio de conservação estabelece que, *em qualquer processo físico ou químico, a carga elétrica total de um sistema isolado permanece constante*.

Em outras palavras, **cargas elétricas não podem ser criadas nem destruídas, apenas transferidas ou redistribuídas entre corpos ou partículas**. O princípio da conservação da carga elétrica é um dos alicerces da física, com comprovação experimental em múltiplas escalas e aplicações.

3.2 Condutores e isolantes elétricos

Materiais que **permitem o fluxo de cargas elétricas** com facilidade são denominados **condutores elétricos**. As partículas com carga que realmente podem se movimentar pelo

material são chamadas de **portadores de carga**. Por exemplo, nos metais os portadores de carga são os elétrons, já em soluções iônicas, como a água salgada, os portadores de cargas são, predominantemente, os cátions e ânions da solução.

Já os **isolantes** elétricos, ou **dielétricos**, são materiais que não possuem mobilidade significativa de cargas *sob condições normais*, pois seus elétrons estão fortemente ligados ao núcleo do átomo. Dois exemplos de dielétricos bastante conhecidos são a borracha e o plástico, amplamente utilizado em fiações de circuitos elétricos.

Entretanto, apesar de existirem essas duas classificações gerais, um material normalmente classificado como isolante pode se tornar um condutor, isso depende diretamente das condições externas na qual ele está imerso. Na prática, essa condição externa é descrita pela grandeza física denominada **rigidez dielétrica**.

De forma geral, a rigidez dielétrica nada mais do que **a máxima intensidade de campo elétrico** que um *material isolante pode suportar sem sofrer ruptura elétrica*, ou seja, **sem perder sua capacidade de impedir a passagem de corrente**. Caso esse limite seja ultrapassado, o material, que antes era isolante, torna-se momentaneamente condutor devido à ionização de suas moléculas ou à formação de um caminho condutivo.

Para o ar seco em condições normais (1 atm e 25°C), essa rigidez é de aproximadamente 3×10^6 V/m. Assim, os raios ocorrem quando o campo elétrico entre duas regiões excede a rigidez dielétrica do ar.

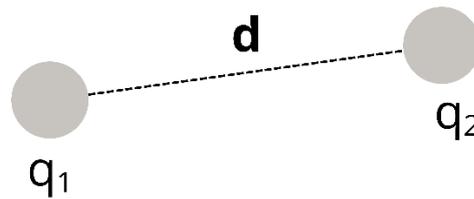
Alguns fatores a serem considerados no que diz respeito à rigidez dielétrica do ar são: o ar úmido tem rigidez dielétrica ligeiramente menor, facilitando a ocorrência de raios; em altitudes maiores (pressão menor), a rigidez diminui, tornando descargas mais prováveis; partículas de poeira ou poluentes reduzem a rigidez dielétrica, atuando como pontos de iniciação para descargas.

3.3 Força elétrica e lei de Coulomb

A lei matemática que descreve a **força eletrostática** entre duas *cargas elétricas puntiformes* foi desenvolvida por Charles-Augustin de Coulomb, empiricamente, utilizando a sua balança de torção. Essa lei estabelece que **a força elétrica entre duas cargas é diretamente proporcional ao produto das cargas e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre elas**.

A Figura 10 ilustra duas partículas 1 e 2, cujas quantidades de carga elétrica valem, *em módulo*, respectivamente, q_1 e q_2 . Elas estão separadas por uma distância d e imersas no vácuo.

Figura 10 - Cargas pontuais no vácuo



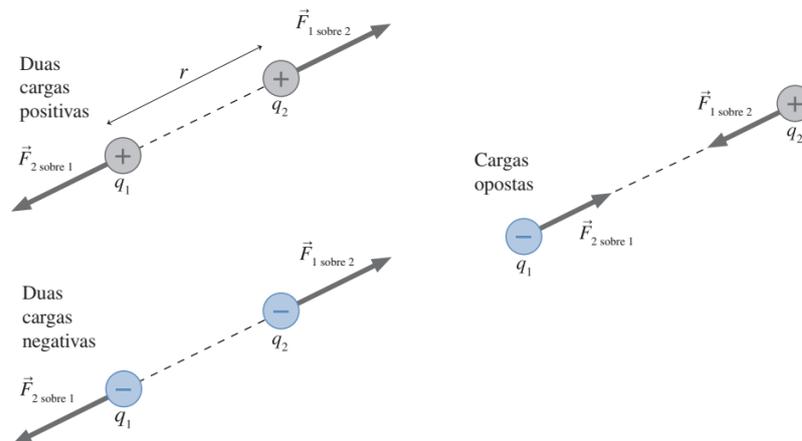
Fonte: Autoria própria (2025).

Assim, a força eletrostática *da partícula 2 sobre a partícula 1* (\vec{F}_{12}), dada pela **lei de Coulomb**, está expressa matematicamente pela equação (2).

$$\vec{F}_{12} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{d^2} \hat{r}_{12} \quad (2)$$

Nessa equação ϵ_0 é a permissividade elétrica do vácuo, cujo valor é $8,85 \times 10^{-12} \text{ C}^2/\text{N}\cdot\text{m}^2$, \hat{r}_{12} é o **vetor unitário** que aponta **da carga 2 para a carga 1** e a razão $\frac{1}{4\pi\epsilon_0}$ é a constante eletrostática do vácuo, que vale $8,99 \times 10^9 \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2$. Quando as cargas forem de mesmo sinal essa interação será repulsiva e quando possuírem sinais contrários, atrativa. Essa ideia está ilustrada vetorialmente na Figura 11.

Figura 11 - Atração e repulsão



Fonte: KNIGHT (2009, p.801).

Supondo uma partícula x sujeita a forças eletrostáticas de outras N partículas, a força resultante (\vec{F}_r) sobre a partícula x será dada pela equação (3) (**princípio da superposição**).

$$\vec{F}_r = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_N \quad (3)$$

Onde, \vec{F}_i , com $i = 1, 2, \dots, N$, é a força eletrostática devido a partícula i sobre a partícula

x .

3.4 Campo elétrico

3.4.1 Conceito e definição de campo elétrico

Qualitativamente falando, o **campo elétrico** descreve a influência elétrica que uma distribuição de cargas elétricas exerce sobre o espaço ao seu redor, afetando outras cargas mesmo sem contato físico. O campo elétrico é uma **grandeza vetorial**, simbolizada por \vec{E} .

Seja **uma partícula** carregada com carga q_0 colocada em um determinado ponto do espaço onde existe uma distribuição qualquer de cargas elétricas e, sendo \vec{F} a força sobre q_0 devido a essa distribuição, o campo elétrico \vec{E} **nesse ponto do espaço** pode ser calculado como a razão entre \vec{F} e q_0 . A equação (4) ilustra matematicamente essa ideia.

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0} \quad (4)$$

No SI a unidade de medida do campo elétrico é o N/C. A carga q_0 colocada nesse ponto do espaço é denominada **carga de prova**. Apesar da quantidade de carga q_0 da partícula aparecer na definição dada pela equação (4), o campo elétrico nesse ponto do espaço **não** depende dela, mas sim, da distribuição de cargas naquela região. De acordo com Moysés Nussenzveig:

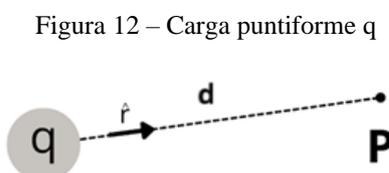
[...] uma distribuição de cargas no espaço vazio (vácuo) afeta todos os pontos do espaço, produzindo em cada um deles um valor de campo elétrico, e a carga de prova revela a existência desse campo pela força nela exercida. (NUSSENZVEIG, 2012, p.15)

Ou seja, a carga de prova não é a **fonte** do campo elétrico nesse ponto do espaço, mas um mecanismo de detecção.

Porém, é importante salientar que embora toda carga gere seu próprio campo elétrico, o campo produzido por q_0 deve ser **desprezível** em comparação com o campo que está sendo medido. Isso está relacionado à condição de que q_0 seja pequena. Matematicamente, isso pode ser rigorosamente descrito aplicando o limite de q_0 tendendo a zero na equação (4).

3.4.2 Campo elétrico gerado por uma carga puntiforme

A Figura 12 mostra uma partícula de carga q colocada a uma distância d de um ponto P qualquer.



Fonte: Autoria própria (2025).

Essa partícula produzirá em torno de si um campo elétrico devido a sua carga q . Colocando-se uma carga de prova q_0 no ponto P, o campo elétrico gerado a uma distância d de uma carga puntiforme q será dado pela equação (5).

$$\vec{E}(\vec{r}) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{d^2} \hat{r} \quad (5)$$

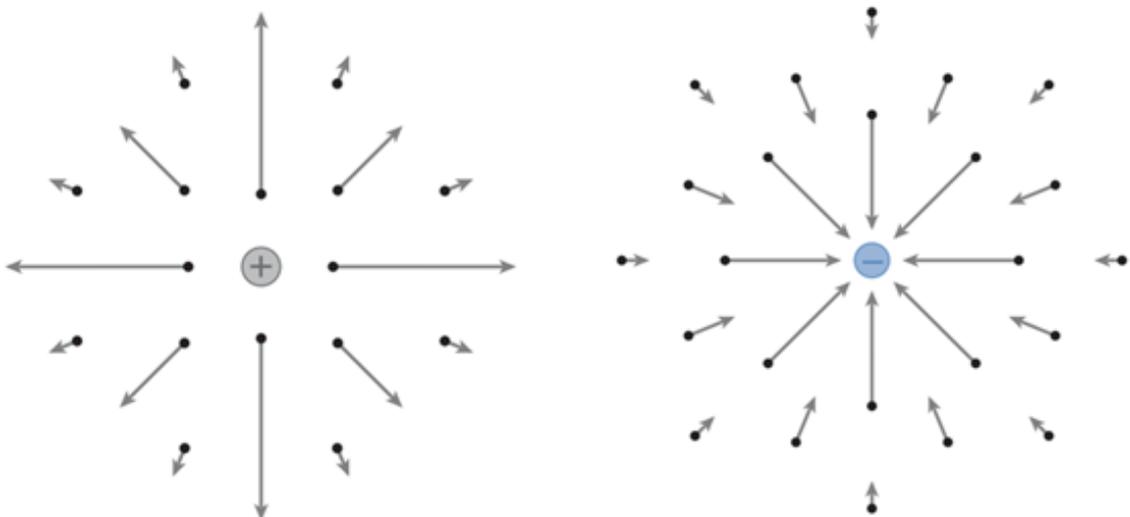
O vetor \hat{r} é um *vetor unitário* que tem origem na carga e aponta para o ponto P, conforme ilustra a Figura 12. Essa carga q será denominada **carga-fonte** do campo elétrico no ponto P.

Analisando a equação (5), tem-se que quando a carga fonte for **positiva** o campo elétrico tem o **mesmo sentido** de \hat{r} e quando for *negativa* terá o *sentido oposto*, em outras palavras, o vetor campo elétrico “sai de cargas positivas” e “chega em cargas negativas”. Essa ideia está ilustrada vetorialmente na Figuras 13.

Assim como no caso da força eletrostática, o **campo elétrico devido a várias cargas puntiformes** em um determinado ponto do espaço será igual à soma vetorial de cada contribuição isoladamente. Supondo a existência de N cargas puntiformes, a equação (6) mostra a expressão matemática para o cálculo do **campo elétrico resultante** \vec{E}_P devido a essas cargas no ponto P .

$$\vec{E}_P = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \dots + \vec{E}_N \quad (6)$$

Figura 13 – Campo elétrico gerado por cargas puntiformes



Fonte: KNIGHT (2009, p.808-809).

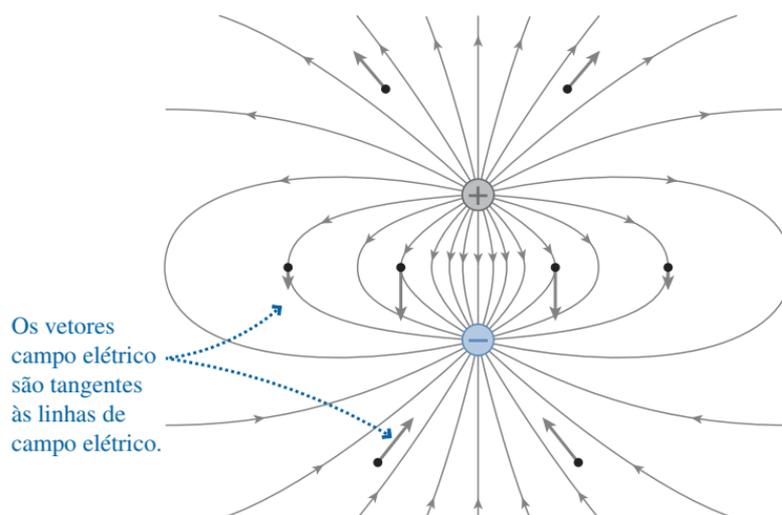
3.4.3 Linhas de campo elétrico

As **linhas de campo elétrico**, são *linhas orientadas* que servem para visualizar de forma **qualitativa e intuitiva** a direção e a intensidade do campo elétrico em uma determinada região do espaço. Essa representação foi introduzida na década de 1830 por **Michael Faraday**. A construção dessas linhas obedecem às seguintes regras básicas:

- I. **o vetor \vec{E} será tangente** a linha de campo em qualquer ponto da mesma;
- II. **com relação à orientação da linha**, originam-se em cargas positivas e terminam em cargas negativas;
- III. **as linhas de força nunca se cruzam**, caso contrário, de acordo com (I), haveria para um mesmo ponto do espaço dois ou mais vetores \vec{E} nesse ponto;
- IV. A densidade de linhas de campo de uma região do espaço é diretamente proporcional à intensidade do campo nessa região, ou seja, quanto **maior a densidade** de linhas de campo elétrico **mais intenso** é o campo elétrico.

A Figura 14 ilustra essas regras para um sistema muito importante conhecido como **dipolo elétrico**, que nada mais é do que duas cargas elétricas puntiformes de mesmo módulo, porém, de sentidos opostos separadas por uma pequena distância.

Figura 14 – Linhas de campo elétrico de um dipolo



Fonte: KNIGHT (2009, p.824).

3.4.4 A lei de Gauss

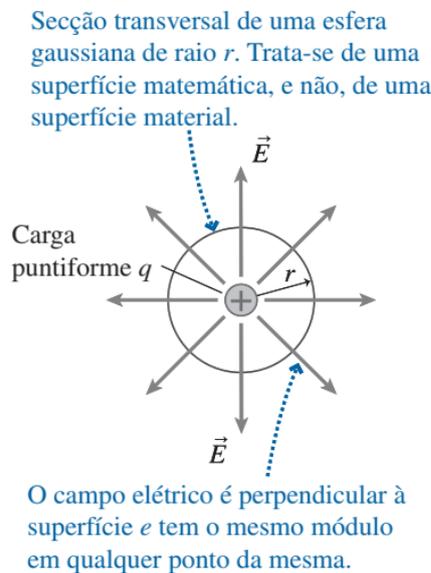
A **Lei de Gauss** é uma das quatro equações de Maxwell e relaciona o fluxo elétrico através de uma superfície fechada (superfície gaussiana) com a carga elétrica líquida total contida dentro dessa superfície. Ela está descrita matematicamente na equação (7).

$$\oint_S \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{Q_{int}}{\epsilon_0} \quad (7)$$

Nessa equação S é a superfície fechada (gaussiana) sobre a qual ocorre a integração; $d\vec{A}$ representa o vetor área infinitesimal *normal à superfície*; e Q_{int} é a carga elétrica líquida total *dentro* da superfície gaussiana S escolhida.

É importante enfatizar que a *lei de Gauss* não é uma ferramenta com a finalidade de se calcular campo elétrico. Em alguns casos especiais onde existe uma alta simetria na distribuição do campo elétrico como, por exemplo, esferas e cilindros, esse cálculo pode ser efetuado, porém, a informação essencial dessa lei é que: **o fluxo do campo elétrico através de uma superfície fechada depende apenas da carga interna, independentemente de como essa carga está distribuída.** A Figura 15 ilustra esses conceitos para o exemplo de uma superfície gaussiana em torno de uma carga puntiforme.

Figura 15 – Linhas de campo elétrico de um dipolo



Fonte: KNIGHT (2009, p.862).

3.4.5 Condutores em equilíbrio eletrostático

Quando as cargas elétricas livres de um condutor não apresentam movimento líquido, resultando em uma configuração estável, diz-se que esse condutor está em **equilíbrio eletrostático**. Como o material é condutor, caso o corpo esteja carregado, essa carga estará distribuída na **superfície mais externa do mesmo**.

Com isso, da lei de Gauss, tem-se que para qualquer **superfície gaussiana interna** à superfície desse corpo **não haverá carga líquida envolvida**. Logo,

$$\oint_S \vec{E} \cdot d\vec{A} = 0. \quad (8)$$

Da equação (8) infere-se que o **campo elétrico interno** a um condutor *em equilíbrio eletrostático* será sempre **nulo**. Esse fato produz um efeito muito importante conhecido como **blindagem eletrostática** (gaiola de Faraday). Em outras palavras, um condutor em equilíbrio bloqueia campos elétricos externos, protegendo seu interior.

O campo elétrico imediatamente exterior a um condutor, a partir da lei de Gauss, está mostrado na equação (9).

$$\vec{E} = \frac{\sigma}{\epsilon_0} \hat{n} \quad (9)$$

Onde \hat{n} é o **vetor unitário normal à superfície**, apontando **para fora** da superfície carregada, e σ é a **densidade superficial de cargas** (quantidade de carga por unidade de área), que dependerá essencialmente da geometria do condutor. Assim, em regiões onde o condutor for mais pontiagudo a carga elétrica estará mais concentrada, ou seja, possuirá **maior densidade superficial**, e por consequência, **campo elétrico mais intenso**.

A equação (9) é válida somente em situações ideais nas quais a carga está distribuída de forma homogênea sobre uma superfície plana, extensa e isolada, considerada infinita em relação à distância do ponto onde o campo é calculado. Além disso, ela se aplica em condições eletrostáticas e no vácuo (ou em um meio homogêneo de permissividade ϵ).

Essas regiões do condutor, por possuírem campos elétricos mais intensos, são o locais com maior probabilidade de se ocorrer descargas elétricas, pois esse campo mais forte facilita a ruptura da rigidez dielétrica do meio em torno dessa região. Esse efeito é conhecido como **poder das pontas**, princípio básico de funcionamento dos **para-raios**.

3.5 Potencial elétrico

O campo elétrico \vec{E} **possui rotacional nulo**, ou seja, a integral de linha de \vec{E} entre dois pontos quaisquer A e B não depende do caminho escolhido (campo conservativo). Com isso, a força **eletrostática** é uma força do tipo conservativa e admite a definição de um **potencial escalar**.

De acordo com Halliday e Resnick:

A energia potencial por unidade de carga em um ponto do espaço é chamada de **potencial elétrico** (ou simplesmente **potencial**) e representada pela letra V . (HALLIDAY, RESNICK, 2009, p. 79-80)

Chamando de U a energia potencial elétrica e q a quantidade de carga elétrica, a equação (10) representa essa definição matematicamente.

$$V = \frac{U}{q} \quad (10)$$

No SI a unidade de potencial elétrico será o J/C que, em homenagem a Alessandro Volta é abreviado por *volt* e simbolizado pela letra V. O potencial elétrico é uma **grandeza escalar**.

A energia elétrica U é definida como o trabalho realizado pelo campo elétrico sobre uma partícula carregada desde um nível de referência até um determinado ponto do espaço. Apesar de não ser uma obrigatoriedade, normalmente se escolhe o “infinito” como nível de referência, e nesse ponto adota-se $V_{\infty} = 0$ V. Essa ideia está sintetizada na integral de linha mostrada na equação (11).

$$V_r = - \int_{\infty}^r \vec{E} \cdot d\mathbf{l} \quad (11)$$

Nessa equação \vec{E} é o campo elétrico que exerce trabalho sobre a carga elétrica contra o campo elétrico, r é o vetor posição do ponto do espaço no qual se quer calcular o potencial elétrico e $d\mathbf{l}$ é o vetor deslocamento infinitesimal tangente ao caminho escolhido para se efetuar a integração.

Porém, a utilidade prática não está no potencial elétrico de **um** ponto, mas sim, na **diferença de potencial elétrico** ΔV (ddp ou tensão) entre dois pontos quaisquer do espaço. Em outras palavras, a diferença de potencial é uma **grandeza escalar fundamental** que quantifica a energia necessária para mover cargas unitárias em um campo elétrico.

Assim, como o potencial elétrico é uma grandeza escalar e intrinsecamente relacionado ao conceito de energia, facilita significativamente seu cálculo e interpretação, fazendo com que ele seja uma ferramenta indispensável tanto para análises teóricas quanto para aplicações práticas.

4 REVISÃO DA LITERATURA

A literatura em ensino de Física tem reiterado a importância de propostas didáticas que promovam aprendizagens mais significativas, contextualizadas e acessíveis, especialmente no ensino médio. No caso específico da eletrostática, marcada por alto grau de abstração e formalismo, esse desafio torna-se ainda mais urgente.

Com o intuito de mapear produções acadêmicas recentes que dialogam com essa problemática, realizou-se uma busca sistemática em repositórios de dissertações do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF) e em bases da Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD), utilizando como descritores os termos: “aprendizagem significativa”, “história da ciência” e “experimentação de baixo custo”, combinados com “ensino de Física”. O levantamento concentrou-se em trabalhos publicados entre 2020 e 2024, com foco no ensino médio e que abordassem um ou mais desses eixos de forma aplicada ao ensino de Física.

Foram identificadas 28 dissertações que mencionavam ao menos um dos três eixos, das quais 10 apresentaram relação direta com o ensino de Física. Após leitura dos resumos e análise dos objetivos, 3 dissertações foram selecionadas para exame aprofundado, por articularem de modo mais consistente os referenciais teóricos e práticos de interesse desta pesquisa. Os critérios de exclusão consideraram estudos voltados a outras áreas do ensino de Ciências, trabalhos de caráter puramente teórico e produções que apenas citavam os temas sem desenvolver aplicações pedagógicas concretas.

Essas dissertações — de Lisboa (2022), Bastos (2022) e Silva (2024) — representam diferentes vertentes das abordagens investigadas: a aprendizagem significativa de David Ausubel, a experimentação com materiais de baixo custo e a incorporação da história da ciência como elemento contextualizador e humanizador do conhecimento. A Tabela 2 a seguir sintetiza as informações centrais dessas produções, incluindo autor, ano, instituição, metodologia e principais contribuições, servindo de base para a análise comparativa e para a contextualização da proposta didática desenvolvida neste trabalho.

Tabela 2 – Síntese das dissertações analisadas

Autor(a)	Ano	Título	Instituição	Tema central	Principais contribuições
Lisboa, G. A.	2022	Unidades de Ensino Potencialmente Significativas aplicadas à eletrostática	UFRN	Aprendizagem significativa	Aplica a teoria de Ausubel na construção de conceitos de eletrostática com situações cotidianas e experimentos simples.
Bastos, R. L.	2022	Laboratório móvel de baixo custo para o ensino de eletrostática	UFPA	Experimentação acessível	Desenvolve sequência didática com materiais recicláveis, promovendo engajamento e protagonismo estudantil.
Silva, M. C.	2024	A integração entre experimentação e história da ciência no ensino de eletromagnetismo	UFMG	História da ciência e experimentação	Articula fundamentos históricos e experimentos simples, reforçando aprendizagem significativa e contextualização cultural.

Fonte: Autoria própria (2025).

4.1 Aprendizagem significativa, experimentação de baixo custo e história da ciência

A Teoria da Aprendizagem Significativa, elaborada por David Ausubel (1980), tem sido amplamente empregada no ensino de Ciências por sua capacidade de favorecer a construção de conhecimento de forma estruturada, a partir da ativação de conceitos prévios e da introdução de novos conteúdos relacionados a esse repertório já existente. No caso da Física, essa abordagem tem sido explorada por diversos pesquisadores.

Nesse cenário, destaca-se a dissertação de Lisboa (2022), que propõe uma sequência didática baseada na concepção de Unidades de Ensino Potencialmente Significativas. O trabalho parte de uma sondagem inicial das concepções espontâneas dos alunos e avança por meio de atividades fundamentadas em situações cotidianas, como a eletrização por atrito com canudos e papéis, possibilitando a transição gradual para conceitos mais abstratos. O autor evidencia como a mediação pedagógica planejada, aliada ao uso de analogias visuais e experimentos simples, favorece não apenas a compreensão de conceitos como carga elétrica, indução e força eletrostática, mas também sua retenção a longo prazo.

A presente pesquisa dialoga diretamente com essa perspectiva, estruturando sua sequência didática com base na ativação dos conhecimentos prévios e na introdução gradual de conceitos por meio de atividades concretas, acessíveis e contextualizadas. A utilização de objetos comuns, como papel alumínio, canudos plásticos e eletroscópios caseiros, e a construção de um eletróforo com materiais reciclados exemplificam essa abordagem. Tal estratégia não apenas assegura significância lógica e psicológica aos conteúdos, como também fortalece a autonomia cognitiva dos estudantes.

No campo da experimentação, outra vertente essencial no ensino de Ciências, a limitação de recursos nas escolas públicas impõe desafios que vêm sendo enfrentados com propostas criativas e acessíveis. A dissertação de Bastos (2022) é exemplar nesse aspecto, ao desenvolver uma sequência didática baseada em um “laboratório móvel” composto por materiais de baixo custo. Utilizando recursos como isopor, papel alumínio e tampas plásticas, a autora demonstra que é possível realizar atividades experimentais eficazes em qualquer sala de aula, sem depender de laboratórios especializados. Essa proposta alia economia de recursos à promoção do protagonismo estudantil, à medida que os próprios alunos participam da montagem dos experimentos, fortalecendo seu engajamento e vínculo com a aprendizagem.

A sequência didática aqui proposta compartilha essa filosofia. A construção de eletroscópios com materiais simples, a demonstração da blindagem eletrostática com celulares embrulhados em papel alumínio e o uso do eletróforo caseiro de Volta são exemplos de como a experimentação pode ser incorporada de maneira eficiente e significativa, mesmo em contextos com restrições estruturais. Esse caminho metodológico encontra respaldo também na dissertação de Silva (2024), que, embora voltada ao eletromagnetismo, corrobora os mesmos princípios da aprendizagem significativa, da experimentação acessível e da contextualização dos conteúdos. A autora argumenta que a prática experimental colabora decisivamente para a fixação conceitual e o aumento do interesse dos alunos pelas Ciências da Natureza.

Além da significância e da prática, a presente proposta incorpora ainda uma dimensão frequentemente negligenciada no ensino de Física: a história da ciência. Inserida de maneira estratégica, essa abordagem permite aos alunos compreender que os conceitos científicos não surgiram prontos, mas resultam de um processo histórico permeado por tentativas, erros, debates e descobertas. Ao humanizar a ciência, esse recurso contribui para aproximá-la do universo dos estudantes e romper com a ideia de que o conhecimento científico é inquestionável e estático.

Apesar de seu potencial formativo, a história da ciência associada com a experimentação e aprendizagem significativa ainda aparece timidamente nas dissertações do MNPEF,

especialmente no que se refere à eletrostática. A ausência dessa dimensão representa uma oportunidade de avanço, que esta sequência didática busca explorar. No primeiro encontro, os alunos assistem e analisam o episódio inaugural da série História da Eletricidade (BBC, 2011), que apresenta de forma envolvente os primeiros experimentos e teorias relacionadas à eletricidade. No último encontro, o episódio 10 da série Cosmos (2014) introduz a figura de Michael Faraday e seu papel revolucionário no desenvolvimento do eletromagnetismo, complementando os conteúdos trabalhados. Ambas as produções são utilizadas como base para atividades como fichamentos, debates e revisões conceituais.

Essas práticas não apenas reforçam os conteúdos científicos abordados ao longo dos encontros, como também favorecem o desenvolvimento de uma visão mais crítica, histórica e contextualizada sobre a ciência.

Embora esta pesquisa tenha se concentrado na análise aprofundada de três dissertações selecionadas (Tabela 2), o levantamento realizado revelou outras produções relevantes que, ainda que não tenham sido objeto de exame detalhado, contribuem significativamente para o debate contemporâneo sobre o ensino de Física. A seguir, a Tabela 3 apresenta uma síntese dessas dissertações, que abordam isoladamente ou de forma combinada os temas da aprendizagem significativa, da história da ciência e da experimentação de baixo custo, servindo como importante panorama complementar da pesquisa recente na área.

Tabela 3 - Outras dissertações relevantes relacionadas à aprendizagem significativa, história da ciência e experimentação de baixo custo no ensino de Física

Autor(a)/ Ano	Título	Instituição	Tema central	Metodologia / Abordagem	Principais contribuições para o ensino de Física
Paiva, Raissa Freire Santos de (2023)	<i>O Ensino de Ciências por investigação e a aprendizagem significativa de conceitos da física no ensino fundamental</i>	UEG	Aprendizagem significativa	Aplicação de atividades investigativas baseadas em situações-problema para favorecer conexões conceituais e cognitivas segundo Ausubel.	Demonstra que o ensino investigativo amplia o engajamento e promove aprendizagem significativa de conceitos como força e energia.
Lima, Carina Cristina Oliveira de (2024)	Ensino por investigação utilizando brinquedos em busca de uma aprendizagem significativa: energia mecânica	UFPE	Aprendizagem significativa e experimentação	Utilização de brinquedos como instrumentos didáticos para contextualizar conceitos de energia mecânica.	Mostra que o uso de experimentos lúdicos e acessíveis aproxima o aluno do fenômeno físico, favorecendo a ancoragem de novos conceitos.

Monteiro de Castro, Luis Henrique (2021)	<i>O uso do Arduino e do Processing no ensino de física</i>	UNIRIO	Experimentação de baixo custo	Desenvolvimento de dispositivos experimentais com Arduino e Processing para medições em cinemática e eletricidade.	Apresenta viabilidade de uso de tecnologias acessíveis, fortalecendo o ensino experimental em escolas com poucos recursos.
Rocha, L. S. (2020)	<i>Laboratório experimental de baixo custo para o ensino de física</i>	UFC	Experimentação de baixo custo	Construção e aplicação de kits experimentais com materiais recicláveis e acessíveis.	Evidencia que experimentos simples e de baixo custo aumentam a motivação e a compreensão conceitual dos estudantes.
Oliveira, M. F. (2024)	<i>Proposta de experimentos de baixo custo para o ensino de física: uma abordagem criativa e acessível</i>	UFAL	Experimentação de baixo custo e aprendizagem significativa	Sequência didática baseada em atividades experimentais simples, fundamentadas na teoria de Ausubel.	Reforça o potencial integrador entre experimentação acessível e aprendizagem significativa no ensino médio.
Basílio, Ricardo Ferreira (2022)	<i>Curiosidade da física: organizadores prévios como estratégia facilitadora da aprendizagem significativa de física</i>	UFG	Aprendizagem significativa e contextualização histórica	Aplicação de organizadores prévios inspirados em episódios históricos da ciência.	Mostra que a introdução da história da ciência desperta curiosidade e favorece a construção de significados conceituais.

Fonte: Autoria própria (2025).

A análise dessas produções reforça a tendência crescente de integrar fundamentos teóricos de Ausubel, práticas experimentais acessíveis e abordagens históricas como estratégias de humanização do ensino de Física. Ainda que tais trabalhos não tenham sido empregados diretamente na construção da sequência didática aqui proposta, eles ampliam a compreensão do estado atual da pesquisa e evidenciam a convergência entre diferentes iniciativas que buscam tornar o ensino de Ciências mais significativo, crítico e contextualizado.

4.2 Integrando significado, prática e história no ensino de Física

O diferencial central deste trabalho está na combinação intencional de três eixos: a aprendizagem significativa, a experimentação acessível e o diálogo com a história da ciência. Ainda que cada um desses aspectos já tenha sido investigado separadamente em outras

pesquisas do MNPEF, a articulação entre eles — especialmente no contexto do ensino de eletrostática — configura uma abordagem inovadora e ainda pouco explorada de forma integrada.

Cada eixo contribui de maneira singular. A aprendizagem significativa, ancorada nas ideias de Ausubel, assegura que os novos conceitos se liguem de modo consistente ao conhecimento prévio dos alunos, favorecendo uma compreensão mais estruturada e permanente. Já a experimentação com materiais de baixo custo permite que os fenômenos eletrostáticos sejam vivenciados mesmo em escolas com poucos recursos, tornando o conhecimento científico tangível e democrático. Por fim, a história da ciência humaniza o processo de construção do saber, mostrando que a Física não é feita de verdades prontas, mas de um percurso cheio de tentativas, debates e avanços graduais.

Unidos, esses três pilares produzem um efeito sinérgico: os estudantes não apenas aprendem conceitos, mas os experienciam, contextualizam e criticam. A eletrostática deixa de ser um capítulo abstrato e passa a ser entendida como um campo vivo, cheio de aplicações e histórias. O resultado é um engajamento mais autêntico, uma compreensão mais profunda e o desenvolvimento de uma postura questionadora diante da ciência.

Vale notar também que a proposta acompanha uma tendência contemporânea no ensino de Ciências: a valorização de sequências didáticas multimodais, que empregam múltiplas linguagens e estratégias, respeitando os diferentes ritmos e estilos de aprendizagem. A organização em seis encontros de 100 minutos, com espaço para experimentação, discussão, sistematização e avaliação formativa, reflete uma preocupação genuína com a consolidação do conhecimento, e não apenas com sua transmissão.

A inclusão de mídias diversas, como documentários, simulações virtuais, atividades hands-on e análise de textos históricos, também enriquece a experiência, permitindo que o aluno acesse o conteúdo por múltiplas vias — sensorial, emocional, intelectual e crítica. Essa multimodalidade intencional amplia as possibilidades de conexão com o tema.

Em síntese, a integração orgânica entre teoria, prática e contexto histórico resulta em uma proposta pedagógica mais humana, acessível e significativa, um passo importante em direção a um ensino de Física crítico, inclusivo e transformador. A análise das dissertações e estudos apresentados permite afirmar que o ensino de eletrostática pode ser significativamente aprimorado quando são considerados elementos como a realidade do estudante, a viabilidade dos recursos didáticos e o uso de narrativas históricas. O presente trabalho, ao integrar essas dimensões, contribui de maneira original para o campo e busca oferecer uma alternativa didática robusta, replicável e coerente com os desafios e possibilidades do ensino médio brasileiro.

5 METODOLOGIA

5.1 Apresentação da sequência didática

A Sequência Didática (SD) a seguir foi elaborada com base na utilização de alguns dos principais marcos da história do desenvolvimento da eletricidade ao longo dos séculos XVII e XVIII e de experimentos didáticos de baixo custo para a aplicação dos princípios básicos da aprendizagem significativa proposta por Ausubel (1963) ao ensino da Eletrostática, aplicada a uma turma do 1º ano do Ensino Médio em uma escola pública do Estado de Pernambuco durante o primeiro semestre do ano de 2025.

Todos os experimentos previstos nesta sequência didática foram planejados para serem vivenciados de forma ativa pelos estudantes, não apenas observados. Sempre que possível, os alunos participavam da montagem dos dispositivos, manipulação dos materiais e realização das etapas experimentais, sob orientação do professor. Essa escolha metodológica visa fortalecer a aprendizagem significativa por meio da ação, da observação direta e da reflexão sobre os fenômenos observados.

5.1.1 Informações básicas e uma visão geral da sequência

- a) **Disciplina:** Aprofundamento Específico; Área: Ciência da natureza; Ênfase: Física.
- b) **Nome do Professor:** Victor Emanuel Silva Dutra.
- c) **Série do Ensino Médio:** 1º ano.
- d) **Quantitativo de alunos:** 42.
- e) **Tema:** Eletrostática
- f) **Objetos de conhecimento:** principais marcos histórico-experimentais na construção e desenvolvimento dos fundamentos da eletricidade entre os séculos XVII e XVIII; conceito elementar de carga elétrica; princípios básicos da eletrostática: atração e repulsão, conservação da carga elétrica e quantização da carga elétrica; eletrização por atrito, contato e indução; noções básicas sobre materiais condutores e isolantes; introdução aos conceitos básicos sobre força elétrica, campo elétrico e potencial elétrico; blindagem eletrostática e “poder das pontas”.
- g) **Competência na BNCC a ser trabalhada na área de Ciências da Natureza:**

COMPETÊNCIA ESPECÍFICA 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). (MEC, 2020)

h) **Habilidades a serem desenvolvidas:**

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. (MEC, 2020)

i) **Tempo de execução da sequência didática:** 12 aulas de 50 minutos, agrupadas em 6 encontros de 100 minutos.

j) **Material necessário:** Computador, Data Show, Lousa (quadro branco ou giz), um gerador de Van der Graaff, e os materiais utilizados na construção dos experimentos de baixo custo que serão apresentados posteriormente no detalhamento dos encontros.

5.2 Detalhamento dos encontros

5.2.1 Encontro 01: 02 aulas de 50 minutos

Os objetivos gerais desse encontro foram:

- a) Explicar a metodologia que seria utilizada;
- b) Fazer o levantamento prévio dos conhecimentos dos alunos sobre o tema da Eletricidade, por meio de uma breve sondagem oral com perguntas sobre fenômenos elétricos do cotidiano, permitindo identificar concepções prévias e orientar as etapas seguintes da sequência;
- c) Apresentar um episódio de um documentário sobre a história da eletricidade produzido pela BBC;

1º MOMENTO: foi apresentada a metodologia que seria utilizada durante o desenvolvimento das aulas, ou seja, que os conceitos e definições seriam construídos, desenvolvidos e formalizados a partir da apresentação e discussão de relatos histórico-científicos, bem como da reprodução e construção de experimentos didáticos como ferramenta básica em todo esse processo. Desde esse primeiro momento, os alunos foram informados de que as atividades experimentais fariam parte do trabalho coletivo da turma, sendo eles coautores da construção dos materiais e da execução prática. Essa informação teve o propósito de aumentar o envolvimento e preparar o grupo para uma abordagem ativa e investigativa nos encontros seguintes. O tempo execução desse momento foi cerca de 20 minutos.

2º MOMENTO: após essa abordagem inicial os alunos assistiram ao episódio 1, *Faixa*, da minissérie *A História da Eletricidade* (HEFFELMANN, 2017). Essa minissérie foi uma coprodução da *BBC* em 2011.

Nesse episódio a noção geral sobre a natureza dos fenômenos elétricos é construída a partir de uma abordagem que mostra a evolução e as principais descobertas da eletricidade ao

longo dos séculos, com uma ênfase especial no período que vai de meados do século XVII até o fim do século XVIII. A abordagem utiliza narrativas históricas, sua influência na sociedade, o papel desempenhado pelos cientistas e inventores da época, bem como seu impacto para a revolução elétrica. O tempo execução desse momento foi cerca de 60 minutos.

3° MOMENTO: após a exposição do documentário, a sala foi organizada em 7 grupos, com 6 alunos cada, a fim de se realizar uma primeira atividade.

Eles foram orientados verbalmente a debaterem entre si (componentes de um mesmo grupo) e elencarem os pontos do documentário que mais chamaram a sua atenção e que julgavam possuir relação direta com os conhecimentos prévios que eles haviam exposto no primeiro momento da aula.

Por fim, um representante de cada grupo (escolhido por eles próprios) ficou responsável por expor rapidamente, *no início do encontro seguinte*, os pontos debatidos e por eles elencados, como proposto na atividade, finalizando, assim, o primeiro encontro. O tempo execução desse momento foi cerca de 20 minutos.

5.2.2 Encontro 02: 02 aulas de 50 minutos

Os objetivos gerais desse encontro foram:

- a) Evidenciar, no que diz respeito às interações elétricas, a natureza repulsiva e atrativa da matéria.
- b) Apresentar o conceito de carga elétrica;
- c) Diferenciar corpo neutro de corpo eletrizado;
- d) Apresentar, experimentalmente, o comportamento condutor e isolante dos materiais com relação à eletricidade.

A dinâmica deste encontro foi planejada para que os alunos participassem diretamente da realização dos experimentos, atuando tanto na montagem dos materiais quanto na observação e dos resultados. O professor desempenhou o papel de mediador e orientador, garantindo a segurança e o andamento das demonstrações.

1° MOMENTO: esse primeiro momento foi dedicado à apresentação dos resultados da atividade proposta no encontro anterior. O tempo execução desse momento foi cerca de 15 minutos.

2° MOMENTO: a sala de aula foi organizada de tal forma que as carteiras dos alunos formassem um grande “U” em torno do birô (mesa retangular grande) do professor, onde a maioria dos experimentos seriam montados e desenvolvidos. Essa disposição da sala teve como objetivos fundamentais: facilitar a visualização dos alunos e proporcionar uma melhor interação professor-aluno, de modo que a maior quantidade possível de alunos pudesse participar das

práticas experimentais que seriam realizadas. O tempo de execução desse momento foi cerca de 5 minutos.

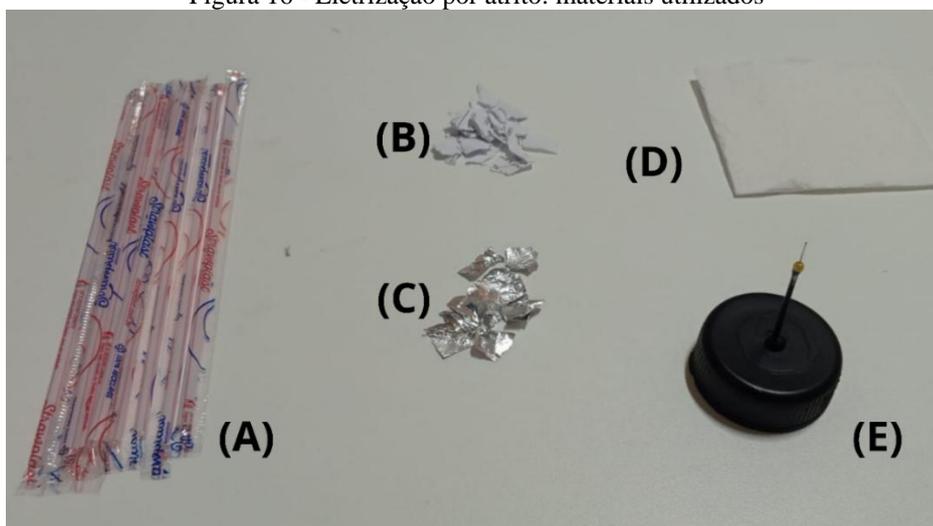
3º MOMENTO: foram realizados quatro experimentos simples relacionados a eletrização por atrito. Os materiais utilizados estão mostrados na Figura 16.

Nessa figura tem-se:

- (A) Canudos plásticos;
- (B) Papel comum picotado (folha de caderno);
- (C) Papel alumínio picotado (papel alumínio de uso comumente culinário);
- (D) Folha de papel toalha;
- (E) Base de apoio feita com tampa de garrafão de água de 20 litros (preenchida com gesso para dar mais estabilidade) e com um alfinete colado em seu centro.

A Tabela 4 a seguir descreve o que foi feito em cada experimento, os materiais utilizados, a ordem lógica de aplicação de cada experimento, bem como o objetivo geral que se pretendia alcançar ao se aplicar cada um deles.

Figura 16 - Eletrização por atrito: materiais utilizados



Fonte: Autoria própria (2025).

Tabela 4 - Experimentos realizados

	DESCRIÇÃO DO PROCEDIMENTO	OBJETIVOS
1º EXPERIMENTO	Primeiramente, um canudo plástico não eletrizado foi aproximado tanto do papel comum quanto do papel alumínio. Logo em seguida, mas agora atritando previamente o canudo com o papel toalha, ele foi aproximado (sem encostar) dos pedaços de papel comum e depois dos pedaços de papel alumínio.	Evidenciar a atração elétrica em condutores (papel alumínio) e isolantes (papel comum).

2° EXPERIMENTO	Um canudo plástico não eletrizado foi colocado em equilíbrio estático sobre o alfinete da base de apoio. Em seguida, um segundo canudo (também não eletrizado) foi aproximado do primeiro, sem encostar.	Verificar a inexistência de atração elétrica entre corpos neutros.
3° EXPERIMENTO	O canudo que estava inicialmente neutro sobre a base de apoio foi atritado com papel toalha nas proximidades de apenas uma de suas extremidades e <i>colocado novamente em equilíbrio estático sobre base</i> . Em seguida, o segundo canudo (ainda não eletrizado), foi aproximado, sem encostar, das extremidades do canudo apoiado sobre a base.	Observar que apenas umas das extremidades do canudo sobre a base consegue ser atraída pelo canudo.
4° EXPERIMENTO	Mantendo-se a configuração do canudo sobre a base utilizada no 3° experimento, o segundo canudo (o fora da base de apoio) foi atritado também com o papel toalha e novamente aproximado das duas extremidades do primeiro sem encostar.	Observar o fenômeno da <i>atração</i> com a extremidade não atritada do canudo da base e a <i>repulsão</i> com a extremidade atritada .

Fonte: Autoria própria (2025).

O **1° experimento** mostrou aos alunos que os pedaços de papel só conseguiam ser “puxados” (atraídos) pelo canudo quando este era previamente atritado com o papel toalha, independentemente do tipo de papel (tanto o comum quanto o de alumínio).

No **2° experimento** o canudo apoiado sobre a base de apoio estava inicialmente em equilíbrio estático apoiado na ponta do alfinete. Ao aproximar um canudo não eletrizado do canudo sobre o alfinete (também não eletrizado) os alunos perceberam que não havia nem atração nem repulsão.

No **3° experimento** *apenas metade do canudo sobre a base de apoio* foi previamente atritado com o papel toalha. Ao se aproximar **o canudo ainda não eletrizado** das extremidade do canudo apoiado, surpresos, eles perceberam que **apenas a extremidade previamente atritada** era atraída pelo canudo de fora da base de apoio, a outra extremidade nem era atraída nem repelida. A atração pôde ser observada pois o canudo não estava preso ao alfinete, apenas apoiado, ou seja, havia a possibilidade dele girar em torno do ponto de apoio caso uma força externa atuasse sobre o mesmo.

Baseado no que observaram no 1° experimento, eles esperavam que após ser atritado, mesmo que em apenas uma extremidade, o canudo sobre a base de apoio seria atraído de qualquer forma, tanto por uma extremidade quanto por outra.

A principal contribuição desse experimento foi a de **construir um contexto** para que o conceito de condutores e isolantes elétricos fosse desenvolvido posteriormente.

Por fim, o **4º experimento** aproveitou toda a construção do 3º, porém, com a diferença de que o canudo que foi aproximado da base de apoio também havia sido atritado previamente. Nessa situação um novo fenômeno foi observado: **a repulsão elétrica**.

Quando as partes atritadas eram aproximadas (sem encostar) havia atração da parte não atritada do canudo da base com o canudo externo. Porém, quando o canudo externo era aproximado da parte eletrizada do canudo da base o que se observava era uma repulsão.

O tempo execução desse momento foi cerca de 40 minutos.

4º MOMENTO: embasados tanto pelo que foi apresentado no documentário assistido no primeiro encontro quanto nos fenômenos observados e discutidos nos experimentos desse encontro, esse último momento foi dedicada à **formalização dos conceitos e definições** iniciais da eletrostática. Para isso foi utilizado computador, data show e lousa branca. A Tabela 5 mostra os conceitos e definições abordadas. Com isso, esse encontro foi finalizado. O tempo execução desse momento foi cerca de 40 minutos.

Tabela 5 - Conteúdos formalizados no encontro 02

CONTEÚDOS
Definição conceitual de carga elétrica.
Princípio da atração e repulsão.
Princípio da conservação da carga elétrica.
Quantidade de carga elétrica e noções gerais sobre a quantização da carga elétrica.
Definição conceitual básica de materiais condutores e isolantes elétricos.

Fonte: Autoria própria (2025).

5.2.3 Encontro 03: 02 aulas de 50 minutos

Os objetivos gerais desse encontro foram:

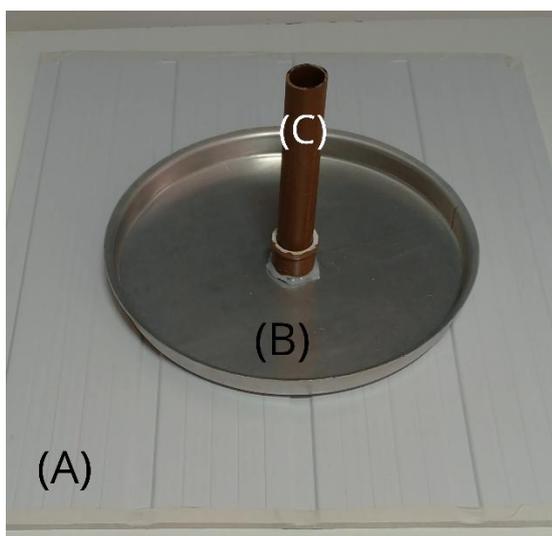
- a) Apresentar a máquina eletrostática conhecida como eletróforo de Volta;
- b) Utilizar o eletróforo de Volta para realizar experimentos com eletroscópios de pêndulo e de folha;
- c) Descrever o processo de eletrização por contato e por indução.

Assim como nos encontros anteriores, os experimentos foram desenvolvidos de forma colaborativa, com participação direta dos alunos na preparação dos materiais, montagem dos dispositivos e observação dos fenômenos. Essa participação ativa permitiu que eles experimentassem na prática os princípios físicos discutidos, aproximando teoria e vivência.

1° MOMENTO: inicialmente foi realizada uma revisão geral dos conceitos apresentados e formalizados nos dois encontros anteriores. Essa revisão foi realizada de forma dialogada e sintética. O tempo execução desse momento foi cerca de 15 minutos.

2° MOMENTO: foi feita a apresentação de uma reprodução da máquina eletrostática conhecida como **eletróforo de Volta**, bem como os materiais utilizados em sua construção. Essa reprodução foi construída com materiais modernos, conforme mostra a Figura 17.

Figura 17 - Eletróforo de Volta construído



Fonte: Autoria própria (2025).

Na construção do eletróforo, conforme ilustra a figura 18, foram utilizados:

(A) Uma placa quadrada de lado 40 cm feita com **forro de PVC**;

(B) Uma **bandeja de alumínio** para pizza com diâmetro de aproximadamente 26 cm;

(C) Cabo isolante: 20 cm de **cano PVC** para água de diâmetro 25 mm (ou $\frac{3}{4}$ " e um CAP tampão correspondente a mesmo diâmetro. O cano foi encaixado no tampão por pressão e o conjunto foi fixado à bandeja de pizza utilizando cola quente.

O tempo execução desse momento foi cerca de 10 minutos.

3° MOMENTO: foram realizados três experimentos a fim de se demonstrar a utilização do eletróforo de Volta como um gerador de eletricidade estática. A Tabela 6 descreve **a ordem** das etapas do processo de carregamento do eletróforo que foi feito **antes de cada experimento**.

Tabela 6 - Carregamento do eletróforo

ETAPA	PROCEDIMENTO
1 ^a	Atritou-se vigorosamente, por cerca de 1 minuto, toda a base quadrada do eletróforo (feita com forro de PVC) com uma folha de caderno.

2 ^a	A bandeja de pizza foi colocada sobre o forro de PVC, agora eletrizado , utilizando-se o cano (isolante) colado à ela como suporte para manuseio para essa colocação.
3 ^a	<i>Com a bandeja sobre o forro de PVC, encostou-se por alguns instantes</i> (cerca de 3 ou 4 segundos) a ponta dos dedos de uma das mãos diretamente na parte de cima da bandeja (a face que não estava em contato direto com o forro). Esses toques com a ponta dos dedos foram repetidos algumas vezes sucessivas (cerca de 3 ou 4 vezes).
4 ^a	Por fim, utilizando-se novamente o cano como suporte para o manuseio , retirou-se a forma de pizza de cima do forro de PVC para que ela pudesse ser utilizada no experimento.

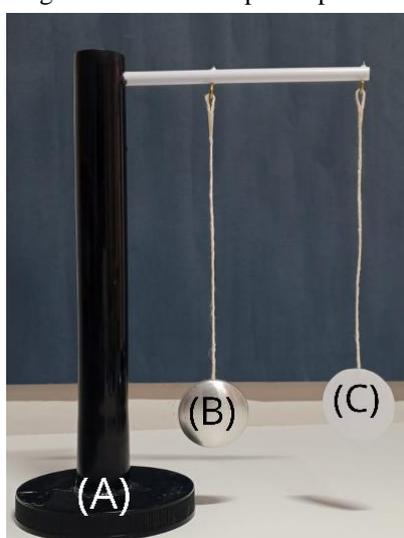
Fonte: Autoria própria (2025).

Apesar do forro de PVC ser um excelente isolante elétrico, ou seja, não descarregar tão rapidamente as cargas adquiridas no processo de eletrização por atrito com a folha de caderno, optou-se por repetir esse procedimento **antes de todos** os experimentos para garantir que a bandeja de alumínio estivesse sempre o mais eletrizada possível.

Os parágrafos a seguir descrevem os experimentos realizados na ordem em que foram aplicados.

EXPERIMENTO 1: Eletroscópio de pêndulo. A Figura 18 mostra o eletroscópio de pêndulo construído para a realização desse experimento.

Figura 18 - Eletroscópio de pêndulo



Fonte: Autoria própria (2025).

Na construção do eletróforo, conforme ilustra a Figura 18, foram utilizados:

- (A) SUPORTE DO PÊNDBULO: a base redonda é uma tampa de embalagem plástica de aproximadamente 11 cm de diâmetro; a haste vertical fixada à tampa (com cola quente) é um pedaço de cano para água de aproximadamente 35 cm de comprimento (pintado de preto); a haste branca onde se pendura os pêndulos (através de pequenos parafusos ganchos) foi feita com um tubo de plástico de 12 cm de comprimento e aproximadamente 1 cm de diâmetro.
- (B) PÊNDBULO METÁLICO: disco de alumínio de aproximadamente 5 cm de diâmetro (fundo de uma latinha de refrigerante) preso à um barbante de 20 cm de comprimento.
- (C) PÊNDBULO DE PAPEL: disco de papel cartão branco (também de 5 cm de diâmetro) preso à um barbante de 20 cm de comprimento.

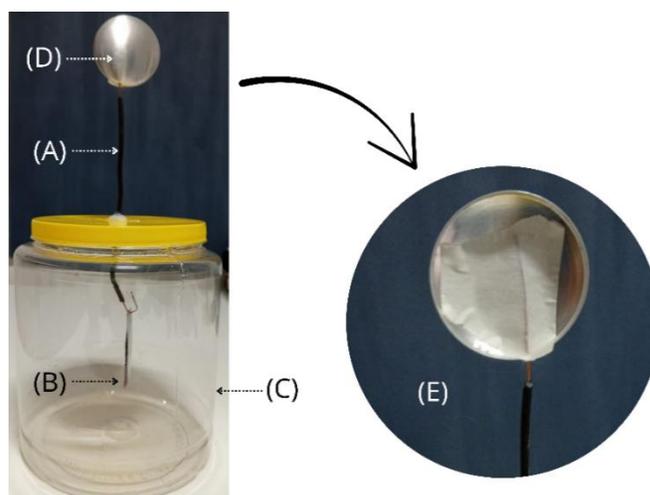
Inicialmente foi abordado o conceito de eletroscópio com os alunos, bem como a sua finalidade prática. Após o equipamento ser apresentado, dois testes foram realizados:

- I. A bandeja de pizza foi aproximada dos pêndulos **antes de ser eletrizada**;
- II. Depois de ser realizada a eletrização descrita na tabela 4 a bandeja foi novamente aproximada dos pêndulos.

Nesse experimento os alunos puderam observar pela primeira vez o processo de carregamento do eletróforo de Volta. Foi discutido durante a realização desse experimento uma característica muito importante sobre os eletroscópios: de que, **a princípio**, eles não informam o tipo de carga presente num corpo, mas sim, apenas se ele está ou não carregado.

EXPERIMENTO 2: *Eletroscópio de folhas*. A Figura 19 mostra o eletroscópio de folhas construído para a realização desse experimento.

Figura 19 - Eletroscópio de folhas



Fonte: Autoria própria (2025).

Na construção do eletroscópio, conforme ilustra a Figura 19, foram utilizados:

- (A) Fio de cobre do **tipo rígido**;
- (B) Duas folhas de alumínio retangulares de dimensões 1,5 x 6,0 cm. O material utilizado foi latinha de refrigerante;
- (C) Pote cilíndrico de plástico com tampa. As dimensões do recipiente são, aproximadamente, 17 cm de altura e 14 cm de diâmetro.
- (D) Fundo circular de alumínio de aproximadamente 5 cm de diâmetro (mesma peça utilizada no pêndulo mostrado na figura 19).
- (E) Mostra como a placa circular de alumínio (*D*) foi posta em contato e fixada ao fio de cobre (desencapado nessa região).

Após o eletroscópio de folhas ser apresentado aos alunos, bem como a descrição de cada parte componente e material utilizado, a seguinte sequência de demonstrações foi realizada:

- I. Após o processo de carregamento descrito na tabela 4 ser realizado, aproximou-se (sem encostar) a bandeja de pizza da parte (*D*) do eletroscópio por alguns segundos e logo em seguida ele foi afastado;
- II. Repetindo várias vezes o processo de carregamento mostrado na tabela 4, **a fim de se fazer com que a bandeja de pizza adquirisse muito mais carga elétrica** do que a demonstração anterior, novamente a bandeja de pizza foi aproximada (sem encostar) da parte (*D*) do eletroscópio por alguns segundos para logo em seguida ser afastada;
- III. Por fim, a bandeja de pizza foi carregada e encostada na parte (*D*) do eletroscópio de folhas várias vezes, de tal forma que a cada contato estabelecido as folhas (*B*) se afastavam cada vez mais. Feito isso, tocou-se com a ponta dos dedos em (*D*).

Nas demonstrações (I) e (II) os alunos puderam observar que as folhas metálicas (*B*), mesmo estando dentro do pote de plástico fechado, sofriam o efeito da aproximação da bandeja de pizza carregada: **elas se afastavam uma da outra**. Além disso, observaram também que o fato da bandeja de pizza estar mais carregada na etapa (II) fazia com que essa influência fosse percebida a uma distância maior do eletroscópio, **quando comparado ao que foi visto em (I)**.

Na demonstração (III) eles puderam perceber que após o contato entre a bandeja de pizza e o eletroscópio, **as folhas não voltavam à situação de repouso na vertical**, como ocorreu em (I) e (II), e que **o afastamento entre elas aumentava a cada novo contato com a bandeja de pizza recarregada**. A posição de equilíbrio das folhas do eletroscópio na vertical só foi observado **após o contato da ponta dos dedos na parte (D)** do eletroscópio. O tempo execução desse momento foi cerca de 25 minutos

4° MOMENTO: a partir das observações e discussões feitas principalmente durante a realização dos experimentos anteriores, a parte final da aula foi dedicada à formalização dos principais conceitos trazidos à tona com essa experimentação. A Tabela 7 mostra os conceitos e definições abordados.

Tabela 7 – Conteúdos formalizados no encontro 03

CONTEÚDOS
Descrição do processo de eletrização por contato em esferas metálicas idênticas.
Conceito geral de indução eletrostática.
Eletrização por indução.
Explicação formal do princípio de funcionamento do eletróforo de Volta.

Fonte: Autoria própria (2025).

Para essa parte expositiva de conteúdo foi utilizado computador, data show e lousa branca. Com isso, esse encontro foi finalizado. O tempo execução desse momento foi cerca de 50 minutos.

5.2.4 Encontro 04: 02 aulas de 50 minutos

Os objetivos gerais desse encontro foram:

- a) Apresentar a balança de torção de Coulomb;
- b) Apresentar a lei de Coulomb para a eletrostática ;
- c) Aplicar um mini simulado contemplando todo o conteúdo abordado do encontro 01 ao encontro 04;
- d) Realizar uma revisão geral a partir da correção do mini simulado aplicado.

Neste encontro, manteve-se a metodologia participativa adotada anteriormente. Embora algumas demonstrações tenham sido conduzidas pelo professor para garantir precisão experimental, os alunos continuaram intervindo na execução, observação e discussão dos resultados.

1° MOMENTO: inicialmente foi realizada uma revisão geral dos conceitos apresentados no encontro anterior de forma dialogada e sintética. O tempo execução desse momento foi cerca de 10 minutos.

2° MOMENTO: com a finalidade de se construir um **contexto prático** para a apresentação da lei de Coulomb, bem como o princípio de sua balança de torção, o pêndulo mostrado na Figura 18 foi novamente utilizado para a realização de experimento. Entretanto, como fonte de eletricidade estática, utilizou-se canudos plásticos e folha de papel toalha, aos invés do eletróforo de Volta (utilizado no encontro 03), e apenas o pêndulo metálico. A Tabela 08 descreve o experimento realizado.

Tabela 8 – Experimento com pêndulo eletrostático (encontro 04)

PROCEDIMENTO	
1º Passo	Ainda neutro , o canudo plástico foi aproximado do pêndulo e instantes depois afastado.
2º Passo	Primeiramente o canudo plástico foi atritado vigorosamente com o papel toalha e logo em seguida aproximado lentamente do pêndulo (sem permitir o contato direto entre eles).

Fonte: Autoria própria (2025).

Apesar desse experimento já ter sido realizado no encontro anterior, porém, não utilizando canudos plásticos, mas sim o eletróforo de Volta, esse momento teve como finalidade essencial observar o experimento do eletroscópio de folhas **dando uma ênfase especial** ao efeito da quantidade de cargas na **deflexão** do barbante do pêndulo e, com isso, construir um contexto prévio para a apresentação da balança de torção e, por conseguinte, a lei de Coulomb.

O tempo execução desse momento foi cerca de 20 minutos.

3º MOMENTO: inicialmente foi mostrada uma animação disponível em um canal da plataforma do YouTube (COSTA, 2020) mostrando a balança de torção utilizada por Coulomb e seu funcionamento geral. Baseado nessa animação e relacionando com os princípios observados no momento anterior, a lei de Coulomb para cargas puntiformes foi apresentada formalmente. O tempo execução desse momento foi cerca de 20 minutos.

4º MOMENTO: com o intuito de se consolidar e revisar a maioria dos conceitos vistos até então, um mini simulado contendo 6 questões foi aplicado na turma para ser realizado individualmente.

Foi fornecido ao alunos um intervalo de tempo máximo de 25 minutos para a realização dessa atividade.

5º MOMENTO: após finalizado o momento anterior, o mini simulado aplicado foi integralmente corrigido e debatido com os alunos. Cada exercício proposto foi detalhadamente discutido como forma de revisão de tudo o que foi estudado até esse encontro.

Esse momento finalizou o encontro 04 e teve um tempo execução de cerca de 25 minutos.

5.2.5 Encontro 05: 02 aulas de 50 minutos

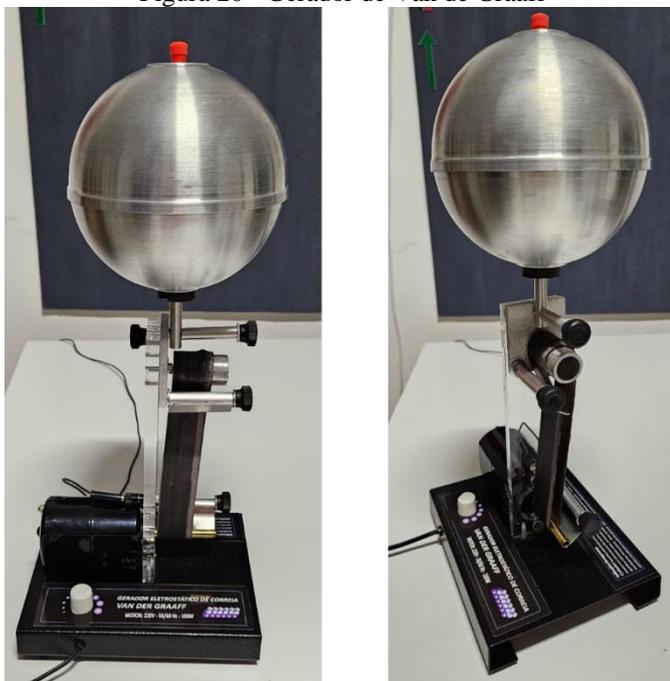
Os objetivos gerais desse encontro foram:

- a) Apresentar o gerador de Van de Graaff bem como investigar os princípios físicos de seu funcionamento;
- b) Introduzir o conceito de campo elétrico;

c) Apresentar experimentalmente o princípio da blindagem eletrostática.

1º MOMENTO: esse primeiro momento foi dedicado à apresentação das principais partes constituintes do gerador de Van de Graaff. A Figura 20 mostra o gerador utilizado.

Figura 20 - Gerador de Van de Graaff

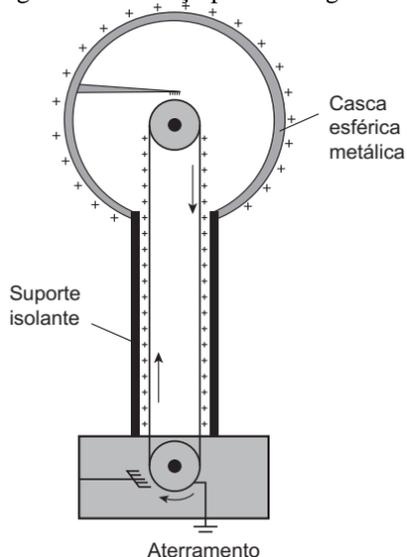


Fonte: Autoria própria (2025).

Esse gerador possui uma esfera metálica de 15 cm de diâmetro, um motor de 1/8 HP e 100 W, sendo adquirido pronto através do site do Mercado Livre. No entanto, é importante destacar que a utilização de equipamentos comerciais nesta sequência didática não compromete o princípio de acessibilidade da proposta, uma vez que é possível construir versões alternativas de geradores de Van de Graaff com materiais simples e de baixo custo, como esferas metálicas reaproveitadas, motores de pequenos eletrodomésticos e correias de borracha. Um exemplo detalhado desse processo é descrito por Ribeiro Leite, Ramos e Soares (2015), que apresentam um guia prático para a construção de um gerador de Van de Graaff de baixo custo, disponível no repositório da Universidade de Brasília. O tempo de execução desse momento foi de cerca de 10 minutos.

2º MOMENTO: após a apresentação geral do equipamento, foi feita uma abordagem teórica do princípio físico de funcionamento do gerador tendo como base os métodos de eletrização vistos nos encontros anteriores: atrito, contato e indução. A Figura 21 foi utilizada para melhor elucidação dessa abordagem.

Figura 21 – Esboço prático do gerador



Fonte: A autoria própria (2025).

Esse momento teve um tempo execução de cerca de 20 minutos.

3º MOMENTO: com o intuito de fazer uma primeira utilização do gerador de Van de Graaff e de começar a construir um contexto prático para a formalização posterior do conceito de campo elétrico foram realizadas duas experiências (descritas nos parágrafos a seguir).

EXPERIÊNCIA 1: para essa primeira experiência, além do gerador mostrado na figura 24 também foi utilizada uma pequena lâmpada fluorescente, conforme mostra a Figura 22.

Figura 22 - Mini lâmpada fluorescente

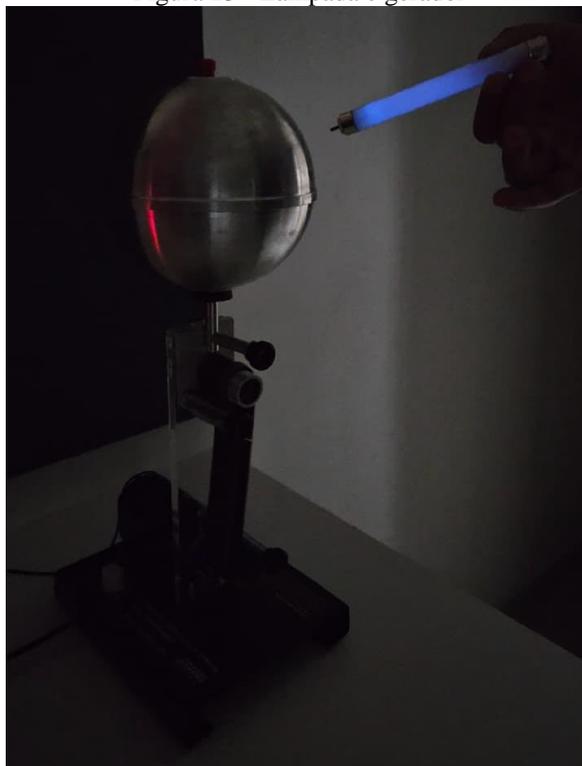


Fonte: A autoria própria (2025).

Essa lâmpada foi comprada através do site da *Shopee* e, conforme mostra a Figura 22, é uma lâmpada tubular fluorescente T5 G5 de 4 W azul e com 15 cm de comprimento.

Com o gerador de Van de Graaff ligado e com as luzes da sala de aula apagadas, a mini lâmpada fluorescente foi sendo aproximada lentamente do gerador, porém, sem encostar no mesmo. A Figura 23 ilustra essa prática.

Figura 23 - Lâmpada e gerador



Fonte: Autoria própria (2025).

Nesse experimento os alunos puderam observar tanto faíscas sendo trocadas entre o gerador e a lâmpada quanto a própria lâmpada acendendo parcialmente, mesmo sem estar conectada a fios.

Embora nesta aplicação a atividade tenha sido conduzida apenas de forma qualitativa, sugere-se que, **em futuras reproduções desta sequência didática**, seja incluída a estimativa aproximada da distância entre a lâmpada e a superfície do gerador no momento em que ocorre a descarga elétrica. A partir dessa medida, seria possível discutir qualitativamente a diferença de potencial (ddp) e o campo elétrico na superfície do gerador, ampliando o entendimento dos alunos sobre a relação entre distância, intensidade do campo e energia acumulada. Mesmo sem a necessidade de cálculos exatos, essa inserção quantitativa poderia enriquecer a atividade, favorecendo uma percepção mais concreta das grandezas físicas envolvidas e fortalecendo a articulação entre observação experimental e interpretação conceitual.

EXPERIÊNCIA 2: nessa experiência, além do gerador mostrado na Figura 20 também foi utilizado o eletroscópio de folhas (Figura 19) apresentado no encontro 03.

Com o gerador de Van de Graaff ligado, o eletroscópio de folhas foi sendo aproximado e afastado lentamente do mesmo, assim como no experimento anterior, **sem tocar** no mesmo. A Figura 24 ilustra essa prática.

Nessa experiência os alunos puderam observar o efeito produzido pelo gerador ao seu redor (campo elétrico) através da abertura das folhas do eletroscópio: as folhas possuíam uma abertura maior quanto mais próximo estivesse do mesmo.

Outro ponto importante observado foi que, mesmo sem ter havido um contato direto e afastando o eletroscópio do gerador, as folhas permaneciam levemente afastadas, ou seja, o eletroscópio tinha sido eletrizado.

Esse momento teve um tempo execução de cerca de 20 minutos.

Figura 24 - Eletroscópio e gerador



Fonte: Autoria própria (2025).

4º MOMENTO: após a realização dos experimentos descritos anteriormente foi feita uma exposição teórica para formalizar os principais conceitos iniciais sobre campo elétrico. A Tabela 9 mostra os conceitos e definições abordados.

Tabela 9 – Conteúdos formalizados no encontro 05

CONTEÚDOS
Conceito de campo elétrico.
Principais características do vetor campo elétrico.
Definição de linhas de campo elétrico.
Campo elétrico gerado por carga puntiforme.

Fonte: Autoria própria (2025).

Para essa parte expositiva de conteúdo foi utilizado computador, data show e lousa branca. Com isso, esse encontro foi finalizado. O tempo execução desse momento foi cerca de 40 minutos.

5° MOMENTO: nesse momento de finalização do encontro 05 foi realizado um experimento a fim de se construir um contexto prévio para o próximo encontro. Nesse experimento foi solicitado *dois alunos voluntários* que possuíssem telefone celular e seguiu-se os seguintes passos:

1° PASSO: foi pedido que um dos voluntários fizesse uma ligação telefônica para o outro. O que iria receber a ligação estava com o modo silencioso desligado e o que iria realizar a ligação estava com o modo viva voz ligado. Uma primeira ligação foi efetuada.

2° PASSO: para uma segunda ligação, foi solicitado ao voluntário portador do celular que iria receber a ligação que ele embrulhasse completamente o seu telefone com papel alumínio (de uso culinário) previamente. Uma vez devidamente embrulhado, a nova ligação foi efetuada.

3° PASSO: Uma terceira ligação foi feita, porém, ao invés de embrulhar previamente o celular em papel alumínio, ele foi simplesmente colocado dentro de um pequena caixa de madeira.

Os alunos puderam perceber que no caso em que o celular foi embrulhado no papel alumínio, e apenas nele, a ligação não conseguia ser completada. Sem fornecer nenhuma explicação explícita sobre o fenômeno observado, a **blindagem eletrostática**, pois o intuito desse momento era o de despertar a curiosidade dos alunos, o encontro foi encerrado. O tempo execução desse momento foi cerca de 10 minutos.

5.2.6 Encontro 06: 02 aulas de 50 minutos

Os objetivos gerais desse encontro foram:

- a) Apresentar o conceito de blindagem eletrostática;
- b) Introduzir o conceito de potencial elétrico;
- c) Apresentar uma biografia geral de Michael Faraday.

1° MOMENTO: o experimento realizado no final do encontro anterior foi lembrado através de uma reprodução rápida. Para reforçar essa ideia foi apresentado um vídeo (ZEROCOOLBR, 2013) que mostra um rapaz dentro de uma gaiola de metálica próximo a uma grande Bobina de Tesla (fonte das descargas elétricas). Após a bobina ser ligada uma grande descarga elétrica incide sobre a gaiola, porém, sem provocar nenhum dano material ao rapaz. Esse vídeo foi gravado numa exposição ocorrida no Centro de Eventos da PUC-RS. O tempo execução desse momento foi cerca de 5 minutos.

2º MOMENTO: inicialmente foi apresentado um vídeo (UFPR TV, 2016) ilustrando o fenômeno do poder das pontas bem como o princípio de formação dos raios nas nuvens. O tempo execução desse momento foi cerca de 10 minutos.

3º MOMENTO: Após a exposição dos vídeos foi feita uma exposição teórica para formalizar os principais conceitos ilustrados. A Tabela 10 mostra os conceitos e definições abordados.

Tabela 10 – Conteúdos formalizados no encontro 06

CONTEÚDOS
Conceito de blindagem eletrostática.
Conceito de poder das pontas.
Definição conceitual de potencial elétrico.
Definição básica sobre superfícies equipotenciais.

Fonte: Autoria própria (2025).

Para essa parte expositiva de conteúdo foi utilizado computador, data show e lousa branca. O tempo execução desse momento foi cerca de 25 minutos.

4º MOMENTO: foi apresentado o episódio 10 (*O Rapaz Elétrico*) da série *Cosmos* (2014). O episódio explora as suas descobertas de Michael Faraday e o contexto histórico das suas experiências, apresentando-o como um pioneiro essencial para o desenvolvimento da eletrônica e da geração de energia. Esse episódio pode ser encontrado em vários sites da internet para visualização online, porém, foi utilizado um DVD próprio com o original da série.

Esse vídeo teve como objetivo fomentar a curiosidade dos alunos sobre o desenvolvimento do estudo da eletricidade que viria ocorrer principalmente a partir do século XIX. Após uma breve retrospectiva dos principais conceitos desenvolvidos nos encontros anteriores a partir de sua conexão com o que foi apresentado no episódio da série *Cosmos*, a sequência didática proposta nessa pesquisa foi finalizada. O tempo execução desse momento foi cerca de 60 minutos.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A presente análise fundamenta-se em uma abordagem qualitativa de caráter descritivo-interpretativo, pautada na observação sistemática do processo de ensino e aprendizagem desencadeado pela sequência didática e na triangulação entre o referencial teórico adotado, o planejamento das atividades e as evidências qualitativas coletadas durante a aplicação. Tais evidências incluem o engajamento e a participação dos alunos, a qualidade de suas intervenções discursivas, a execução dos experimentos e a análise dos produtos por eles elaborados, como fichamentos e a resolução de problemas contextualizados.

A técnica de pesquisa adotada caracteriza-se como análise qualitativa de caráter descritivo-interpretativo, conforme a abordagem proposta por Lakatos e Marconi (2017) e aprofundada por Bardin (2016) na perspectiva da análise de conteúdo. Essa técnica visa identificar, nas manifestações verbais, comportamentais e nos produtos dos estudantes, *indicadores de aprendizagem significativa e de engajamento cognitivo* ao longo da aplicação da sequência didática.

Segundo Bardin (2016), a análise de conteúdo organiza-se em etapas que envolvem a pré-análise, a exploração do material e a interpretação inferencial dos resultados. Seguindo essa estrutura, os registros e observações obtidos durante a aplicação foram analisados à luz das categorias emergentes relacionadas aos três eixos norteadores deste trabalho: a) *evidências de aprendizagem significativa*; b) *participação e protagonismo discente nas atividades experimentais*; e c) *articulação entre a abordagem histórica e a compreensão conceitual*. Essas categorias foram previamente definidas com base no referencial teórico de Ausubel (1980) e na literatura sobre ensino de Física no MNPEF, constituindo os critérios de análise utilizados para interpretar as evidências qualitativas coletadas.

A opção por essa metodologia de análise justifica-se pela natureza do objeto de investigação. O objetivo central não era mensurar um ganho de pontuação em um exame, mas sim avaliar a eficácia de uma proposta pedagógica em criar as condições para uma aprendizagem significativa e em superar as barreiras de abstração inerentes ao tema. Dessa forma, a análise concentra-se em como os três pilares (Aprendizagem Significativa, Experimentação de Baixo Custo e Abordagem Histórica) atuaram de forma sinérgica para mediar a construção do conhecimento.

As falas dos alunos apresentadas a seguir foram registradas durante a aplicação da sequência didática e mantidas de forma anônima, identificando os participantes apenas por

letras (Aluno A, Aluna B etc.), em conformidade com princípios éticos de pesquisa em educação.

6.1 Pilares Metodológicos e sua Eficácia

A sequência didática foi concebida para que os três pilares não atuassem de forma isolada, mas de maneira solidária e complementar. A análise da implementação permite observar que essa integração foi fundamental para a construção progressiva do conhecimento.

O primeiro encontro foi estratégico para estabelecer o tom da sequência. A apresentação do episódio da série *História da Eletricidade* e a subsequente atividade de fichamento cumpriram um papel que vai muito além da mera motivação inicial. Essa atividade funcionou como um potente **organizador prévio**, na acepção de David Ausubel. Ao fornecer um panorama narrativo das investigações de Gilbert, Du Fay e Franklin, o documentário ofereceu um contexto rico e humanizado para os conceitos que seriam desenvolvidos.

Essa **contextualização histórica** criou os subsunçores necessários na estrutura cognitiva dos alunos. Termos como "atração", "repulsão" e "fluido elétrico" deixaram de ser abstrações isoladas e passaram a fazer parte de uma saga de descobertas. O fichamento, por exigir que os alunos identificassem e registrassem os pontos mais relevantes, promoveu uma escuta ativa e iniciou o processo de ancoragem desses novos conceitos em ideias pré-existentes, preparando o terreno para a experimentação que se seguiria.

Para ilustrar empiricamente a evolução conceitual observada ao longo dos encontros, a Tabela 11 apresenta falas representativas dos alunos registradas durante a aplicação, organizadas segundo os momentos da sequência didática e as categorias interpretativas de análise (BARDIN, 2016).

Tabela 11 – Evidências qualitativas de indícios de aprendizagem significativa ao longo da sequência didática

Encontro	Situação observada	Fala do aluno (registro representativo)	Categoria interpretativa
1º – Introdução e História da Eletricidade (documentário BBC)	Discussão em grupo após o episódio “ <i>Faísca</i> ” (BBC, 2011)	“Nunca pensei que eletricidade tivesse começado com experimentos tão simples, tipo esfregar coisas.” (Aluno A)	Ativação de conhecimentos prévios e ampliação de repertório histórico-científico.
1º – Introdução e História da Eletricidade (documentário BBC)	Fichamento coletivo do documentário	“Parece que as ideias de Franklin e Gilbert foram mudando com o tempo, igual o jeito que	Construção de visão processual e não dogmática da ciência (aprendizagem relacional).

		a gente pensa hoje.” (Aluna B)	
2º – Experimentos de Eletrizaco por Atrito	Observaco de atrao e repulsão entre canudos e papéis	“Ah, então o papel são  puxado porque o canudo ficou com carga!” (Aluno C)	Compreensão inicial do conceito de carga elétrica e causalidade física.
2º – Experimentos de Eletrizaco por Atrito	Debate após formalizao de conceitos	“Quando eu atrito são um lado, parece que o outro não tem o mesmo efeito.” (Aluno D)	Reconstruco de concepes prévias (diferenciao progressiva).
3º – Eletforo de Volta e Eletroscpios	Aproximao do eletforo ao eletroscópio de pêndulo	“Mesmo sem encostar, o disco mexe. Então a carga ‘puxa’ de longe.” (Aluno E)	Internalizao da noo de campo elétrico e de ao  distância.
3º – Eletforo de Volta e Eletroscpios	Observaco do eletroscópio de folhas	“As folhinhas se abrem mais quando encosta. Então deve passar carga.” (Aluna F)	Identificao empírica do processo de eletrizaco por contato.
4º – Lei de Coulomb e Balança de Toro (experimento análogo)	Discussão após o experimento com pêndulo eletrostático	“Quanto mais forte eu esfrego o canudo, mais o pêndulo se afasta.” (Aluno G)	Percepo empírica da relao entre quantidade de carga e intensidade de força elétrica.
4º – Lei de Coulomb e Balança de Toro (experimento análogo)	Correo coletiva do mini simulado	“A fórmula da força agora faz sentido: se tem mais carga, empurra mais.” (Aluno H)	Compreensão funcional da lei de Coulomb a partir da vivência experimental.
5º – Blindagem Eletrostática (experimento do celular e alumínio)	Teste do celular embrulhado em papel alumínio	“O sinal sumiu mesmo! É tipo quando o campo não passa.” (Aluna I)	Evidência de transposio da observao empírica para conceito de blindagem.
5º – Blindagem Eletrostática (experimento do celular e alumínio)	Discussão sobre a gaiola de Faraday (vídeo complementar)	“A gaiola protege igual o alumínio. Então a corrente não entra dentro.” (Aluno J)	Generalizao conceitual e analogia produtiva.
6º – Revisão e Avaliao (simulado e discussão final)	Correo comentada do simulado estilo ENEM	“No começo eu são sabia que as coisas grudavam. Agora sei por qu: tem campo, carga e diferença de potencial.” (Aluna K)	Síntese conceitual e evidência de integrao significativa dos conteúdos.
6º – Revisão e Avaliao (simulado e discussão final)	Discussão metacognitiva final	“Achei que Física era são fórmula, mas dá pra entender mesmo vendo e testando.” (Aluno L)	Mudança de atitude em relao  ciência e valorizao da experimentao.

Fonte: Autoria própria (2025).

A transio do contexto histórico para a investigao prática foi mediada pela experimentao de baixo custo. A decisão de utilizar materiais comuns, como canudos, papel

alumínio e papel toalha, foi crucial para democratizar o acesso à investigação científica. Mais importante ainda, foi a opção metodológica de realizar a formalização dos conceitos de condutor e isolante somente *após* os experimentos de eletrização.

A formalização de conceitos antecedida pela experimentação representa uma estratégia coerente com o ciclo da aprendizagem significativa proposto por Ausubel (1980). Ao manipular os materiais e observar diretamente os fenômenos de atração e repulsão, os alunos demonstraram indícios de compreensão conceitual mais elaborada, expressos em suas falas e nas discussões coletivas.

Embora não seja possível afirmar de forma definitiva a ocorrência de aprendizagem significativa em longo prazo, as evidências qualitativas observadas — especialmente as verbalizações e registros produzidos durante os encontros — sugerem uma ancoragem não literal dos novos conceitos em conhecimentos prévios, indicando avanços importantes no processo de construção conceitual.

Ressalta-se, contudo, que a verificação plena da aprendizagem significativa requer acompanhamento longitudinal, capaz de avaliar a retenção e a transferência dos conceitos após a aplicação. Recomenda-se que futuras implementações desta sequência didática incluam instrumentos complementares — como questionários de pós-teste ou entrevistas reflexivas —, de modo a fortalecer as evidências empíricas da consolidação dos conhecimentos.

Em síntese, os resultados parciais observados ao longo dos encontros reforçam que a integração entre experimentação, história da ciência e aprendizagem significativa não apenas amplia a compreensão conceitual, mas também fortalece a autonomia e o interesse dos alunos pelo estudo da Física.

6.2 Superação de Dificuldades Conceituais Tradicionais

A sequência demonstrou potencial para abordar algumas das dificuldades clássicas no ensino de Eletrostática:

- **Campo Elétrico:** A abordagem gradual – partindo da força à distância (observada nos experimentos iniciais), passando pela visualização da ação do campo através do eletroscópio submetido ao Van de Graaff em diferentes distâncias, e culminando na definição conceitual e matemática, de forma geral, mais eficaz do que a apresentação direta da fórmula $E = F/q$. Os alunos puderam perceber o campo como uma **propriedade do espaço** modificada pela presença de cargas, antes de lidar com sua definição operacional.

- **Blindagem Eletrostática:** O experimento do celular envolto em papel alumínio foi um recurso didático de alto impacto. Ao criar um paradoxo (um objeto comum que "desaparece" da rede), motivando a busca por uma explicação. A posterior formalização do conceito de blindagem e a exibição dos vídeos da gaiola de Faraday forneceram a explicação, resolvendo o conflito de maneira significativa e memorável.
- **Indução Eletrostática:** Este é um conceito particularmente abstrato. A utilização do pêndulo eletrostático e do eletroscópio de folhas para visualizar a separação de cargas sem contato físico foi fundamental. A demonstração prática antecedeu e facilitou a compreensão da definição teórica.

Para melhor situar os resultados obtidos no diálogo com a literatura recente do MNPEF, elaborou-se a Tabela 12, que sintetiza convergências e diferenciações entre esta dissertação e outros trabalhos que exploraram dimensões semelhantes.

Tabela 12 – Comparação entre esta pesquisa e trabalhos correlatos do MNPEF

Autor / Ano	Tema e foco da pesquisa	Estratégias metodológicas	Resultados principais	Contribuição em relação ao presente trabalho
Lisboa (2022)	Ensino de Eletrostática com Unidades de Ensino Potencialmente Significativas	Levantamento de concepções prévias; experimentos simples (eletrização por atrito, indução)	Favoreceu a compreensão de conceitos básicos e promoveu retenção a longo prazo	Corroborar a importância de sondagem inicial e atividades de baixo custo; este trabalho avança ao integrar também a dimensão histórica.
Bastos (2022)	Laboratório móvel de experimentos de baixo custo em Física	Uso de materiais recicláveis (isopor, papel alumínio, tampas plásticas)	Possibilitou práticas eficazes sem necessidade de laboratório tradicional	Confirma a viabilidade da experimentação acessível; este estudo complementa ao sistematizar a sequência em seis encontros com foco na Eletrostática.
Silva (2024)	Ensino de Eletromagnetismo com enfoque histórico-experimental	Narrativas históricas e experimentos acessíveis	Aumentou o interesse e o engajamento dos alunos	Reforça o potencial da história da ciência; o presente trabalho aplica esse enfoque de forma integrada especificamente à Eletrostática.

Fonte: Elaboração Própria (2025).

A síntese apresentada no Tabela 12 permite observar tanto as convergências quanto as particularidades desta pesquisa em relação a outros trabalhos do MNPEF. No estudo de Lisboa

(2022), a ênfase recaiu sobre a sondagem das concepções prévias e a utilização de experimentos simples, o que se mostrou eficaz para a aprendizagem de conceitos básicos, em especial sobre eletrização. Bastos (2022), por sua vez, evidenciou o potencial da experimentação de baixo custo ao propor um laboratório móvel, confirmando que práticas acessíveis podem suprir a ausência de infraestrutura laboratorial. Já Silva (2024) destacou a relevância da história da ciência como recurso para ampliar o interesse dos estudantes e contextualizar o desenvolvimento do conhecimento científico.

A presente dissertação se aproxima dessas iniciativas, mas avança ao integrar de forma sistemática os três elementos – aprendizagem significativa, história da ciência e experimentação de baixo custo – em uma sequência didática estruturada para o ensino de Eletrostática. Essa articulação não apenas favoreceu a compreensão de conceitos abstratos, como também promoveu maior engajamento dos estudantes durante as atividades, indicando que a proposta se configura como uma contribuição original e aplicável ao ensino de Física na educação básica.

6.3 Avaliação Formativa

A opção por uma avaliação formativa e processual, em detrimento de provas tradicionais, mostrou-se um acerto. O fichamento do documentário permitiu avaliar habilidades de síntese e compreensão. O ápice desta estratégia foi a aplicação do simulado no estilo ENEM, seguido de sua correção comentada imediatamente após.

Essa escolha revelou-se adequada porque possibilitou acompanhar a aprendizagem em tempo real, com base na observação das falas, dúvidas e justificativas apresentadas pelos estudantes durante as correções coletivas. Os registros feitos pelo pesquisador mostraram uma evolução gradual no vocabulário e na argumentação dos alunos, evidenciada pelo uso cada vez mais preciso de termos como *carga elétrica*, *campo elétrico* e *diferença de potencial*.

Durante a correção dialogada, foram observadas manifestações que evidenciam esse avanço conceitual. Um exemplo foi quando o Aluno M afirmou:

“Antes eu só pensava que o canudo puxava o papel porque era leve, agora eu vejo que tem a ver com carga mesmo, igual o campo que a gente desenhou”.

Essa fala indica uma reconstrução conceitual a partir da articulação entre o experimento e a formalização teórica, conforme previsto por Ausubel (1980). Outro caso ocorreu com a Aluna N, que, ao discutir uma questão sobre o experimento do eletróforo, observou:

“Se o campo é mais forte perto da placa, então a força deve ser maior ali também, né?”.

Esse tipo de inferência demonstra diferenciação progressiva, isto é, a capacidade de aplicar um conceito em novos contextos de maneira coerente.

Além das falas espontâneas, as anotações dos alunos nos cadernos e fichamentos evidenciaram maior clareza nas explicações. Em alguns registros iniciais, apareciam expressões como “a carga vai para o outro corpo” ou “o corpo perde força”. Já nos encontros finais, esses mesmos alunos passaram a registrar justificativas mais estruturadas, como “a carga se redistribui” ou “a repulsão ocorre por excesso de cargas de mesmo sinal”.

Tais evidências reforçam que a avaliação formativa não apenas serviu para mensurar o aprendizado, mas funcionou como etapa constitutiva da própria aprendizagem, permitindo ao professor intervir imediatamente, ajustar explicações e promover a reflexão metacognitiva dos estudantes.

Durante o simulado final, o formato inspirado no ENEM revelou-se especialmente produtivo, pois estimulou a leitura interpretativa e a aplicação dos conceitos em situações contextualizadas. Na correção coletiva, a discussão das alternativas incorretas gerou momentos de reflexão crítica.

Assim, a avaliação formativa implementada mostrou-se um instrumento eficaz para diagnosticar, acompanhar e promover a aprendizagem, atuando como elo integrador entre os momentos experimentais e teóricos da sequência didática. Sua aplicação em ciclos curtos de observação, devolutiva e reorientação pedagógica favoreceu a aproximação com o princípio da aprendizagem significativa, na medida em que o processo avaliativo não se limitou à verificação de resultados, mas estimulou momentos de reflexão e autorregulação da aprendizagem por parte dos alunos.

6.4. Limitações e Desafios

Apesar dos resultados positivos, é importante registrar os desafios:

- **Gestão do Tempo:** A estrutura de 100 minutos por encontro é rica, mas exigiu um planejamento minucioso para que a experimentação, a discussão e a formalização ocorressem sem pressa. Em alguns momentos, como na exploração do Van de Graaff, a riqueza dos fenômenos poderia justificar um tempo ainda maior.

- **Condições Ambientais:** Experimentos de eletrostática são sensíveis à umidade do ar. Em dias muito úmidos, alguns efeitos podem ser menos dramáticos, exigindo do professor a habilidade de explicar essas variáveis e, se possível, contorná-las.
- **Diversidade de Aprendizagem:** Embora a variedade de estratégias (vídeos, experimentos, discussão, formalização) atenda a diferentes estilos de aprendizagem, é necessário um acompanhamento individualizado para garantir que todos os alunos consigam fazer as conexões entre as diferentes atividades.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O percurso trilhado neste trabalho, desde a concepção teórica até a aplicação e análise da sequência didática, permitiu constatar que a integração entre a História da Ciência, a Experimentação de Baixo Custo e os princípios da Aprendizagem Significativa constitui um eixo metodológico robusto e fértil para o ensino de tópicos tradicionalmente abstratos, como a Eletrostática.

A execução da proposta não apenas confirmou a viabilidade operacional de se lecionar Física com recursos acessíveis, mas também revelou o potencial dessa tríade para conferir maior profundidade e significado ao processo de aprendizagem. Os encontros, organizados em uma progressão cuidadosamente planejada, demonstraram que é possível transitar da curiosidade inicial à formalização conceitual sem abdicar do rigor científico, mas, sobretudo, sem perder de vista o discente como agente central na construção de seu próprio conhecimento. A análise dos resultados leva à conclusão central de que a força da sequência didática residiu precisamente na solidariedade entre seus pilares fundantes, e não na sua atuação isolada.

Dessa forma, a questão que orientou esta pesquisa, como a inserção da Eletrostática já no 1º ano do Ensino Médio, apoiada na integração entre a história da ciência e a experimentação de baixo custo, pode favorecer a aprendizagem significativa dos estudantes, pôde ser respondida de forma positiva. A aplicação da sequência demonstrou que a antecipação desse tema é viável, promoveu maior engajamento discente e possibilitou a construção de conceitos antes vistos como excessivamente abstratos, consolidando-se como alternativa eficaz ao modelo tradicional.

A narrativa histórica, inaugurada pelo documentário da BBC e coroada pelo episódio de *Cosmos* sobre Faraday, proveu o fio condutor que conferiu sentido e humanidade ao desenvolvimento dos conceitos. Mais do que um mero recurso ilustrativo, a história funcionou como uma poderosa âncora cognitiva, situando as leis da Física como produtos de uma investigação humana coletiva, repleta de desafios e insights.

Por sua vez, a experimentação de baixo custo, com seus canudos, papéis e geradores caseiros, desempenhou o papel crucial de materializar o abstrato. Ao manipular objetos comuns e testemunhar fenômenos eletrostáticos de forma tangível, os alunos puderam estabelecer subsunçores concretos, que posteriormente facilitaram a assimilação não apenas da nomenclatura técnica, mas da própria lógica subjacente aos fenômenos.

Finalmente, a formalização conceitual e matemática, sempre subsequente à contextualização e à experimentação, pôde ser assimilada não como um dogma, mas como a linguagem precisa e necessária para descrever e prever comportamentos que já haviam sido

observados e debatidos. Nesse sentido, a sequência inverteu a lógica tradicional que parte da definição para a aplicação, optando por um caminho que parte do contexto, passa pela investigação e culmina na generalização.

Refletindo sobre as implicações deste trabalho de equipamentos de laboratório sofisticados. A criatividade no desenho experimental e o aproveitamento inteligente de materiais de uso cotidiano revelaram-se tão ou mais eficazes para despertar o interesse e facilitar a compreensão do que aparelhagens complexas e muitas vezes opacas para o iniciante. Esta constatação possui um profundo valor democrático, pois indica um caminho viável para a revitalização do ensino de Ciências em contextos com restrições orçamentárias, tornando a investigação científica acessível a todos.

Como produto de um mestrado profissional, esta dissertação oferece à comunidade de professores de Física um produto educacional concreto e detalhadamente descrito, pronto para ser apropriado, adaptado e implementado por outros educadores. Para além do material em si, a principal contribuição deste trabalho talvez seja a validação de uma estratégia pedagógica integradora que pode ser extrapolada para outros domínios do conhecimento físico.

Os desafios de abstração não são exclusividade da Eletrostática; temas como campo gravitacional, indução eletromagnética e física quântica, entre outros, podem ser igualmente beneficiados por uma abordagem que combine narrativa, experimentação e formalização progressiva.

Naturalmente, todo estudo carrega em si as sementes para investigações futuras. Esta pesquisa abre espaço para desdobramentos relevantes, tais como a aplicação controlada desta mesma sequência por outros docentes em diferentes realidades escolares, permitindo uma análise comparativa de sua eficácia. Ademais, um estudo de natureza longitudinal poderia investigar se a base conceitual significativa construída por essa metodologia se traduz em uma melhor compreensão e maior retenção de longo prazo dos conceitos, especialmente nos tópicos de Eletromagnetismo que se seguem no currículo.

Por fim, o maior desafio que se coloca é a expansão deste modelo para outras áreas da Física, desenvolvendo e testando sequências didáticas que, mantendo a mesma filosofia de integração de pilares, possam enfrentar os obstáculos epistemológicos inerentes a cada novo tema.

Em última instância, esta dissertação reforça a convicção de que o ensino de Física deve aspirar a ser muito mais do que a transmissão de um conjunto de fórmulas e leis. Deve almejar, acima de tudo, formar indivíduos capazes de compreender a natureza como um sistema passível de ser investigado, questionado e compreendido.

A sequência aqui apresentada tentou, dentro de seus limites, oferecer uma alternativa para que os alunos não se limitem a calcular forças ou campos, mas possam, efetivamente, apreciar a elegância das ideias que os descrevem e se maravilhar com a história da sua descoberta. Espera-se, assim, ter contribuído para um ensino de Física que seja, simultaneamente, significativo, acessível e inspirador.

REFERÊNCIAS

5VOLTS. *Lei de Coulomb*. Disponível em: <https://5-volts.blogspot.com/2016/07/lei-de-coulomb.html>. Acesso em: 26 jul. 2025.

AUSUBEL, David Paul. *Aquisição e retenção de conhecimentos: uma perspectiva cognitiva*. Lisboa: Plátano, 1980.

BASÍLIO, Ricardo Ferreira. *Curiosidade da Física: organizadores prévios como estratégia facilitadora da aprendizagem significativa de Física*. 2022. 145 f. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física) – Universidade Federal de Goiás, Regional Catalão, Catalão, 2022.
Disponível em: <https://mnpef.catalao.ufg.br/p/12456-dissertacoes>. Acesso em: 12 maio 2025.

BASTOS, Klessia Santos. *Laboratório móvel de eletrostática, usando materiais de baixo custo como recurso: uma sequência didática para os ensinamentos fundamental e médio*. 2022. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física) – Instituto de Física, Universidade Federal do Pará, Belém, 2022.

BRASIL. Ministério da Educação. *Base Nacional Comum Curricular*. Brasília: MEC, 2018.

CARDOSO, F. M. *História da Física: da Antiguidade ao Renascimento*. São Paulo: Edusp, 2010.

CASTRO, Luis Henrique Monteiro de. *O uso do Arduino e do Processing no ensino de Física*. 2021. 101 f. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física) – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2021.
Disponível em: <https://www.unirio.br/mnpef/dissertacoes>. Acesso em: 25 maio 2025.

COSTA, Ismael. *Lei de Coulomb*. 5 out. 2020. 1min24s. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=JfvWB7uBZ9k>. Acesso em: 11 ago. 2025.

ELEPOT/UFRJ. *Esquema do experimento de Oersted*. Disponível em: <https://www.coe.ufrj.br/~acmq/oden1.jpg>. Acesso em: 26 jul. 2025.

FARADAY, Michael. *A história química de uma vela; As forças da matéria*. Tradução de Vera Ribeiro. Rio de Janeiro: Contraponto, 2007.

FÍSICA DO ELETROMAGNETISMO. *Eletromagnetismo*. Disponível em: <https://fisicaeletromagnetismo.wordpress.com/2014/02/11/eletromagnetismo/>. Acesso em: 26 jul. 2025.

GASPAR, Alberto. *Compreendendo a Física 3: eletricidade e magnetismo*. 2. ed. São Paulo: Ática, 2016. v. 3.

GILBERT, William. *De Magnete, Magneticisque Corporibus, et de Magno Magnete Tellure*. Londres: Peter Short, 1600.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. *Fundamentos de Física: eletromagnetismo*. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012. v. 3.

HEFFELMANN, Mauri. *A história da eletricidade*. Ep. 1: *A faísca*. 5 jun. 2017. 58min58s. Disponível em:

<https://www.youtube.com/watch?v=rAqUvE97iCU&list=PLUBigACPha230HIU4-DnKP9lZbro-Zpl&index=3>. Acesso em: 1 ago. 2025.

HEWITT, Paul G. *Física conceitual*. 11. ed. Porto Alegre: Bookman, 2011.

KNIGHT, Randall D. *Física: uma abordagem estratégica*. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2009. v. 3.

KUHN, Thomas S. *A estrutura das revoluções científicas*. 12. ed. São Paulo: Perspectiva, 2013.

LIMA, Carina Cristina Oliveira de. *Ensino por investigação utilizando brinquedos em busca de uma aprendizagem significativa: energia mecânica*. 2024. 118 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2024.

Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/15748>. Acesso em: 4 jun. 2025.

LISBOA, Madison Cleiton Barbosa. *Unidade de ensino potencialmente significativa como instrumento para o ensino de Física: a eletrostática baseada em situações cotidianas e aprendizagem significativa*. 2022. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2022.

MACHADO, Kleber D. *Teoria do eletromagnetismo I*. 1. ed. Ponta Grossa: UEPG, 2000. v. 1.

MATTHEWS, Michael R. *Science teaching: the role of history and philosophy of science*. New York: Routledge, 1994.

MÁXIMO, Antônio R. D. L.; ALVARENGA, Beatriz Á.; GUIMARÃES, Carla D. C. *Física: contextos & aplicações*. 2. ed. São Paulo: Scipione, 2016. v. 3.

MOREIRA, Marco Antonio. *Aprendizagem significativa*. Brasília: Editora da UnB, 2012.

MUSEU INTERATIVO DA FÍSICA. *Garrafa de Leyden*. Disponível em: <https://minf.ufpa.br/garrafa-de-leiden>. Acesso em: 26 jul. 2025.

NATIONAL MAGLAB. *Electrostatic generator (1706)*. Disponível em: <https://nationalmaglab.org/magnet-academy/history-of-electricity-magnetism/museum/electrostatic-generator-1706/>. Acesso em: 26 jul. 2025.

NUSSENZVEIG, Herch Moysés. *Curso de física básica. Volume 3: eletromagnetismo*. São Paulo: Edgard Blücher, 1997.

OLIVEIRA, M. F. *Proposta de experimentos de baixo custo para o ensino de Física: uma abordagem criativa e acessível*. 2024. 110 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2024.

Disponível em:

<https://www.repositorio.ufal.br/bitstream/123456789/14816/1/Proposta%20de%20experiment>

os%20de%20baixo%20custo%20para%20o%20ensino%20de%20f%C3%ADsica%20uma%20abordagem%20criativa%20e%20acess%C3%ADvel.pdf. Acesso em: 14 jul. 2025.

PAIVA, Raissa Freire Santos de. *O ensino de Ciências por investigação e a aprendizagem significativa de conceitos da Física no ensino fundamental*. 2023. 132 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Ciências) – Universidade Estadual de Goiás, Anápolis, 2023.

Disponível em: <https://www.bdttd.ueg.br/handle/tede/1355>. Acesso em: 18 maio 2025.

PIRES, Antonio S. T. *Evolução das ideias da Física*. 2. ed. São Paulo: Livraria da Física, 2011.

ROCHA, L. S. *Laboratório experimental de baixo custo para o ensino de Física*. 2020. 127 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2020.

Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/57062>. Acesso em: 7 jun. 2025.

SANTOS, Willian; MORTIMER, Eduardo Fleury. Como trabalhar com história da ciência em sala de aula. *Ciência & Educação* (Bauru), v. 8, n. 2, p. 131–144, 2002. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1516-73132002000200008>.

SILVA, Christie Costa. *Proposta de sequência didática para eletromagnetismo com foco em aprendizagem significativa utilizando laboratório de baixo custo*. 2024. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física) – Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2024.

UFPR TV. *Poder das pontas*. 4 mai. 2016. 4min10s. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=oiQoXAKC_9A. Acesso em: 29 ago. 2025.

ZEROCOOLBR. *Thiago na gaiola de Faraday*. 5 jul. 2013. 25s. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=wIJXT8iVQ2w>. Acesso em: 29 ago. 2025.

APÊNDICE A - PRODUTO EDUCACIONAL



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE
NÚCLEO DE FORMAÇÃO DOCENTE
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA
POLO 46

VICTOR EMANUEL SILVA DUTRA

Orientador: Professor Dr. Heydson Henrique Brito da Silva.

CARUARU - PE

2025

Este produto educacional é parte integrante da dissertação de mestrado

ELETRÓSTÁTICA NO 1º ANO DO ENSINO MÉDIO: UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA INTEGRANDO HISTÓRIA E EXPERIMENTAÇÃO DE BAIXO CUSTO.

APRESENTAÇÃO

Caro(a) professor(a),

Este material apresenta o produto educacional desenvolvido nesta dissertação: uma sequência didática voltada ao ensino de Eletrostática no 1º ano do Ensino Médio. A proposta foi estruturada a partir de três eixos centrais: os pressupostos da Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel, a abordagem histórica da ciência e a experimentação com materiais de baixo custo.

O objetivo principal é oferecer uma alternativa à prática tradicional, muitas vezes fragmentada e excessivamente matematizada, propondo um percurso pedagógico que valorize a construção de significado e a contextualização dos conceitos físicos. A sequência está organizada em seis encontros de 100 minutos cada (equivalente a 12 aulas), planejados de forma progressiva: a investigação histórica e a atividade experimental antecedem e fundamentam a formalização conceitual e matemática.

O desenvolvimento inicia-se com a sondagem dos conhecimentos prévios dos alunos e uma contextualização histórica por meio de documentários, segue com a realização de experimentos qualitativos utilizando materiais acessíveis, como eletroscópios caseiros e um eletróforo de Volta construído com recursos do cotidiano, e culmina na discussão de aplicações tecnológicas, como a blindagem eletrostática.

O produto inclui roteiros de atividades experimentais, sugestões de recursos audiovisuais, orientações para discussão em sala de aula e um exemplo de simulado formativo. Apresenta-se, assim, como um recurso prático, replicável e adaptável a diferentes contextos escolares, especialmente em instituições públicas com recursos limitados, visando apoiar o professor na promoção de uma aprendizagem mais significativa, crítica e envolvente.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	70
2 SEQUÊNCIA DIDÁTICA	71
2.1 Apresentação geral da sequência didática	71
2.1.1 Informações gerais da sequência	71
2.2 Encontro 01: introdução à eletricidade e sondagem inicial	72
2.3 Encontro 02: eletrização por atrito e por contato	73
2.4 Encontro 03: indução eletrostática	77
2.5 Encontro 04: lei de Coulomb	81
2.6 Encontro 05: campo elétrico	83
2.7 Encontro 06: síntese e avaliação da aprendizagem	87
3 CONSIDERAÇÕES FINAIS	90
4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	91
APÊNDICE A – EXEMPLO DE MINI SIMULADO	94

1 INTRODUÇÃO

A Base Nacional Comum Curricular (BNCC) (Brasil, 2018) propõe o ensino por investigação como uma abordagem central, onde os alunos são incentivados a questionar, experimentar, analisar e construir seus próprios conhecimentos, em vez de apenas receber informações prontas, bem como a importância da história da ciência para a compreensão do desenvolvimento científico, promovendo a contextualização do conhecimento, a análise de diferentes perspectivas e a discussão sobre a natureza da ciência.

Diante disso, esse produto educacional sugere uma sequência didática que integra aspectos históricos e experimentais no ensino da Eletrostática no 1º ano do Ensino Médio (podendo ser adaptada para outras séries ou até mesmo para a etapa do Ensino Fundamental), avaliando sua eficácia na motivação para o ensino da física de forma geral.

A relevância deste estudo está na possibilidade de oferecer estratégias pedagógicas que tornem o ensino da Física mais acessível e interessante, alinhando-se às recomendações dos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN+) e da (BNCC) na formação dos estudantes (BRASIL, 2002; BRASIL, 2018).

Para uma avaliação contínua e formativa, atividades combinando discussões históricas, demonstrações experimentais e resolução de problemas contextualizados são sugeridas ao longo da sequência didática.

Serão utilizados instrumentos de coleta de dados como observações em aula e análise de produções dos alunos, a fim de verificar se a abordagem proposta favorece maior engajamento e aprendizagem conceitual e matemática.

Para a replicação dessa sequência será necessário um gerador de Van de Graaff. Na primeira vez que essa sequência foi aplicada o gerador utilizado pertencia ao próprio autor desse produto educacional. Porém, ao professor (a) que desejar utilizar essa sequência didática, a construção de um gerador de Van de Graaff pode ser um incremento (ou adaptação) a ser incorporado em sua aplicação.

2 SEQUÊNCIA DIDÁTICA

2.1 Apresentação geral da sequência didática

A Sequência Didática (SD) a seguir foi elaborada com base na utilização de alguns dos principais marcos da história do desenvolvimento da eletricidade ao longo dos séculos XVII e XVIII e de experimentos didáticos de baixo custo para a aplicação dos princípios básicos da aprendizagem significativa proposta por Ausubel (1963) ao ensino da Eletrostática, aplicada a uma turma do 1º ano do Ensino Médio em uma escola pública do Estado de Pernambuco durante o primeiro semestre do ano de 2025.

2.1.1 Informações gerais da sequência

- **Disciplina:** Física.
- **Nome do Professor:** (XXXXXX).
- **Série do Ensino Médio:** 1º ano.
- **Competência na BNCC a ser trabalhada na área de Ciências da Natureza:**

COMPETÊNCIA ESPECÍFICA 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). (MEC, 2020)

- **Habilidades a serem desenvolvidas:**

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. (MEC, 2020)

- **Tema:** Eletrostática.
- **Objetos de conhecimento específico:**
 - Principais marcos histórico-experimentais na construção e desenvolvimento dos fundamentos da eletricidade entre os séculos XVII e XVIII;
 - Conceito elementar de carga elétrica;
 - Princípios básicos da eletrostática: atração e repulsão, conservação da carga elétrica e quantização da carga elétrica;
 - Eletrização por atrito, contato e indução;
 - Noções básicas sobre materiais condutores e isolantes;

- Conceitos e definições básicas sobre força elétrica, campo elétrico e potencial elétrico;
- Blindagem eletrostática e “poder das pontas”.
- **Tempo de execução da sequência didática:** 12 aulas de 50 minutos, agrupadas em 6 encontros de 100 minutos.
- **Material necessário:** Computador, Data Show, Lousa (quadro branco ou giz), um gerador de Van der Graaff, e os materiais utilizados na construção dos experimentos de baixo custo que serão apresentados posteriormente no detalhamento dos encontros.

2.2 Encontro 01: introdução à eletricidade e sondagem inicial

Debate sobre o que os alunos já sabem sobre fenômenos elétricos, seguido de atividades de sondagem das concepções prévias.

- Os objetivos gerais:
 - Explicar a metodologia que será utilizada;
 - Fazer o levantamento prévio dos conhecimentos dos alunos sobre o tema da Eletricidade;
 - Apresentar um episódio de um documentário sobre a história da eletricidade produzido pela BBC;
- Etapas da aula:

1º MOMENTO: o professor apresenta a metodologia que será utilizada durante o desenvolvimento das aulas, ou seja, deixa claro que os conceitos e definições serão construídos, desenvolvidos e formalizados a partir da apresentação e discussão de relatos histórico-científicos, bem como da reprodução e construção de experimentos didáticos e faz uma **sondagem de** forma dialogada sobre os **conhecimentos prévios** dos alunos com relação ao tema Eletricidade como um todo.

Tempo médio: 20 minutos.

2º MOMENTO: feita essa sondagem e apresentação inicial, o professor passará o episódio 1, *Faísca*, da minissérie *A História da Eletricidade* (HEFFELMANN, 2017, 58min58s) para os alunos assistirem **em sala de aula**.

- **Opção de link para o episódio:**

<https://www.youtube.com/watch?v=rAqUvE97iCU&list=PLUBigACPha230HIU4-DnKP9lZbro-Zpl&index=3>

Essa minissérie foi uma coprodução da BBC e da Open-University em 2011. Nesse episódio a noção geral sobre a natureza dos fenômenos elétricos é construída a partir de uma abordagem que mostra a evolução e as principais descobertas da eletricidade ao longo dos séculos, com uma ênfase especial no período que vai de meados do século XVII até o fim do século XVIII. A abordagem utiliza narrativas históricas, sua influência na sociedade, o papel desempenhado pelos cientistas e inventores da época, bem como seu impacto para a revolução elétrica.

Tempo médio: 60 minutos.

3º MOMENTO: após a exposição do documentário, o professor deve organizar a sala em grupos com no mínimo 3 alunos e no máximo 6 alunos, a fim de se realizar **uma primeira atividade**.

Essa atividade consiste na elaboração de um breve fichamento. O **professor precisa orientar os alunos** que:

- I. Conversem e debatam os pontos do documentário que mais chamaram a sua atenção e que julgam possuir relação direta com os conhecimentos prévios que eles haviam exposto no primeiro momento da aula;
- II. Elaborem um fichamento topicalizado com, no máximo, 5 desses pontos elencados.;
- III. Escolha um representante entre eles para ficar responsável por expor rapidamente, *no início do encontro seguinte*, os pontos debatidos e por eles elencados.

Tempo médio: 20 minutos.

2.3 Encontro 02: eletrização por atrito e por contato

Realização de experimentos simples com materiais de baixo custo para observar e diferenciar processos de eletrização.

- Os objetivos gerais:
 - Evidenciar a repulsão e a atração elétrica;
 - Apresentar o conceito de carga elétrica;
 - Diferenciar corpo neutro de corpo eletrizado;
 - Apresentar, experimentalmente, o comportamento condutor e isolante dos materiais com relação à eletricidade.

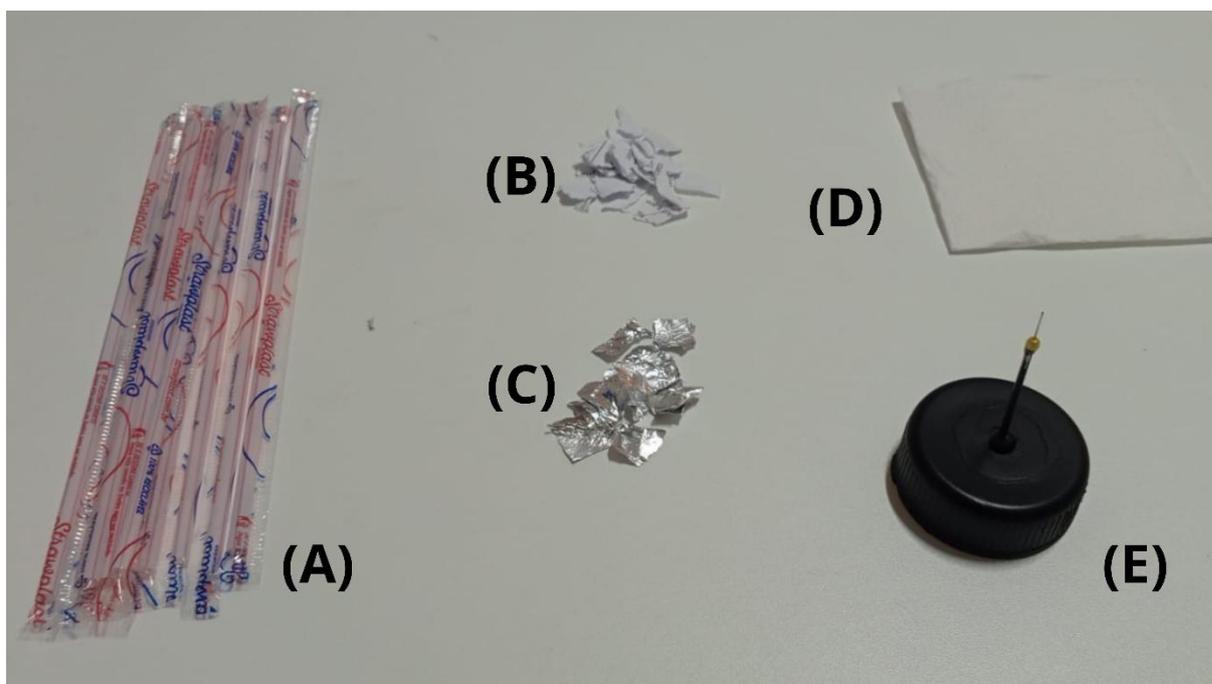
- Etapas da aula:

1º MOMENTO: o professor organiza para que os alunos façam a apresentação dos resultados da atividade proposta no encontro anterior.

Tempo médio: 20 minutos.

2º MOMENTO: nessa etapa da aula o professor realizará quatro experimentos simples relacionados a eletrização por atrito. Os materiais utilizados estão mostrados na figura 1.

Figura 1 - Eletrização por atrito: materiais utilizados



Fonte: Autoria própria (2025).

Nessa figura tem-se:

- (A) Canudos plásticos;
- (B) Papel comum picotado (folha de caderno);
- (C) Papel alumínio picotado (papel alumínio de uso comumente culinário);
- (D) Folha de papel toalha;
- (E) Base de apoio feita com tampa de garrafão de água de 20 litros (preenchida com gesso para dar mais estabilidade) e com um alfinete colado em seu centro.

A tabela 1 descreve cada experimento que o professor realizará, bem como os materiais utilizados, a ordem lógica de aplicação de cada experimento e o objetivo geral que se pretende alcançar ao se aplicar cada um deles.

Tabela 1 - Experimentos realizados no encontro 02

	DESCRIÇÃO DO PROCEDIMENTO	OBJETIVOS
1° EXPERIMENTO	Primeiramente, um canudo plástico não eletrizado deve ser aproximado tanto do papel comum quanto do papel alumínio. Logo em seguida, mas agora atritando-o previamente com papel toalha , o canudo deverá ser aproximado (sem encostar) dos pedaços de papel comum e depois dos pedaços de papel alumínio.	Evidenciar a atração elétrica em condutores (papel alumínio) e isolantes (papel comum).
2° EXPERIMENTO	Um canudo plástico não eletrizado deve ser colocado em equilíbrio estático sobre o alfinete da base de apoio. Em seguida, um segundo canudo (também não eletrizado) deve ser aproximado do primeiro, sem encostar.	Verificar a inexistência de atração elétrica entre corpos neutros.
3° EXPERIMENTO	O canudo que estava inicialmente neutro sobre a base de apoio será atritado com papel toalha nas proximidades de apenas uma de suas extremidades e <i>colocado novamente em equilíbrio estático sobre base</i> . Em seguida, o segundo canudo (ainda não eletrizado) será aproximado, sem encostar, das extremidades do canudo apoiado sobre a base.	Observar que apenas umas das extremidades do canudo sobre a base consegue ser atraída pelo canudo.
4° EXPERIMENTO	Mantendo-se a configuração do canudo sobre a base utilizada no 3° experimento, o segundo canudo (o fora da base de apoio) será atritado também com o papel toalha e novamente aproximado das duas extremidades do primeiro sem encostar.	Observar o fenômeno da <i>atração</i> com a extremidade não atritada do canudo da base e a <i>repulsão</i> com a extremidade atritada .

Fonte: Autoria própria (2025).

- Comentários adicionais sobre cada experimento:

O **1° experimento** mostrará aos alunos que os pedaços de papel só conseguirão ser “puxados” (atraídos) pelo canudo quando este for previamente atritado com o papel toalha, independentemente do tipo de papel (tanto o comum quanto o de alumínio).

No **2° experimento**, ao aproximar um canudo não eletrizado do canudo sobre o alfinete (também não eletrizado) os alunos perceberão que não há nem atração nem repulsão.

No **3º experimento**, como *apenas metade do canudo sobre a base de apoio* foi previamente atritado com o papel toalha e sendo um canudo de material isolante, ao se aproximar **o canudo ainda não eletrizado** das extremidade do canudo apoiado, **apenas a extremidade previamente atritada** será atraída pelo canudo de fora da base de apoio, a outra extremidade não será atraída nem repelida.

Baseado no que observaram no 1º experimento, eles esperavam que após ser atritado, mesmo que em apenas uma extremidade, o canudo sobre a base de apoio seria atraído de qualquer forma, tanto por uma extremidade quanto por outra.

A principal contribuição desse experimento será a de **construir um contexto** para que o conceito de condutores e isolantes elétricos seja desenvolvido posteriormente.

Por fim, o **4º experimento** deve aproveitar toda a construção do 3º, porém, com a diferença de que o canudo que foi aproximado da base de apoio também será atritado previamente. Nessa situação um novo fenômeno será observado: **a repulsão elétrica**.

Tempo médio: 40 minutos.

3º MOMENTO: embasados tanto pelo que foi apresentado no documentário assistido no primeiro encontro quanto nos fenômenos observados e discutidos nos experimentos desse encontro, essa etapa da aula o professor deverá dedicada à **formalização dos conceitos e definições** iniciais da eletrostática.

Para isso recomenda-se utilizar computador, data show e/ou lousa branca. A tabela 2 mostra os conceitos e definições a serem formalizados.

Tempo médio: 40 minutos.

Tabela 2 - Conteúdos formalizados no encontro 02

CONTEÚDOS
Definição conceitual de carga elétrica.
Princípio da atração e repulsão.
Princípio da conservação da carga elétrica.
Quantidade de carga elétrica e noções gerais sobre a quantização da carga elétrica.
Definição conceitual básica de materiais condutores e isolantes elétricos.

Fonte: Autoria própria (2025).

2.4 Encontro 03: indução eletrostática

Demonstração e experimentação de indução com objetos do cotidiano, explorando a ideia de separação de cargas sem contato direto.

- Os objetivos gerais:
 - Apresentar a máquina eletrostática conhecida como eletróforo de Volta;
 - Utilizar o eletróforo de Volta para realizar experimentos com eletroscópios de pêndulo e de folha;
 - Descrever o processo de eletrização por contato e por indução.
- Etapas da aula:

1º MOMENTO: inicialmente o professor deverá realizar uma revisão geral dos conceitos apresentados e formalizados nos dois encontros anteriores. Essa revisão têm por objetivo recapitular rapidamente os principais tópicos abordados até o momento, logo, preferencialmente, deve ser feita de forma dialogada e sintética entre professor e classe.

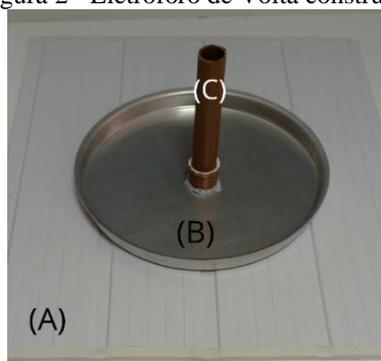
Tempo médio: 15 minutos.

2º MOMENTO: nessa etapa da aula o professor fará uma apresentação sucinta das partes que compõe o **eletróforo de Volta** e sua finalidade básica (máquina eletrostática). O eletróforo, bem como os materiais utilizados em sua construção (com materiais modernos e de fácil acesso), está mostrado na figura 2.

Na construção do eletróforo, conforme ilustra a figura 2, foram utilizados:

- (A) Uma placa quadrada de lado 40 cm feita com **forro de PVC**;
- (B) Uma **bandeja de alumínio** para pizza com diâmetro de aproximadamente 26 cm;
- (C) Cabo isolante: 20 cm de **cano PVC** para água de bitola 25 mm (ou $\frac{3}{4}$ " e um CAP tampão correspondente a mesma bitola. O cano foi encaixado no tampão por pressão e o conjunto foi fixado à bandeja de pizza utilizando cola quente.

Figura 2 - Eletróforo de Volta construído



Fonte: Autoria própria (2025).

Tempo médio: 10 minutos.

3º MOMENTO: o professor realizará três experimentos a fim de se demonstrar a utilização do eletróforo de Volta como um gerador de eletricidade estática. A tabela 3 descreve **a ordem** das etapas do processo de carregamento do eletróforo que será feito **antes de cada experimento**.

Tabela 3 - Carregamento do eletróforo

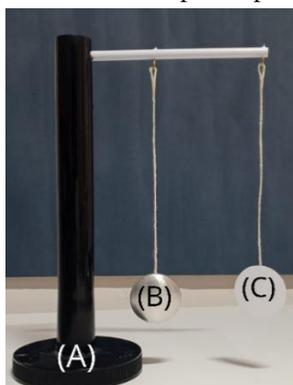
ETAPA	PROCEDIMENTO
1 ^a	Toda a base quadrada do eletróforo (feita com forro de PVC) deverá ser atritada vigorosamente com uma folha de caderno (ou papel toalha)
2 ^a	A bandeja de pizza deverá ser colocada sobre o forro de PVC, agora eletrizado , utilizando-se o cano (isolante) colado à ela como suporte para manuseio nessa colocação.
3 ^a	<i>Com a bandeja sobre o forro de PVC, deverá ser encostada por alguns instantes</i> (cerca de 3 ou 4 segundos) a ponta dos dedos de uma das mãos diretamente na parte de cima da bandeja (a face que não estava em contato direto com o forro). Esses toques com a ponta dos dedos devem ser repetidos algumas vezes sucessivas (cerca de 3 ou 4 vezes).
4 ^a	Por fim, utilizando-se novamente o cano como suporte para o manuseio , a forma de pizza deverá ser retirada de cima do forro de PVC para que ela possa ser utilizada no experimento.

Fonte: Autoria própria (2025).

Os parágrafos a seguir descrevem os experimentos realizados na ordem em que foram aplicados.

EXPERIMENTO 1: *Eletroscópio de pêndulo*. A figura 3 mostra o eletroscópio de pêndulo que deverá ser construído para a realização desse experimento.

Figura 3 - Eletroscópio de pêndulo



Fonte: Autoria própria (2025).

Na construção do eletróforo, conforme ilustra a figura 3, foram utilizados:

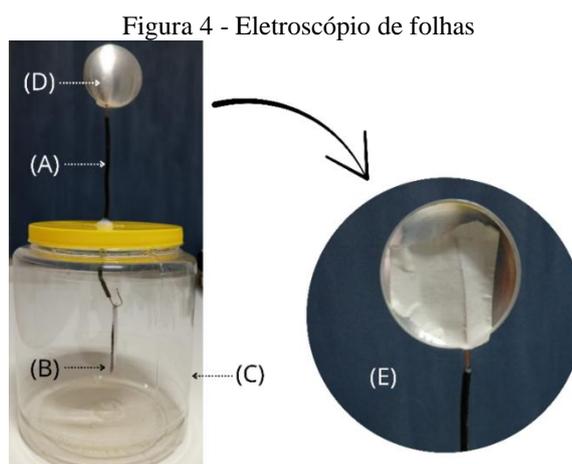
- (A) SUPORTE DO PÊNDULO: a base redonda é uma tampa de embalagem plástica de aproximadamente 11 cm de diâmetro; a haste vertical fixada à tampa (com cola quente) é um pedaço de cano para água de aproximadamente 35 cm de comprimento (pintado de preto); a haste branca onde se pendura os pêndulos (através de pequenos parafusos ganchos) foi feita com um tubo de plástico de 12 cm de comprimento e aproximadamente 1 cm de diâmetro.
- (B) PÊNDULO METÁLICO: disco de alumínio de aproximadamente 5 cm de diâmetro (**fundo de uma latinha de refrigerante**) preso à um barbante de 20 cm de comprimento.
- (C) PÊNDULO DE PAPEL: disco de papel cartão branco (também de 5 cm de diâmetro) preso à um barbante de 20 cm de comprimento.

Inicialmente **o professor deverá introduzir o conceito de eletroscópio** com os alunos, bem como a sua finalidade prática. Logo em seguida dois testes devem ser realizados:

- I. A bandeja de pizza deverá ser aproximada (sem encostar) dos pêndulos **antes de ser eletrizada**;
- II. Depois de ser realizada a eletrização descrita na tabela 3 a bandeja deverá ser aproximada (sem encostar) novamente dos dois pêndulos.

Nesse experimento os alunos poderão observar pela primeira vez *o processo de carregamento do eletróforo de Volta*. É importante que o professor deixe claro durante essa exposição que, **a princípio**, um eletroscópio eles não informam o tipo de carga presente num corpo, mas sim, apenas se ele está ou não carregado.

EXPERIMENTO 2: Eletroscópio de folhas. A figura 4 mostra o eletroscópio de folhas que deverá ser construído para a realização desse experimento.



Fonte: Autoria própria (2025).

Na construção do eletróforo, conforme ilustra a figura 19, foram utilizados:

- (A) Fio de cobre do **tipo rígido**;
- (B) Duas folhas de alumínio retangulares de dimensões 1,5 x 6,0 cm. Essas lâminas podem ser feitas com latinhas de refrigerante;
- (C) Pote cilíndrico de plástico com tampa. As dimensões do recipiente são, aproximadamente, 17 cm de altura e 14 cm de diâmetro.
- (D) Fundo circular de alumínio de aproximadamente 5 cm de diâmetro (mesma peça utilizada no pêndulo mostrado na figura 3).
- (E) Mostra como a placa circular de alumínio (*D*) foi posta em contato e fixada ao fio de cobre (**desencapado nessa região**).

Após o eletroscópio de folhas ser apresentado aos alunos, bem como a descrição de cada parte componente e material utilizado, sugere-se ao professor que realize a seguinte sequência de demonstrações:

- I. Após o processo de carregamento descrito na tabela 3 ser realizado, aproximar (sem encostar) a bandeja de pizza da parte (*D*) do eletroscópio por alguns segundos e logo em seguida afastá-la;
- II. Repetindo várias vezes o processo de carregamento mostrado na tabela 3, **a fim de se fazer com que a bandeja de pizza adquira muito mais carga elétrica** do que a demonstração anterior, aproximar novamente a bandeja de pizza (sem encostar) da parte (*D*) do eletroscópio por alguns segundos e logo em seguida afastá-la;
- III. Por fim, encostar a bandeja de pizza previamente carregada na parte (*D*) do eletroscópio de folhas várias vezes, de tal forma que a cada contato estabelecido as folhas (*B*) se afastem cada vez mais. Feito isso, o eletroscópio deverá ser descarregado tocando com a ponta dos dedos em (*D*).

Nas demonstrações (I) e (II) os alunos poderão observar que as folhas metálicas (*B*), mesmo estando dentro do pote de plástico fechado, podem sofrer o efeito da aproximação da bandeja de pizza carregada: **elas se afastavam uma da outra**. Além disso, poderão observar também que o fato da bandeja de pizza estar mais carregada na etapa (II) faz com que essa influência possa ser percebida a uma distância maior do eletroscópio.

Na demonstração (III) eles poderão perceber que após o contato entre a bandeja de pizza e o eletroscópio, **as folhas não voltam à situação de repouso na vertical**, e que **o afastamento entre elas tende a aumentar a cada novo contato com a bandeja de pizza recarregada**.

Tempo médio: 30 minutos.

4º MOMENTO: tendo como principal subsídio os experimentos realizados na etapa anterior, o professor dedicará o resto desse encontro à formalização dos principais conceitos trazidos à tona com essa experimentação. A tabela 4 mostra uma sugestão dos conceitos e definições a serem formalizados. Para isso recomenda-se utilizar computador, data show e/ou lousa branca.

Tabela 4 – Conteúdos formalizados no encontro 03

CONTEÚDOS
Descrição do processo de eletrização por contato em esferas metálicas idênticas.
Conceito geral de indução eletrostática.
Eletrização por indução.
Explicação formal do princípio de funcionamento do eletróforo de Volta.

Fonte: Autoria própria (2025).

Tempo médio: 45 minutos.

2.5 Encontro 04 : Lei de Coulomb

Atividades experimentais para explorar a interação entre cargas elétricas, relacionando as observações qualitativas com a formulação matemática.

- Os objetivos gerais:
 - Apresentar a balança de torção de Coulomb;
 - Apresentar a lei de Coulomb para a eletrostática ;
 - Aplicar um mini simulado contemplando todo o conteúdo abordado do encontro 01 ao encontro 04;
 - Realizar uma revisão geral a partir da correção do mini simulado aplicado.

- Etapas da aula:

1º MOMENTO: assim como no início do encontro anterior, sugere-se que o professor realize uma revisão geral dos conceitos apresentados no encontros anteriores.

Tempo médio: 10 minutos.

2º MOMENTO: com a finalidade de se construir um **contexto prático** para a apresentação da lei de Coulomb, bem como o princípio de sua balança de torção, o pêndulo mostrado na figura 3 será utilizado novamente pelo professor para a realização de um experimento que servirá como **subsunçor** para abordagem da balança de torção de Coulomb.

Além do pêndulo já citado, o professor precisará também de canudos plásticos e folha de papel toalha (ou folha de caderno). A tabela 5 descreve o experimento realizado.

Tabela 5 – Experimento com pêndulo eletrostático (encontro 04)

PROCEDIMENTO	
1° Passo	Ainda neutro , o canudo plástico deverá ser aproximado do pêndulo e instantes depois afastado.
2° Passo	Primeiramente o canudo plástico deverá ser atritado vigorosamente com o papel toalha. Logo em seguida, deverá ser aproximado lentamente do pêndulo (sem permitir o contato direto entre eles).

Fonte: Autoria própria (2025).

Apesar desse experimento já ter sido realizado no encontro anterior, porém, não utilizando canudos plásticos, mas sim o eletróforo de Volta, nesse momento o professor deve utilizar o experimento do eletroscópio de folhas **dando uma ênfase especial** ao efeito da quantidade de cargas na **deflexão** do barbante do pêndulo. Com isso, um contexto prévio para a apresentação da balança de torção e para a formalização da lei de Coulomb será construído.

Tempo médio: 20 minutos.

3° MOMENTO: esse momento da aula deve ser dedicado à apresentação da balança de torção de Coulomb. Apesar de ser possível construir uma balança dessas com material de baixo custo, **sugere-se** que seja apresentado aos alunos um vídeo com uma animação em 3D da balança. Isso irá otimizar a aula.

- **Sugestão de vídeo:**

<https://www.youtube.com/watch?v=JfvWB7uBZ9k>

Baseado nessa animação e relacionando com os princípios observados no momento anterior, sugere-se que o professor formalize a lei de Coulomb para cargas puntiformes.

Tempo médio: 20 minutos.

4° MOMENTO: com o intuito de se consolidar e revisar a maioria dos conceitos vistos até então, sugere-se que o professor organize os alunos e **aplique um mini simulado** contendo 6 questões (no máximo). É interessante que os alunos façam essa atividade individualmente e sem consulta, e dentro de um intervalo de tempo de, **no máximo**, 25 minutos. O simulado utilizado na primeira aplicação dessa sequência didática encontra-se no APÊNDICE 1 a título de exemplificação e sugestão para essa abordagem.

Tempo médio: 25 minutos.

5° MOMENTO: nessa etapa final da aula o professor deve corrigir e debater com os alunos todas as questões do mini simulado aplicado. Cada exercício proposto, preferencialmente, precisa ser detalhadamente discutido para que possa ser utilizado tanto como uma revisão geral quanto como um termômetro para o professor com relação aos alunos.

Tempo médio: 25 minutos.

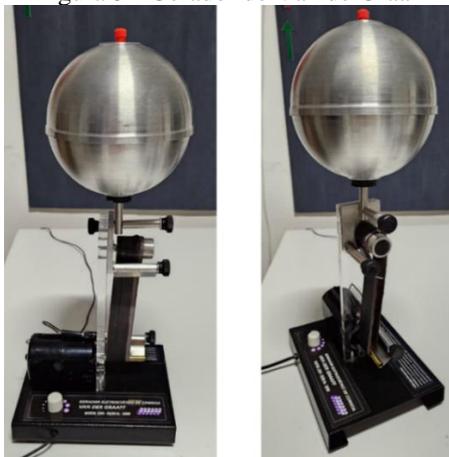
2.6 Encontro 05: campo elétrico

Utilização de recursos visuais e experimentais para representar o campo elétrico, discutindo linhas de força e intensidade do campo.

- Os objetivos gerais:
 - Apresentar o gerador de Van de Graaff e investigar os princípios físicos de seu funcionamento;
 - Introduzir o conceito de campo elétrico;
 - Apresentar experimentalmente o princípio da blindagem eletrostática.
- Etapas da aula:

1° MOMENTO: nesse primeiro deve dedicar à apresentação das principais partes constituintes do gerador de Van de Graaff. A figura 5 mostra o gerador utilizado.

Figura 5 - Gerador de Van de Graaff



Fonte: Autoria própria (2025).

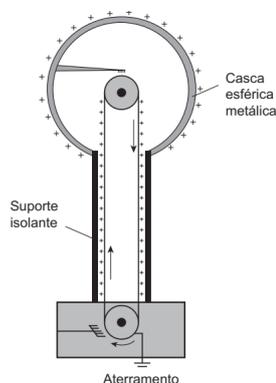
Para a primeira aplicação dessa sequência didática o gerador mostrado na figura 5 foi comprado através do site do Mercado Livre. Na época o investimento foi na faixa dos R\$ 900. Apesar de não ser um investimento tão barato, o gerador de Van de Graaff pode ser utilizado

em inúmeras práticas. A escolha de comprar o gerador ao invés de construí-lo (*podendo esse processo de construção ter sido utilizado como uma etapa da sequência didática*) foi otimizar o tempo para uma melhor abordagem dos conceitos físicos dessa sequência. Como mostra a figura 5, esse gerador possui uma esfera metálica de 15 cm de diâmetro, um motor de 1/8 HP, potência de 100 W e tensão de 220 v.

Tempo médio: 10 minutos.

2º MOMENTO: após a apresentação geral do equipamento, o professor precisará fazer uma exposição teórica para explicar o princípio físico de funcionamento do **gerador tendo como base os métodos de eletrização vistos nos encontros anteriores:** atrito, contato e indução. Como uma sugestão para facilitar essa exposição, a figura 6 mostra um esquema de um gerador de Van de Graaff em perspectiva transversal.

Figura 6 – Esboço prático do gerador



Fonte: Autoria própria (2025).

Tempo médio: 20 minutos.

3º MOMENTO: Nessa etapa da aula o professor realizará dois experimentos utilizando o gerador como fonte de eletricidade. Esses experimentos estão descritos nos próximos parágrafos.

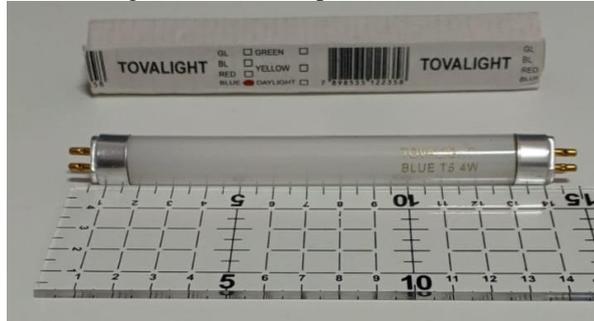
EXPERIÊNCIA 1: para essa primeira experiência, além do gerador mostrado na figura 5 também será necessária uma pequena lâmpada fluorescente, conforme mostra a figura 7.

Essa lâmpada pode ser comprada através do site da *Shopee*, com um custo médio de R\$ 20,00. Conforme mostra a figura 7 essa lâmpada é do tipo: tubular fluorescente T5 G5 de 4 W azul e com 15 cm de comprimento.

Primeiramente o professor precisa deixar o ambiente da sala o mais escuro possível para uma melhor visualização dos fenômenos. Em seguida, com o gerador de Van de Graaff ligado,

a mini lâmpada fluorescente deve ser aproximada lentamente do gerador, porém, sem encostar no mesmo. A figura 8 exemplifica essa prática. Nesse experimento os alunos poderão observar tanto faíscas sendo trocadas entre o gerador e a lâmpada quanto a própria *lâmpada acendendo parcialmente, mesmo sem estar conectada a fios.*

Figura 7 - Mini lâmpada fluorescente



Fonte: Autoria própria (2025).

EXPERIÊNCIA 2: nessa experiência, além do gerador mostrado na figura 5, também será utilizado o eletroscópio de folhas (figura 3) apresentado no encontro 03.

Com o gerador de Van de Graaff ligado, o eletroscópio de folhas deverá ser aproximado e afastado lentamente do mesmo, assim como no experimento anterior, **sem tocar** no mesmo. A figura 9 exemplifica essa prática.

Figura 8 - Lâmpada e gerador



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 9 - Eletroscópio e gerador



Fonte: Autoria própria (2025).

Com esses experimentos os alunos poderão observar o efeito produzido pelo gerador ao seu redor (**campo elétrico**) *através da abertura das folhas do eletroscópio*: as folhas tenderão a abrir mais quanto mais próximo o eletroscópio estiver do gerador.

Outro ponto importante que poderá ser observado é que, mesmo sem ter havido um contato direto e afastando o eletroscópio do gerador, as folhas permanecerão levemente afastadas, ou seja, o eletroscópio poderá ser eletrizado mesmo sem o contato direto com a esfera do gerador. Essa observação bem como as possíveis faíscas que por ventura saltem de um objeto para outro formará um contexto prévio para a abordagem futura dos conceitos de poder das pontas e rigidez dielétrica.

Tempo médio: 20 minutos.

4º MOMENTO: após a realização dos experimentos descritos anteriormente, sugere-se que o professor formalize os principais conceitos trazidos à tona com essa experimentação. A tabela 5 mostra uma sugestão dos conceitos e definições que podem ser formalizados. Para isso recomenda-se utilizar computador, data show e/ou lousa branca.

Tabela 5 – Conteúdos formalizados no encontro 05

CONTEÚDOS
Conceito de campo elétrico.
Principais características do vetor campo elétrico.

Definição de linhas de campo elétrico.
Campo elétrico gerado por carga puntiforme.

Fonte: Autoria própria (2025).

Tempo médio: 40 minutos.

5° MOMENTO: para finalizar esse encontro o professor realizará um experimento simples e rápido cuja finalidade básica é construir um contexto prático para um conceito que será abordado no início do próximo (último) encontro: o da **blindagem eletrostática**. Para esse experimento o professor precisará de cerca de 40 cm de **papel alumínio** (o de uso culinário comum) e uma caixa de sapato (papelaço) com tampa. Inicialmente, sugere-se que o professor solicite *dois alunos voluntários* que possuam telefone celular. Etapas desse experimento:

1° PASSO: peça que um dos voluntários faça uma ligação telefônica para o outro. O que irá receber a ligação deve estar com o **modo silencioso** do telefone **desligado** e o que irá realizar a ligação deve estar com o **modo viva voz ligado**. Uma primeira ligação foi efetuada.

2° PASSO: para uma segunda ligação, solicite ao voluntário portador do *celular que irá receber a ligação* que ele **embrulhe completamente** seu telefone **com papel alumínio**. Uma vez devidamente embrulhado, a nova ligação deve ser efetuada.

3° PASSO: Uma terceira ligação deverá ser feita, porém, ao invés de embrulhar previamente o celular em papel alumínio, ele deve apenas ser colocado dentro da caixa de sapato. Após tampar a caixa uma nova ligação deve ser efetuada.

Os alunos poderão perceber que no caso em que o celular for embrulhado no papel alumínio, e apenas nele, a ligação não conseguirá ser completada. **Sem fornecer nenhuma explicação explícita sobre o fenômeno observado**, no caso o da blindagem eletrostática, pois **o intuito desse momento é apenas o de despertar a curiosidade dos alunos**, o professor deverá encerrar o encontro.

Tempo médio: 10 minutos.

2.7 Encontro 06: síntese e avaliação da aprendizagem

Revisão dos conceitos abordados, aplicação de atividades de sistematização e avaliação final dos avanços dos alunos.

- Os objetivos gerais:

- Apresentar o conceito de blindagem eletrostática;
 - Introduzir o conceito de potencial elétrico;
 - Apresentar uma biografia geral de Michael Faraday.
- Etapas da aula:

1° MOMENTO: o professor lembrará rapidamente o experimento realizado no final do último encontro (se possível, reproduzi-lo) e para reforçar essa ideia, apresenta um vídeo curto mostrando experimentos envolvendo o princípio da gaiola de Faraday com altas descargas elétricas. A seguir é fornecido um link com uma sugestão de vídeo que exemplifica essa abordagem.

- **Sugestão de vídeo:**

<https://www.youtube.com/watch?v=wIJXT8iVQ2w>

O vídeo acima sugerido mostra um rapaz dentro de uma gaiola metálica próximo a uma grande Bobina de Tesla (fonte das descargas elétricas). Após a bobina ser ligada uma grande descarga elétrica incide sobre a gaiola, porém, sem provocar nenhum dano material ao rapaz. Esse vídeo foi gravado numa exposição ocorrida no Centro de Eventos da PUC-RS.

Tempo médio: 5 minutos.

2° MOMENTO: após a abordagem anterior, sugere-se que o professor mostre um vídeo ilustrado o poder das pontas (para-raios, por exemplo), bem como aproveite o ensejo para abordar o processo básico de carregamento das nuvens na formação de raios e relâmpagos. A seguir é fornecido um link com uma sugestão de vídeo que exemplifica essa abordagem.

- **Sugestão de vídeo:**

https://www.youtube.com/watch?v=oiQoXAKC_9A

Tempo médio: 10 minutos.

3° MOMENTO: Após a exposição dos vídeos, o professor fará a última formalização de conceitos e definições dessa sequência didática. A tabela 6 mostra uma sugestão dos conceitos e definições a serem formalizados.

Tabela 6 – Conteúdos formalizados no encontro 06

CONTEÚDOS
Conceito de blindagem eletrostática.
Conceito de poder das pontas.

Definição conceitual de potencial elétrico.
Definição básica sobre superfícies equipotenciais.

Fonte: Autoria própria (2025).

Para essa parte expositiva de conteúdo recomenda-se utilizar computador, data show e/ou lousa branca.

Tempo médio: 25 minutos.

4º MOMENTO: para finalizar a aplicação dessa sequência didática o professor exibirá o episódio 10 (*O Rapaz Elétrico*) da série *Cosmos de (2014)*. Esse episódio pode ser encontrado em vários sites da internet para visualização online, porém, para a primeira aplicação dessa sequência foi utilizado um DVD próprio com o original da série. O link a seguir é uma sugestão que pode ser utilizada em sala de aula (assistir de forma online).

- **Sugestão de vídeo:**

<https://www.dailymotion.com/video/x7utb46>

Esse episódio possui uma duração de cerca de 40 minutos e explora as principais descobertas de Michael Faraday e o contexto histórico das suas experiências, apresentando-o como um pioneiro essencial para o desenvolvimento da eletrônica e da geração de energia.

O objetivo principal de se finalizar a essa sequência didática com uma breve apresentação da biografia científica de Michael Faraday é o de fomentar a curiosidade dos alunos sobre o desenvolvimento do estudo da eletricidade que ocorreria posteriormente, principalmente a partir do século XIX.

Após uma breve retrospectiva dos principais conceitos desenvolvidos nos encontros anteriores e fazendo uma conexão direta com o que foi apresentado no episódio da série *Cosmos*, o professor poderá encerrar esse último encontro.

Tempo médio: 60 minutos.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao implementar esta sequência didática em sua prática docente, você encontrará uma proposta pedagogicamente estruturada para abordar o conteúdo de Eletrostática de forma significativa e contextualizada. A sequência foi concebida para ser aplicada em seis encontros de 100 minutos cada, totalizando 12 aulas, organizados em uma progressão lógica que integra contextualização histórica, experimentação e formalização conceitual.

Para obter os melhores resultados com esta proposta, recomenda-se que, antes da aplicação, realize-se todos os experimentos previamente, testando os materiais e adaptando-os às condições específicas de sua escola. É particularmente importante verificar as condições de umidade do ambiente, pois este fator pode afetar significativamente os resultados dos experimentos eletrostáticos. Prepare os materiais com antecedência: canudos plásticos, papéis, folhas de alumínio, garrafas PET e pedaços de PVC para a construção do eletróforo e dos eletroscópios.

No primeiro encontro, inicie pela exibição do episódio da série BBC sobre a história da eletricidade, seguido do fichamento em grupo. Esta atividade servirá como diagnóstico inicial e organizador prévio, permitindo identificar os conhecimentos prévios dos estudantes enquanto os contextualiza historicamente. Nos encontros seguintes, a sequência experimental foi planejada para que cada atividade construa sobre a anterior, portanto, respeite a ordem proposta para garantir a progressão conceitual adequada.

Durante a aplicação, esteja atento ao tempo dedicado a cada etapa. A experiência mostra que as discussões que emergem dos experimentos podem ser ricas e prolongadas, portanto, seja flexível, mas mantenha o foco nos objetivos de cada encontro. Incentive a participação ativa dos estudantes na montagem dos experimentos e na discussão dos resultados, pois é através desse engajamento que se constrói uma aprendizagem significativa.

Para a avaliação, utilize os instrumentos propostos - os fichamentos, a resolução do simulado e principalmente a observação das discussões em grupo. Estes momentos fornecerão evidências valiosas sobre a compreensão conceitual dos estudantes e permitirão ajustes na abordagem durante o processo.

Esta sequência didática oferece uma alternativa viável e eficaz para o ensino de Eletrostática, mesmo em contextos com recursos limitados. Ao aplicá-la, você estará contribuindo para um ensino de Física mais significativo, investigativo e contextualizado, que pode ser adaptado e aprimorado conforme suas necessidades e realidade específica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

5VOLTS. *Lei de Coulomb*. Disponível em: <https://5-volts.blogspot.com/2016/07/lei-de-coulomb.html>. Acesso em: 26 jul. 2025.

AUSUBEL, David Paul. *Aquisição e retenção de conhecimentos: uma perspectiva cognitiva*. Lisboa: Plátano, 1980.

BASÍLIO, Ricardo Ferreira. *Curiosidade da Física: organizadores prévios como estratégia facilitadora da aprendizagem significativa de Física*. 2022. 145 f. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física) – Universidade Federal de Goiás, Regional Catalão, Catalão, 2022.
Disponível em: <https://mnpef.catalao.ufg.br/p/12456-dissertacoes>. Acesso em: 12 maio 2025.

BASTOS, Klessia Santos. *Laboratório móvel de eletrostática, usando materiais de baixo custo como recurso: uma sequência didática para os ensinamentos fundamental e médio*. 2022. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física) – Instituto de Física, Universidade Federal do Pará, Belém, 2022.

BRASIL. Ministério da Educação. *Base Nacional Comum Curricular*. Brasília: MEC, 2018.

CARDOSO, F. M. *História da Física: da Antiguidade ao Renascimento*. São Paulo: Edusp, 2010.

CASTRO, Luis Henrique Monteiro de. *O uso do Arduino e do Processing no ensino de Física*. 2021. 101 f. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física) – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2021.
Disponível em: <https://www.unirio.br/mnpef/dissertacoes>. Acesso em: 25 maio 2025.

COSTA, Ismael. *Lei de Coulomb*. 5 out. 2020. 1min24s. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=JfvWB7uBZ9k>. Acesso em: 11 ago. 2025.

ELEPOT/UFRJ. *Esquema do experimento de Oersted*. Disponível em: <https://www.coe.ufrj.br/~acmq/oden1.jpg>. Acesso em: 26 jul. 2025.

FARADAY, Michael. *A história química de uma vela; As forças da matéria*. Tradução de Vera Ribeiro. Rio de Janeiro: Contraponto, 2007.

FÍSICA DO ELETROMAGNETISMO. *Eletromagnetismo*. Disponível em: <https://fisicaeletromagnetismo.wordpress.com/2014/02/11/eletromagnetismo/>. Acesso em: 26 jul. 2025.

GASPAR, Alberto. *Compreendendo a Física 3: eletricidade e magnetismo*. 2. ed. São Paulo: Ática, 2016. v. 3.

GILBERT, William. *De Magnete, Magneticisque Corporibus, et de Magno Magnete Tellure*. Londres: Peter Short, 1600.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. *Fundamentos de Física: eletromagnetismo*. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012. v. 3.

HEFFELMANN, Mauri. *A história da eletricidade*. Ep. 1: *A faísca*. 5 jun. 2017. 58min58s. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=rAqUvE97iCU&list=PLUBigACPha230HIU4-DnKP9lZbro-Zpl&index=3>. Acesso em: 1 ago. 2025.

HEWITT, Paul G. *Física conceitual*. 11. ed. Porto Alegre: Bookman, 2011.

KNIGHT, Randall D. *Física: uma abordagem estratégica*. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2009. v. 3.

KUHN, Thomas S. *A estrutura das revoluções científicas*. 12. ed. São Paulo: Perspectiva, 2013.

LIMA, Carina Cristina Oliveira de. *Ensino por investigação utilizando brinquedos em busca de uma aprendizagem significativa: energia mecânica*. 2024. 118 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2024. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/15748>. Acesso em: 4 jun. 2025.

LISBOA, Madison Cleiton Barbosa. *Unidade de ensino potencialmente significativa como instrumento para o ensino de Física: a eletrostática baseada em situações cotidianas e aprendizagem significativa*. 2022. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2022.

MACHADO, Kleber D. *Teoria do eletromagnetismo I*. 1. ed. Ponta Grossa: UEPG, 2000. v. 1.

MATTHEWS, Michael R. *Science teaching: the role of history and philosophy of science*. New York: Routledge, 1994.

MÁXIMO, Antônio R. D. L.; ALVARENGA, Beatriz Á.; GUIMARÃES, Carla D. C. *Física: contextos & aplicações*. 2. ed. São Paulo: Scipione, 2016. v. 3.

MOREIRA, Marco Antonio. *Aprendizagem significativa*. Brasília: Editora da UnB, 2012.

MUSEU INTERATIVO DA FÍSICA. *Garrafa de Leyden*. Disponível em: <https://minf.ufpa.br/garrafa-de-leiden>. Acesso em: 26 jul. 2025.

NATIONAL MAGLAB. *Electrostatic generator (1706)*. Disponível em: <https://nationalmaglab.org/magnet-academy/history-of-electricity-magnetism/museum/electrostatic-generator-1706/>. Acesso em: 26 jul. 2025.

NUSSENZVEIG, Herch Moysés. *Curso de física básica. Volume 3: eletromagnetismo*. São Paulo: Edgard Blücher, 1997.

OLIVEIRA, M. F. *Proposta de experimentos de baixo custo para o ensino de Física: uma abordagem criativa e acessível*. 2024. 110 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2024.

Disponível em:

<https://www.repositorio.ufal.br/bitstream/123456789/14816/1/Proposta%20de%20experiment>

os%20de%20baixo%20custo%20para%20o%20ensino%20de%20f%C3%ADsica%20uma%20abordagem%20criativa%20e%20acess%C3%ADvel.pdf. Acesso em: 14 jul. 2025.

PAIVA, Raissa Freire Santos de. *O ensino de Ciências por investigação e a aprendizagem significativa de conceitos da Física no ensino fundamental*. 2023. 132 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Ciências) – Universidade Estadual de Goiás, Anápolis, 2023.

Disponível em: <https://www.bdttd.ueg.br/handle/tede/1355>. Acesso em: 18 maio 2025.

PIRES, Antonio S. T. *Evolução das ideias da Física*. 2. ed. São Paulo: Livraria da Física, 2011.

ROCHA, L. S. *Laboratório experimental de baixo custo para o ensino de Física*. 2020. 127 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2020.

Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/57062>. Acesso em: 7 jun. 2025.

SANTOS, Willian; MORTIMER, Eduardo Fleury. Como trabalhar com história da ciência em sala de aula. *Ciência & Educação* (Bauru), v. 8, n. 2, p. 131–144, 2002. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1516-73132002000200008>.

SILVA, Christie Costa. *Proposta de sequência didática para eletromagnetismo com foco em aprendizagem significativa utilizando laboratório de baixo custo*. 2024. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física) – Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2024.

UFPR TV. *Poder das pontas*. 4 mai. 2016. 4min10s. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=oiQoXAKC_9A. Acesso em: 29 ago. 2025.

ZEROCOOLBR. *Thiago na gaiola de Faraday*. 5 jul. 2013. 25s. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=wIJXT8iVQ2w>. Acesso em: 29 ago. 2025.

APÊNDICE A – EXEMPLO DE MINI SIMULADO

MINI SIMULADO APLICADO



ESTUDANTE:

SÉRIE: 1º ANO (A)(B)

DATA: / / 2025

LISTA DE EXERCÍCIOS



FÍSICA

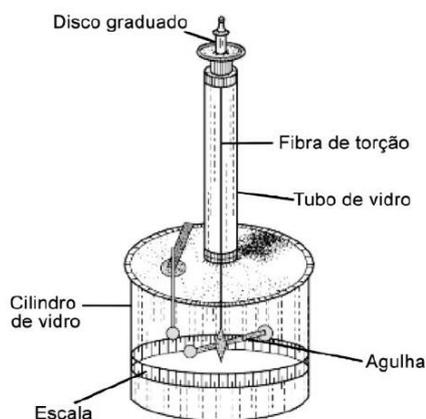
1º TRIMESTRE – SIMULADO 01

QUESTÃO 01 ■ Ao tirarmos uma camisa feita de material sintético, percebemos que ela se adere ao corpo atraindo, até mesmo, os pelos. Isso ocorre devido à eletrização por atrito, causada pelo movimento do corpo durante o uso da roupa.

A atração entre a camisa e o corpo ocorre porque o(a)

- A. corpo é eletrizado, mas a camisa perde sua carga.
- B. camisa possui uma distribuição de cargas uniforme.
- C. corpo e a camisa têm cargas de sinais opostos em excesso.
- D. camisa é eletrizada pelo ar, mas o corpo da pessoa, não.
- E. camisa e o corpo têm cargas de mesmo sinal em excesso.

QUESTÃO 02 ■ A balança de torção, usada por Charles de Coulomb para investigar a interação elétrica entre objetos, era composta por um tubo de vidro conectando um disco graduado a um cilindro de vidro. No interior do tubo, fixa ao disco graduado, havia uma fibra de torção suspendendo horizontalmente uma agulha que mantinha em suas extremidades esferas de metal. Uma terceira esfera, eletricamente carregada, era inserida no interior da balança através de um orifício na parte superior do cilindro. Uma escala circunscrita ao cilindro de vidro era usada para medir o ângulo de torção da fibra, como ilustrado.



No experimento ilustrado, a conclusão de Coulomb foi de que a força elétrica é

- A. dependente da torção do fio.
- B. análoga à força gravitacional.
- C. resultado da forma dos objetos.
- D. proporcional à soma das cargas.
- E. inversamente proporcional à distância.

QUESTÃO 03 ■ Em uma aula de Física, o professor Antônio decide fazer um experimento para seus alunos. Ele esfrega uma régua em um pedaço de seda, durante um certo intervalo de tempo e, depois, afirma que a seda adquiriu carga elétrica negativa.



Considerando essa informação, pode-se afirmar que, após a eletrização por

- A. A contato, a seda e a régua adquiriram cargas de sinais opostos.
- B. contato, a seda ganhou elétrons e a régua ganhou prótons.
- C. atrito, a seda perdeu elétrons e, por isso, adquiriu cargas negativas.
- D. atrito, a seda ganhou elétrons e, por isso, adquiriu cargas negativas.
- E. atrito, a seda perdeu prótons e, por isso, adquiriu cargas negativas.

PROF. VICTOR DUTRA

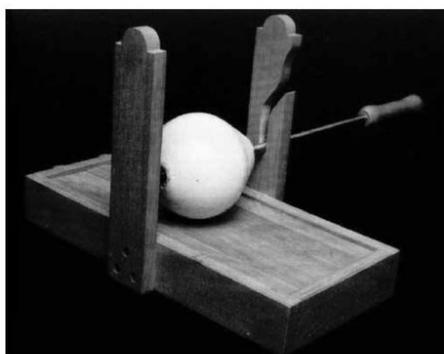
QUESTÃO 04 ■ Um balão de borracha é atritado com um papel. A seguir, ele é aproximado de um filete de água corrente. Observa-se que o filete é atraído em direção ao balão, como mostra a figura.



Nessa situação, o movimento do filete até o balão é explicado pelo(a)

- A. ar em movimento.
- B. eletrização por atrito.
- C. atração gravitacional.
- D. fenômeno da polarização.
- E. energia estática do balão.

QUESTÃO 05 ■ A máquina eletrostática mais primitiva foi desenvolvida por Otto von Guericke, por volta de 1663. A máquina consistia em uma esfera sólida de enxofre montada sobre um eixo de ferro, que se encaixava em um suporte em uma base de madeira, como mostra a figura. A esfera era girada pelo eixo com uma mão e, quando eletrizada, era retirada do suporte e usada para experimentos diversos, como perseguir uma pena, que era ora atraída, ora repelida pela esfera. Guericke, entretanto, não distinguia claramente o que era a eletricidade.

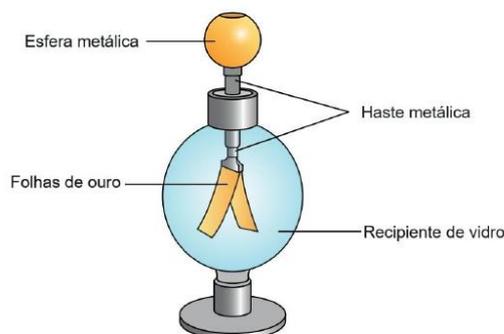


Disponível em: <www.coe.ufrj.br>. Acesso em: 3 dez. 2020 (Adaptação).

Qual o tipo de eletrização em que a máquina descrita se baseia?

- A. Atrito.
- B. Contato.
- C. Indução.
- D. Influência.
- E. Polarização.

QUESTÃO 06 ■ A figura a seguir representa uma versão do eletroscópio de folhas constituída por uma haste de metal, uma esfera metálica na extremidade externa e, internamente a um recipiente de vidro, duas folhas de ouro suspensas. Ao aproximar um bastão eletrizado desse dispositivo, as folhas de ouro apresentariam uma notável repulsão.



Caso a haste metálica fosse substituída por uma haste de borracha, ao aproximar um corpo eletrizado do dispositivo, a

- A. carga elétrica da esfera aumentaria.
- B. indução elétrica seria menos intensa.
- C. esfera metálica não sofreria indução elétrica.
- D. repulsão entre as folhas de ouro seria maior.
- E. repulsão entre as folhas de ouro seria imperceptível.

ANEXO A – MINI SIMULADO APLICADO

MINI SIMULADO APLICADO



ESTUDANTE:

SÉRIE: 1º ANO (A)(B)

DATA: / / 2025

LISTA DE EXERCÍCIOS



FÍSICA

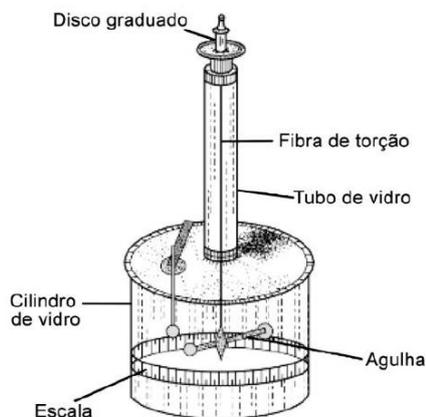
1º TRIMESTRE – SIMULADO 01

QUESTÃO 01 ■ Ao tirarmos uma camisa feita de material sintético, percebemos que ela se adere ao corpo atraindo, até mesmo, os pelos. Isso ocorre devido à eletrização por atrito, causada pelo movimento do corpo durante o uso da roupa.

A atração entre a camisa e o corpo ocorre porque o(a)

- Ⓐ. corpo é eletrizado, mas a camisa perde sua carga.
- Ⓑ. camisa possui uma distribuição de cargas uniforme.
- Ⓒ. corpo e a camisa têm cargas de sinais opostos em excesso.
- Ⓓ. camisa é eletrizada pelo ar, mas o corpo da pessoa, não.
- Ⓔ. camisa e o corpo têm cargas de mesmo sinal em excesso.

QUESTÃO 02 ■ A balança de torção, usada por Charles de Coulomb para investigar a interação elétrica entre objetos, era composta por um tubo de vidro conectando um disco graduado a um cilindro de vidro. No interior do tubo, fixa ao disco graduado, havia uma fibra de torção suspendendo horizontalmente uma agulha que mantinha em suas extremidades esferas de metal. Uma terceira esfera, eletricamente carregada, era inserida no interior da balança através de um orifício na parte superior do cilindro. Uma escala circunscrita ao cilindro de vidro era usada para medir o ângulo de torção da fibra, como ilustrado.



No experimento ilustrado, a conclusão de Coulomb foi de que a força elétrica é

- Ⓐ. dependente da torção do fio.
- Ⓑ. análoga à força gravitacional.
- Ⓒ. resultado da forma dos objetos.
- Ⓓ. proporcional à soma das cargas.
- Ⓔ. inversamente proporcional à distância.

QUESTÃO 03 ■ Em uma aula de Física, o professor Antônio decide fazer um experimento para seus alunos. Ele esfrega uma régua em um pedaço de seda, durante um certo intervalo de tempo e, depois, afirma que a seda adquiriu carga elétrica negativa.



Considerando essa informação, pode-se afirmar que, após a eletrização por

- Ⓐ. A contato, a seda e a régua adquiriram cargas de sinais opostos.
- Ⓑ. contato, a seda ganhou elétrons e a régua ganhou prótons.
- Ⓒ. atrito, a seda perdeu elétrons e, por isso, adquiriu cargas negativas.
- Ⓓ. atrito, a seda ganhou elétrons e, por isso, adquiriu cargas negativas.
- Ⓔ. atrito, a seda perdeu prótons e, por isso, adquiriu cargas negativas.

PROF. VICTOR DUTRA

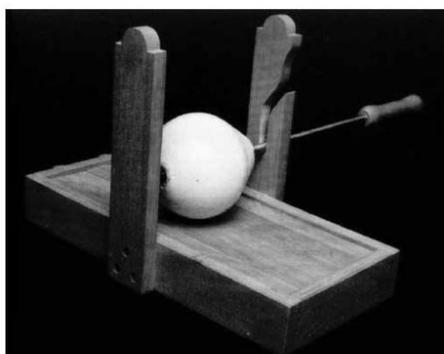
QUESTÃO 04 ■ Um balão de borracha é atritado com um papel. A seguir, ele é aproximado de um filete de água corrente. Observa-se que o filete é atraído em direção ao balão, como mostra a figura.



Nessa situação, o movimento do filete até o balão é explicado pelo(a)

- A. ar em movimento.
- B. eletrização por atrito.
- C. atração gravitacional.
- D. fenômeno da polarização.
- E. energia estática do balão.

QUESTÃO 05 ■ A máquina eletrostática mais primitiva foi desenvolvida por Otto von Guericke, por volta de 1663. A máquina consistia em uma esfera sólida de enxofre montada sobre um eixo de ferro, que se encaixava em um suporte em uma base de madeira, como mostra a figura. A esfera era girada pelo eixo com uma mão e, quando eletrizada, era retirada do suporte e usada para experimentos diversos, como perseguir uma pena, que era ora atraída, ora repelida pela esfera. Guericke, entretanto, não distinguia claramente o que era a eletricidade.

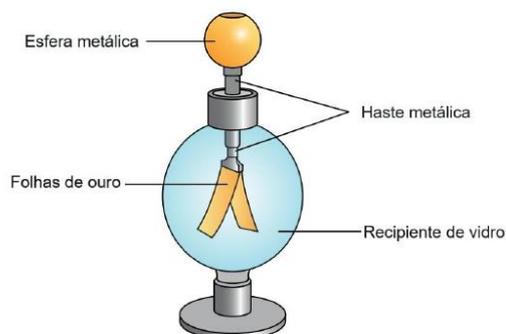


Disponível em: <www.coe.ufrj.br>. Acesso em: 3 dez. 2020 (Adaptação).

Qual o tipo de eletrização em que a máquina descrita se baseia?

- A. Atrito.
- B. Contato.
- C. Indução.
- D. Influência.
- E. Polarização.

QUESTÃO 06 ■ A figura a seguir representa uma versão do eletroscópio de folhas constituída por uma haste de metal, uma esfera metálica na extremidade externa e, internamente a um recipiente de vidro, duas folhas de ouro suspensas. Ao aproximar um bastão eletrizado desse dispositivo, as folhas de ouro apresentariam uma notável repulsão.



Caso a haste metálica fosse substituída por uma haste de borracha, ao aproximar um corpo eletrizado do dispositivo, a

- A. carga elétrica da esfera aumentaria.
- B. indução elétrica seria menos intensa.
- C. esfera metálica não sofreria indução elétrica.
- D. repulsão entre as folhas de ouro seria maior.
- E. repulsão entre as folhas de ouro seria imperceptível.