

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

JOSE FELIPE HNEDA

ABORDAGEM DO CONCEITO DE CAMPO ELÉTRICO NUMA PERSPECTIVA DE
APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA POR MEIO DE UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA

PONTA GROSSA
2022

JOSE FELIPE HNEDA

ABORDAGEM DO CONCEITO DE CAMPO ELÉTRICO NUMA PERSPECTIVA DE
APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA POR MEIO DE UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA

Dissertação apresentada para obtenção do título de
mestre na Universidade Estadual de Ponta Grossa, Área
de Ensino de Física

Orientador: Prof. Dr. André Maurício Brinatti

PONTA GROSSA

2022

H677 Hneda, Jose Felipe
Abordagem do conceito de campo elétrico numa perspectiva de aprendizagem significativa por meio de uma sequência didática: / Jose Felipe Hneda. Ponta Grossa, 2022.
188 f.

Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física - Área de Concentração: Física na Educação Básica), Universidade Estadual de Ponta Grossa.

Orientador: Prof. Dr. André Maurício Brinatti.

1. Eletrização. 2. Carga elétrica. 3. Lei de Coulomb. 4. Experimentação. 5. Ensino - aprendizagem. I. Brinatti, André Maurício. II. Universidade Estadual de Ponta Grossa. Física na Educação Básica. III.T.

CDD: 530.1



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
Av: General Carlos Cavalcanti, 4748 - Bairro Uvaranas - CEP 84030-900 - Ponta Grossa - PR - <https://uepg.br>

TERMO
DE APROVAÇÃO

JOSE FELIPE HNEDA

“ABORDAGEM DO CONCEITO DE CAMPO ELÉTRICO NUMA PERSPECTIVA DE APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA POR MEIO DE UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA.”

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no Programa de Pós-Graduação Profissional em Ensino de Física, Setor de Ciências Exatas e Naturais da Universidade Estadual de Ponta Grossa, pela seguinte banca examinadora:

Ponta Grossa, 04 de março de 2022.

Membros da Banca:

Dr. André Mauricio Brinatti - (UEPG/MNPEF) – Presidente

Dr. Sérgio da Costa Saab - (UEPG/MNPEF)

Dra. Hercília Alves Pereira de Carvalho - (UFPR/Jandaia do Sul/MNPEF/UEM)



Documento assinado eletronicamente por **Andre Mauricio Brinatti, Vice-coordenador do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física - Mestrado Profissional**, em 04/03/2022, às 17:07, conforme Resolução UEPG CA 114/2018 e art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Sergio da Costa Saab, Professor(a)**, em 07/03/2022, às 10:40, conforme Resolução UEPG CA 114/2018 e art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Hercília Alves Pereira de carvalho, Usuário Externo**, em 09/03/2022, às 10:35, conforme Resolução UEPG CA 114/2018 e art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Adriana Aparecida Telles, Secretário(a)**, em 29/03/2022, às 14:02, conforme Resolução UEPG CA 114/2018 e art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



A autenticidade do documento pode ser conferida no site <https://sei.uepg.br/autenticidade> informando o código verificador **0897642** e o código CRC **D3A29DC9**.

Dedico a minha amada mãe, mulher simples, de muita fé,
trabalhadora e corajosa.

AGRADECIMENTOS

De forma especial ao Prof. Dr. André Mauricio Brinatti, meu orientador, pelas sugestões, conselhos, sabedoria, paciência nas correções, pelo grande incentivo com permanente valorização do trabalho desenvolvido, também pela amizade.

Aos meus pais, pelos ensinamentos de vida e incentivo em todos os momentos.

A minha namorada, amigos e familiares pela paciência e auxílio.

Ao Colégio Estadual Santo Antônio, de Ibituva, por fornecer espaço para aplicação do produto educacional.

A todos que contribuíram direta ou indiretamente para realização deste trabalho.

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

RESUMO

No presente trabalho, propomos a investigação sobre o seguinte dilema: Como trabalhar o conceito de campo elétrico em sua complexidade de forma que os alunos do ensino médio tenham uma aprendizagem significativa? Para tal, realizamos a elaboração, desenvolvimento e análise de registros referentes à aplicação em três turmas de terceiros anos de ensino médio, do produto educacional - DA ELETRIZAÇÃO À INTERAÇÃO A DISTÂNCIA: que é basicamente um conjunto de roteiros contendo orientações para os alunos e professores, seguindo uma sequência didática, organizados em três momentos e subdivididos em doze práticas. Prática, neste referido trabalho, significa a proposta e também o desenvolvimento experimental da mesma, logo, preocupando-se com a transposição didática, por meio das quais visamos possibilitar aos alunos explorar os conceitos de carga elétrica, força elétrica e campo elétrico, realizando experimentos, em um processo dinâmico, sentindo-se motivados pela própria curiosidade e buscando elementos dentro de seus conhecimentos prévios que os auxiliem nessa jornada, desvendando o processo de intercomunicação do que ele já sabe com as novas descobertas, tornando assim sua aprendizagem significativa. Pela análise qualitativa e quantitativa da aplicação do produto educacional, percebeu-se indícios de aprendizagem significativa, uma vez que os alunos se mostraram interessados, e buscaram solucionar os problemas propostos.

Palavras-chaves: Eletização, Carga Elétrica, Lei de Coulomb, Experimentação, Demonstração.

ABSTRACT

This study proposes an investigation of the following dilemma: How can the concept of electric field be introduced in its complexity so that high school students can experience meaningful learning? To achieve such objective, we elaborated, developed and analyzed reports of the use of the educational product – FROM ELECTRIZATION TO DISTANCE INTERACTION – in three high school classes. Basically, the educational product is a set of instructions to students and teachers, following a teaching unit, organized in three moments and subdivided into twelve practices. In this work, practice means the proposal and its experimental development, therefore, there is special concern with the didactic transposition, through which we intend to allow students to explore concepts of electric charge, electric force, and electric field. Students are encouraged to carry out experiments, in a dynamic process, feeling motivated by curiosity and seeking elements from their previous knowledge to help them in this journey, unveiling an intercommunication process between what they already know and their new discoveries, thus making their learning more meaningful. The results of the qualitative and quantitative analyses of the educational product, we observed evidence of meaningful learning, since students were interested and sought to solve the problems proposed.

Keywords: Electrization, Electric Charge, Coulomb's Law, Experimentation, Demonstration.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Materiais eletrizados por atrito, causando atração: a - Canudinho e bolinhas de isopor, e b - Âmbar báltico atraindo plumas.	24
Figura 2 - Ilustração da simulação	27
Figura 3 - Exemplo de séries triboelétrica.	28
Figura 4 - PVC eletrizado por atrito atraindo Isopor	29
Figura 5 - sequência eletrização e descarga por contato – eletroscópio de folhas.....	30
Figura 6 - Balança eletrônica de mesa.....	31
Figura 7- Esfera e suporte sobre a balança eletrônica e a representação das forças	34
Figura 8 - Tabela e gráfico $F \times d$ (Valores para título de ilustração onde utilizamos $n=2$	37
Figura 9 - Aparato para medir força de interação elétrica entre as esferas eletrizadas	37
Figura 10 - Tocando a esfera superior com uma esfera igual e descarregada podemos demonstrar que a força de repulsão é diretamente proporcional ao produto das cargas.	38
Figura 11 - Atração e repulsão elétrica em relação aos dois tipos de cargas.	39
Figura 12 - Gerador de Van de Graaff.....	42
Figura 13 - Representação poder das pontas.....	44
Figura 14 - interação entre cargas pontuais.....	46
Figura 15 - Aparato, pontas carregadas em azeite (isolante) onde flutuam sementes de grama.....	48
Figura 16 – Linhas de Campo elétrico.....	49
Figura 17 – Adaptação sugerida em sala: Placas de PVC	82
Figura 18 – Gráficos $F \times D$ produzidos pelos alunos a partir da prática 10	82

LISTA DE QUADROS

Quadro 4.1 - Resumo da Prática 1. Eletrização de Isolantes, Aulas 1 e 2.....	53
Quadro 4.2 - Resumo da Prática 2. Canudinho suspenso, pêndulo de torção. Aulas 1 e 2.....	54
Quadro 4.3 - Resumo da Prática 3. Filete de água, Aulas 1 e 2.....	55
Quadro 4.4 - Resumo da Prática 4. Bolinhas de isopor, Aulas 1 e 2.....	55
Quadro 4.5 - Resumo da Prática 5. Garrafa de Leyden, Aula 3.....	56
Quadro 4.6 - Resumo da Prática 6. Eletroscópio de folhas, Aula 3.....	57
Quadro 4.7 - Resumo da Prática 7. Eletroscópio de folhas e eletróforo, Aula 3.....	58
Quadro 4.8 - Resumo da Prática 8. Garrafa de Leyden/Eletroscópio de folhas, Aula 3.....	59
Quadro 4.9 - Resumo da Prática 9. Um diálogo sobre o funcionamento de uma balança, Aula 6.....	61
Quadro 4.10 - Resumo da Prática 10. Demonstrações da Lei de Coulomb com balança eletrônica – dependência do inverso do quadrado da distância, Aula 7	63
Quadro 4.11 - Resumo da Prática 11. Demonstrações da Lei de Coulomb com balança eletrônica – dependência com o produto das cargas, Aula 8.....	65
Quadro 4.12 - Resumo da Prática 12. O campo Elétrico: Prática com Gerador de Van de Graaff Aula 10.....	66
Quadro 5.1 - Resultados da Prática 1. Eletrização de Isolantes, Aulas 1 e 2.....	71
Quadro 5.2 - Resultados da Prática 2. Canudinho suspenso, pêndulo de torção, Aulas 1 e 2.....	72
Quadro 5.3 - Resultados da Prática 3. Filete com água, Aulas 1 e 2.....	73
Quadro 5.4 - Resultados da Prática 4. Bolinhas de isopor, Aulas 1 e 2.....	74
Quadro 5.5 - Resultados da Prática 5. Garrafa de Leyden, Aulas 1 e 2.....	74
Quadro 5.6 - Resultados da Prática 6. Eletroscópio de folhas, Aulas 1 e 2.....	75
Quadro 5.7 - Resultados da Prática 7. Eletroscópio de folhas e eletróforo, Aulas 1 e 2	76

Quadro 5.8 - Resultados da Prática 8. Garrafa de Leyden e Eletroscópio de folhas, Aulas 1 e 2.....	77
Quadro 5.9 - Resultados da Prática 9. Um diálogo sobre o funcionamento de uma balança, Aula 6.....	80
Quadro 5.10 - Resultados da Prática 10. Demonstrações da Lei de Coulomb com balança eletrônica – dependência do inverso do quadrado da distância, Aula 7	83
Quadro 5.11 - Resultados da Prática 11. Demonstrações da Lei de Coulomb com balança eletrônica – dependência com o produto das cargas, Aula 8.....	84
Quadro 5.12 - Resultados da Prática 12. O campo Elétrico: Prática com Gerador de Van de Graaff, Aula 10.....	85

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 BREVES CONSIDERAÇÕES SOBRE ELEMENTOS DE APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA E A PRÁTICA EXPERIMENTAL	17
3 CONSIDERAÇÕES SOBRE ELETRIZAÇÃO, FORÇA ELÉTRICA E CAMPO ELÉTRICO	23
3.1 ELETRIZAÇÃO	23
3.1.1 Eletrização por atrito	29
3.1.2 Eletrização por contato	29
3.1.3 Eletrização por indução	30
3.2 INTERAÇÃO - FORÇA ELÉTRICA, CONCEITO A PARTIR DE UMA PERSPECTIVA EXPERIMENTAL	31
3.2.1 A balança	31
3.2.2 Demonstrações da lei de coulomb com balança eletrônica	35
3.3 CAMPO ELÉTRICO	41
3.3.1 Rigidez dielétrica do ar	44
3.3.2 Demonstração do campo elétrico por meio do gerador de van de graff	45
3.3.3 Linhas de campo	48
4 MATERIAS E MÉTODOS	50
4.1 DESCRIÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL	50
4.2 APLICAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL	51
4.2.1 Momento 1: 1. eletrização, aulas 1 a 5	52
4.2.2 Momento 2: 2. força elétrica, aulas 6 a 9	60
4.2.3 Momento 3: 3. campo elétrico, aulas 10 a 12	66
4.3 MÉTODO DE AVALIAÇÃO	68
4.4 UNIVERSO DA APLICAÇÃO	69

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	70
5.1 MOMENTO 1: 1. ELETRIZAÇÃO, AULAS 1 A 5.	70
5.2 MOMENTO 2: 2. FORÇA ELÉTRICA, AULAS 6 A 9	79
5.3 MOMENTO 3: 3. CAMPO ELÉTRICO, AULAS 10 A 12	85
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	87
REFERÊNCIAS.....	89
APENDICE A - PRODUTO: DA ELETRIZAÇÃO A INTERAÇÃO A DISTÂNCIA....	93

1 INTRODUÇÃO

Iniciamos com uma constatação indiscutível de que autores, geralmente são conhecedores e autoridades em um determinado tema, oferecem frequentemente informação teórica de qualidade e contextualizada sobre, por exemplo, campo elétrico, conceito tão presente no dia a dia, uma vez que dele resulta a energia acumulada nas cargas elétricas, conhecida como energia elétrica.

Apesar disto, Krapas e Silva (2008) constataram as dificuldades dos alunos sobre o conceito campo elétrico, e trazem a desconfiança de que estas dificuldades estão ligadas ao caráter polissêmico do termo campo elétrico, no que diz respeito a forma como o conceito, ou ainda, a variedade de conceitos, foi construída e utilizada ao longo da história e como ele é tratado nas diversas literaturas. Apresentam como os livros didáticos utilizados no ensino médio regular tratam o tema, de onde se obteve duas definições explícitas: campo é espaço, e campo é vetor, destacando utilizações diferentes por vários autores, diferenciando campo como espaço e campo como grandeza física vetorial, seja chamando este último de intensidade do campo ou vetor campo elétrico. E, ainda, aqueles autores cuja distinção fica muito implícita ou nem existe.

Os manuais, no entanto, não têm contribuído para tornar o termo menos impreciso. A liberdade com que o utilizam é assimilada -implicitamente, é claro - pelos alunos, que chegam a usar expressões como 'interação entre campos' para explicar fenômenos eletromagnéticos simples, como um motor elétrico (KRAPAS; SILVA, 2008, p.27, grifo do autor).

Os mesmos autores também constatarem que nos próprios trabalhos de Maxwell, em seus três primeiros trabalhos a palavra campo é geralmente utilizada com o significado de espaço. Enquanto que em seu terceiro artigo, Maxwell coloca o termo campo eletromagnético como “aquela parte do espaço que contém e envolve corpos em condições elétricas ou magnéticas” Krapas e Silva (2008, p. 20, grifo nosso). Mas, mesmo assim, o campo elétrico como grandeza, como utilizamos hoje, era chamado por Maxwell de Intensidade Resultante Eletromotriz. Porém, deixam claro que Maxwell e Lorentz em expressões utilizadas em seus trabalhos, fazem que, de forma intuitiva utilizemos campo como grandeza:

Expressões tais como as utilizadas por Maxwell e Lorentz podem explicar o fato de que, em algum momento do processo de transposição didática, fosse atribuída uma grandeza física ao termo campo, tal como conhecemos hoje (KRAPAS; SILVA, 2008, p.20).

Quando lemos, vemos ou ouvimos um texto sobre fenômenos físicos estamos experienciando o evento a partir do ponto de vista e com a forma de expressar do autor. Dessa forma, é notório como o teor investigativo no processo de aprendizagem pode ter potencial para construção de conceitos conforme concepção do sujeito que aprende, formulando assim seu próprio ponto de vista.

E a respeito do conceito de campo elétrico, temos por muitas vezes negligenciado em livros didáticos e ou por docentes em relação a vários aspectos, como relata Wagner Filho:

Ao identificar um conteúdo científico em livros didáticos de ensino de Física, cada autor apresenta os conceitos através de sua concepção do conhecimento e da sua interpretação pessoal sobre o fenômeno. O conceito de campo que figura nas coleções de Física do PNLD apresenta diferenças conceituais em relação à forma como ele foi pensado originalmente pelos cientistas. Por exemplo, observa-se que na maioria das coleções o conceito de campo elétrico foi trocado pelo simples cálculo do seu valor numérico. Esta é uma abordagem reducionista, que deixa a desejar no que concerne à exploração histórica do fenômeno e a sua associação com as cargas elétricas (WAGNER FILHO, 2014, p.5).

Somado a esses pontos citados anteriormente, é muito comum depararmos na escola com uma atmosfera inadequada para o processo ensino-aprendizagem no que diz respeito a sintonia do grupo de alunos. Geralmente, notamos a exposição de divergências de forma negativa e não nos damos conta que a evidente diversidade de um grupo pode tomar um formato construtivo. Assim, necessitamos atrair e cativar o aluno para com os conteúdos estruturantes previstos para educação básica, dando a ele uma formação mais integral e significativa se faz necessária, por exemplo, com o avanço de informação e tecnologia. Tendo isso em conta, é oportuna a reflexão sobre o processo de ensino-aprendizagem, com professores que pesquisam sua própria prática, e levam aos educandos propostas dinâmicas de atividades.

Porém quando o conhecimento mais elaborado amplia as dificuldades da aprendizagem pela forma como se apresenta, o processo de ensino e aprendizagem se torna ainda mais desafiador. 'No que tange ao conhecimento escolar, em alguns casos, as adaptações são tão grandes que acabam por descontextualizá-los e descaracterizá-lo.' (WAGNER FILHO, 2014 p.7, grifo do autor).

Discussão que também está presente nos documentos base que regulamentam e fundamentam a educação no Brasil, a exemplo da LDB, PCNs e PCN+. Então, não são recentes tais discussões, mas são atuais, no âmbito de que é incessante a busca por sanar ou atenuar as dificuldades em relação ao ensino e aprendizagem.

E por isso, o motivador desta pesquisa foi a implementação da aprendizagem significativa, realizando a pesquisa a partir da própria prática.

Aqui é preciso chamar atenção que aprendizagem significativa não é, necessariamente, aquela que comumente chamamos de 'correta'. Quando o sujeito atribui significados a um dado conhecimento, ancorando-o interativamente em conhecimentos prévios, a aprendizagem é significativa, independente de se estes são os aceitos no contexto de alguma matéria de ensino, i.e., de se os significados atribuídos são também contextualmente aceitos, além de serem pessoalmente aceitos (MOREIRA, 2012, p. 7, grifo do autor).

Tendo a concepção de que a aprendizagem é ampliação do conhecimento total do indivíduo, ou seja, no contexto da sua estrutura cognitiva, armazenamento e organização dos conceitos e aprendizados sobre o tema campo elétrico na física, por exemplo, estejam acordantes com o aprendizado afetivo, no âmbito de que os sujeitos da aprendizagem possam sentir-se protagonistas de seu aprendizado, realizando as atividades propostas. Dentro desse ambiente problematizador das situações de estudo, possam discutir, comparar entendimentos do que se aprende realizando os trabalhos em equipes. Nestes processos, as mediações e as discussões sobre o assunto têm papel fundamental, pois as contextualizações inerentes as discussões dos fenômenos observados e as discussões mediadas sobre o assunto, colocam o aprendiz como autor da construção de um conhecimento autêntico, internalizando os conceitos e ampliando a estrutura cognitiva.

O professor tem o desafio de buscar dentro da realidade, argumentar os conceitos de física de forma pertinente.

Em função disso é que temos reafirmado, no decorrer deste trabalho, a idéia de que o professor ocupa uma posição estratégica. A sala de aula, lugar de sua atuação, se situa entre as diretrizes da escola e as do sistema de ensino. Dificilmente as propostas dispensam a ação docente, uma vez que o professor exerce o papel central de tradutor da idéia oficial para o contexto da prática (CRUZ, 2007, p.200).

Ao idealizar o nosso projeto, durante leituras, reflexões e discussões sobre a sala de aula, percebemos que a função de um professor nas instituições está relacionada com propiciar ao aluno mecanismos que os façam pensar, para que saibam fazer considerações sobre o que se passa em seu cotidiano. Sendo que vivemos em uma sociedade imersa em avanços científicos e tecnológicos, acreditamos dever atacar a superficialidade conceitual de tratamento de conteúdos no ensino médio para que possamos refletir de forma mais profunda o conceito de campo elétrico. E com base nos seguintes levantamentos:

- campo é um arranjo vetorial;
- campo é uma extensão da carga elétrica;
- fração de espaço onde pode-se verificar ações de forças sem contato direto;
- campo armazena energia;
- campo é a alteração do espaço;
- campo é a curvatura do espaço;
- campo é o mediador de interação.

Então, propomos responder a seguinte questão: Como trabalhar o conceito de campo elétrico em sua complexidade de forma que os alunos do ensino médio tenham uma aprendizagem significativa?

Tal proposição aborda o tema campo elétrico, este relacionado com uma das principais fontes de avanços na atualidade, a tecnologia movida a eletricidade. Portanto, para que possamos conceber conceitos mais específicos sobre o assunto e incorporar novas ideias as pré-existentes, é importante que as ideias centrais, conceitos chave sobre o assunto sejam capazes de fazer o sujeito ter relação com as situações propostas para aprendizagens, e que este conhecimento não seja desconexo da sua percepção de mundo. Disso, tiramos a relevância do desenvolvimento do material, composto de três momentos, nos quais atacamos a superficialidade conceitual no tratamento dos conteúdos base para o entendimento do funcionamento da eletricidade.

E usamos experimentos simples que outrora foram utilizados pelos mágicos eletricitas, construídos com materiais acessíveis, como meios facilitadores do

processo ensino-aprendizagem, dos quais podemos produzir e observar fenômenos básicos da eletricidade, que são descritos por meio de conceitos pertinentes a compreensão de mundo e das tecnologias, e em uma perspectiva de aprendizagem significativa de David Paul Ausubel. Desta forma, e em linhas gerais, empreendeu-se um produto educacional distribuído em três momentos, realizando um total de doze horas aulas de 50 minutos para três turmas de terceiro ano do ensino médio. Trabalhamos em sala de aula os conceitos de carga elétrica, força elétrica e campo elétrico, levando em conta o contexto histórico e preocupando-se com a transposição didática e adaptações feita durante as aplicações. Maiores detalhes do produto educacional e sua aplicação apresentaremos em momento oportuno neste trabalho.

Isso exposto, este trabalho teve como objetivos gerais:

- Elaborar materiais experimentais e de apoio ao professor, a fim de propiciar uma situação de aprendizagem significativa em sala de aula;
- Implementar um produto educacional para o estudo do campo elétrico seguindo uma sequência didática;
- Avaliar aplicação do produto educacional e a prática docente.

E como objetivos específicos:

- Propor aulas diferenciadas de física usando material elaborado para uma sequência didática para o ensino de campo elétrico;
- Por meio de registros diferenciados dos educandos estimar o grau de aprendizagem significativa dos educandos acerca do conceito em relação à prática docente e à aplicação do produto educacional;
- Por meio de registros diferenciados do professor, estimar o grau de aprendizagem significativa dos educandos acerca do conceito em relação à prática docente e à aplicação do produto educacional.

Espera-se que o produto educacional e a reflexão sobre sua aplicação seja uma possibilidade como proposta de ensino sobre o campo elétrico, permitindo e contribuindo com a ampla reflexão sobre o ensino de física.

2 BREVES CONSIDERAÇÕES SOBRE ELEMENTOS DE APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA E A PRÁTICA EXPERIMENTAL

De acordo com Moreira (2012), a aprendizagem significativa de Ausubel ocorre por meio de um mecanismo em que os novos conhecimentos adquiridos partilham e interatuam com os conhecimentos prévios.

A este conhecimento, especificamente relevante à nova aprendizagem, o qual pode ser, por exemplo, um símbolo já significativo, um conceito, uma proposição, um modelo mental, uma imagem, David Ausubel² (1918-2008) chamava de subsunçor ou idéia-âncora (MOREIRA, 2012, p. 2).

Logo, os conhecimentos prévios, que devem ser relevante à nova aprendizagem, são os subsunçores, ou conhecimentos preexistentes na estrutura cognitiva do aprendiz. Moreira (2012), comenta sobre o conceito central da teoria da aprendizagem de David Ausubel:

Aprendizagem significativa é aquela em que ideias expressas simbolicamente interagem de maneira substantiva e não-arbitrária com aquilo que o aprendiz já sabe. Substantiva quer dizer não-litera, não ao pé-da-letra, e não-arbitrária significa que a interação não é com qualquer idéia prévia, mas sim com algum conhecimento especificamente relevante já existente na estrutura cognitiva do sujeito que aprende (MOREIRA, 2012, p. 2).

Fica claro a relação entre os novos conceitos aprendidos e os subsunçores, ou seja, o aluno irá concretizar a aprendizagem significativa quanto efetivar de forma coerente o que se pretende ensinar, por exemplo, algum assunto proposto em sala de aula, fazendo relações com seus conhecimentos prévios existentes em sua estrutura cognitiva e relevantes a esta nova aprendizagem

Moreira (2012) versando Ausubel, apresenta que a estrutura cognitiva é hierárquica no sentido organizacional, o qual é frequentemente citado por autores que utilizam os mapas mentais como ferramenta de aproximação, organização e visualização do entendimento sobre certos conceitos, que são representações de experiências sensoriais dos aprendizes.

Logo, nas situações de estudos e entendimentos sobre o mundo ao nosso redor, devemos ter o cuidado com a interpretação do aluno sobre o que ele está descobrindo, sobre como cada termo é interpretado por ele, e as pontes ou relações

que está fazendo com o que ele tem conhecimento prévio e relevante para a nova aprendizagem em sua estrutura cognitiva.

Levando em consideração que nem toda aprendizagem significativa é necessariamente de conceitos cientificamente aceitos, temos que a aprendizagem, além de significativa, deve estar consoante com o que é admitido pela ciência, isto que em síntese parece ser uma ideia simples, é, no entanto, uma ideia aprimorada.

Tomemos como base a situação em sala de aula, onde, em princípio deve ocorrer o processo de ensino e aprendizagem, o tempo em sala de aula e as outras diversas adversidades que encontramos no ensino médio, faz com que nos deparemos com um enorme desafio em promovermos aprendizagem significativa. Além disso, Moreira (2012) destaca que

as conhecidas concepções alternativas, tão pesquisadas na área de ensino de ciências, geralmente são aprendizagens significativas (e, por isso, tão resistentes à mudança conceitual). Por exemplo, se uma pessoa acredita que no verão estamos mais próximos do sol e no inverno mais distante, explicando assim as estações do ano, isso pode ser significativo para ela embora não seja a explicação cientificamente aceita (MOREIRA, 2012, p. 8).

Assim, devemos levar em conta que muito além de um grupo em sala de aula, estamos tratando de sujeitos com seus conhecimentos prévios acerca de um determinado assunto, e que, por isso, podem até por vezes limitar ou dificultar a aprendizagem.

Portanto, dizer que o conhecimento prévio é a variável que mais influencia a aprendizagem significativa de novos conhecimentos não significa dizer que é sempre uma variável facilitadora. Normalmente sim, mas pode, em alguns casos, ser bloqueadora (MOREIRA, 2012, p. 7).

Dessa maneira, é importante conduzir o aluno a desvendar os fatos com situações concretas, mostrando que não tem problema nenhum, descobrir, mudar ou adquirir novas ideias, e que isso ocorre a partir do que ele anteriormente sabe e é relevante ao tema a ser ensinado, de forma substantiva e não arbitrária (MOREIRA, 2012).

Em termos simples, subsunção é o nome que se dá a um conhecimento específico, existente na estrutura de conhecimentos do indivíduo, que permite dar significado a um novo conhecimento que lhe é apresentado ou por ele descoberto. Tanto por recepção como por descobrimento, a atribuição de significados a novos conhecimentos depende da existência de

conhecimentos prévios especificamente relevantes e da interação com eles (MOREIRA, 2012, p. 2).

Na estrutura cognitiva, os subsunçores ocupam uma posição em relação a determinado conhecimento, o mesmo subsunçor pode ocupar posições distintas, mais, ou menos superiores, em distintos conhecimentos. Esta relação é dinâmica, no sentido de que, existindo uma hierarquia entre os subsunçores, existe uma organização, onde podemos classifica-los como mais, ou menos importantes para um determinado conhecimento, isto é comentado por Moreira (2012) da seguinte forma:

Há subsunçores que são hierarquicamente subordinados a outros, mas essa hierarquia pode mudar se, por exemplo, houver uma aprendizagem superordenada, na qual um novo subsunçor passa a incorporar outros (MOREIRA, 2012, p. 5).

Como vemos nesta citação, a aprendizagem significativa é subordinada quando se agrega novos conhecimentos a partir dos prévios, e a aprendizagem significativa superordenada, é quando se adquire um conhecimento mais abrangente, substituindo assim, o que o presente na estrutura cognitiva. Isto leva a substituição também dos significados aos quais este conhecimento está subordinado, ou relaciona-se dentro da hierarquia presente na estrutura cognitiva. Além destas duas formas de aprendizagem significativa há uma terceira, a combinatória.

Moreira (2012) menciona três formas de aprendizagem significativa, são elas a subordinada, a superordenada e a combinatória. A primeira, mais comum, relacionada a um processo de ancoragem, ou seja, se baseando em conhecimentos prévios relevantes para aquele determinado conhecimento dentro de sua estrutura cognitiva. Estes conhecimentos prévio têm relação com as novas ideias no sentido de que ficam atrelados entre si, a ideia inicial vai ficando mais elaborada a medida que vai sendo acrescidas de novas ideias, ou seja,

A aprendizagem significativa é dita subordinada quando os novos conhecimentos potencialmente significativos adquirem significados, para o sujeito que aprende, por um processo de ancoragem cognitiva, interativa, em conhecimentos prévios relevantes mais gerais e inclusivos já existentes na sua estrutura cognitiva (MOREIRA, 2012, p. 14)

Muito mais relacionado a forma como o indivíduo imaterializa o objeto de conhecimento, ou seja, aos processos e suas relações na estrutura cognitiva, temos a aprendizagem superordenada, mais frequente na conceitualização. Conhecidas

várias ideias que se relacionam entre si por meio de um conceito, pode-se desenvolver este conceito na estrutura cognitiva por meio das diversas ideias, e o que as vincula entre si. Se, por exemplo, não se sabe o que é animal, mas se conhece uma grande diversidade de animais, as ideias de animais se relacionam entre si e podemos chegar a um conceito de animal por conclusão lógica.

A aprendizagem superordenada envolve, então, processos de abstração, indução, síntese, que levam a novos conhecimentos que passam a subordinar aqueles que lhes deram origem. É um mecanismo fundamental para a aquisição de conceitos, (MOREIRA, 2012, p. 15)

E por último a aprendizagem combinatória, que se relaciona com uma grande quantidade de subsunções ou ideias.

Aprendizagem combinatória é, então, uma forma de aprendizagem significativa em que a atribuição de significados a um novo conhecimento implica interação com vários outros conhecimentos já existentes na estrutura cognitiva, mas não é nem mais inclusiva nem mais específica do que os conhecimentos originais. Tem alguns atributos criteriais, alguns significados comuns a eles, mas não os subordina nem superordena (MOREIRA, 2012, p. 16)

Correspondentemente, identifica-se três tipos de aprendizagens significativas: representacional, conceitual e proposicional. A representacional, que é quando símbolos passam a representar, objetos ou eventos de forma não arbitrária. Em seguida, podemos colocar a aprendizagem conceitual, que é tida como uma aprendizagem representacional de alto nível, pois nesta, o símbolo não representa só um referente, mas um conjunto.

A aprendizagem conceitual ocorre quando o sujeito percebe regularidades em eventos ou objetos, passa a representá-los por determinado símbolo e não mais depende de um referente concreto do evento ou objeto para dar significado a esse símbolo. Trata-se, então, de uma aprendizagem representacional de alto nível. (MOREIRA, 2012, p. 16)

E ainda o terceiro tipo, a aprendizagem proposicional, para a qual as duas primeiras são pré-requisitos, neste tipo dá-se significado a novas ideias por meio de uma proposição.

Moreira (2012) ainda destaca que são duas as condições essenciais para a aprendizagem significativa, a primeira está relacionada ao material utilizado durante o processo, que deve ser potencialmente significativo, e a segunda condição diz respeito ao aprendiz, que deve ter predisposição para relacionar os conhecimentos

de forma não-arbitrária e não-literal as ideias já existentes em sua estrutura cognitiva, ou seja, para aprender. A segunda condição é tida como mais difícil de alcançar e dependente da primeira condição.

Os três tipos de aprendizagem apresentados necessitam dos subsunçores, podemos, então, pensar no caso onde não existem os subsunçores adequados, ou de forma clara.

Quando o aprendiz não dispõe de subsunçores adequados que lhe permitam atribuir significados aos novos conhecimentos, costuma-se pensar que o problema pode ser resolvido com os chamados organizadores prévios, solução proposta até mesmo por Ausubel, mas que, na prática, muitas vezes não funciona. (MOREIRA, 2012, p. 11)

Organizadores prévios podem ser familiares aos alunos, ou não, de qualquer forma aulas experimentais, expositivas, que associam a teoria e a aplicabilidade, tendem, se ainda não for, familiarizar o aluno com que ele aprende, facilitando a aprendizagem do subsunçor e viabilizando aprendizagem futura.

Além da diferenciação progressiva, da reconciliação integrativa e dos organizadores prévios Ausubel recomendava também o uso dos princípios da organização sequencial e da consolidação para facilitar a aprendizagem significativa. O primeiro deles implica tirar vantagem das dependências sequenciais naturais existentes na matéria de ensino. Segundo Ausubel, fica mais fácil para o aluno organizar seus subsunçores, hierarquicamente, se na matéria de ensino os tópicos estão sequenciados em termos de dependências hierárquicas naturais, ou seja, de modo que certos tópicos dependam naturalmente daqueles que os antecedem. (MOREIRA, 2012, p. 21)

Os organizadores prévios são um recurso instrucional, no sentido de que servem para que o aluno possa dar significado em um conhecimento futuro, que vai se relacionar com o conhecimento prévio proposto.

Uma forma de apresentar tal perspectiva é a partir de práticas experimentais, sobre as atividades experimentais Leiria e Mataruco (2015) afirmam que,

As atividades experimentais sempre estiveram presentes no contexto didático metodológico, contribuindo para o ensino das ciências, em geral. Em particular, os professores de Física revelam uma preocupação maior com o uso dessa metodologia porque os alunos, em geral, não gostam da disciplina, mas gostam de realizar experimentos no laboratório. E a motivação é um dos pilares de sustentação da eficiência do processo ensino-aprendizagem e as atividades experimentais desempenham essa função muito bem (LEIRIA; MATARUCO, 2015, p. 32216).

Vemos que práticas experimentais tem papel motivador. Em relação a aprendizagem significativa, atividades experimentais podem, além de motivar, desafiar os conhecimentos prévios, fomentando a curiosidade e levando, assim, a ampliação ou modificação os conhecimentos, facilitando a abstração, pois, por meio da experimentação, os indivíduos interagem com fenômenos e entre si, investigando-os.

Portanto, as atividades experimentais permitem a abertura de um diálogo entre professor e aluno, inclusive entre os próprios alunos, o que pode contribuir para o processo de ensino e aprendizagem desta disciplina, e a sua interação com o meio em que vive. Assim, as atividades práticas se torna um componente importante para o processo de ensino, melhorando a relação entre ensino e aprendizagem, além de contribuir para a postura didática do professor (LEIRIA; MATARUCO, 2015, p.32219).

A abertura de espaço ao diálogo a fim de auxiliar a superar os desafios e juntos desenvolver o conhecimento, compartilhando ideias e conhecimentos prévios, faz com que o grupo, ao longo das práticas, acabe por ajustar-se e, assim, ficando mais consoante, e o discorrer do trabalho mais harmonioso. No sentido de que um ambiente inadequado para o processo ensino-aprendizagem, aos poucos, vai modificando-se em uma atmosfera adequada no que diz respeito a sintonia do grupo de alunos.

Pistas sobre quais aspectos utilizar para discussão estão na própria prática, que é aprimorada a cada aplicação, mas é importante sempre estar atento aos alunos e como interagem entre si e com o experimento. Uma dica é utilizar os aspectos técnicos sobre a experimentação, as normas de segurança, por exemplo, que geralmente fazem parte das competências da formação do professor e são pauta interessante para discussão conceitual dos fenômenos, no sentido de que são levados em conta pontos importantes sobre os efeitos para constituição técnica de execução e cuidados para a prática.

Então, a interação entre os alunos com os conhecimentos prévio e com as práticas propostas, de forma não arbitrária, apresenta-se como potencialmente capaz de gerar uma aprendizagem significativa.

Tendo em vista o discorrido de forma breve sobre a aprendizagem significativa e o papel das atividades experimentais, acreditamos que isto seja suficiente para análises que apresentaremos posteriormente nesta dissertação.

3 CONSIDERAÇÕES SOBRE ELETRIZAÇÃO, FORÇA ELÉTRICA e CAMPO ELÉTRICO¹

Estamos cercados de fenômenos naturais e produzidos pela mão humana que dependem da física do eletromagnetismo, que é uma combinação de efeitos elétricos e magnéticos.

No presente capítulo, que tem o objetivo de apresentar conceitos físicos relacionados ao referido produto educacional, vamos nos ater aos conceitos relacionados com carga elétrica vinculando aos processos de eletrização, comportamento das cargas elétricas e interação elétrica, força elétrica e campo elétrico. A fim de que possamos assim trabalhar conhecimentos que nos permitam entender fenômenos que nos cercam e, que também, podem ser subsunções (MOREIRA, 2012) para aprendizagem de novos conceitos futuramente, dentro e fora de sala de aula.

3.1 ELETRIZAÇÃO

Suponhamos que uma barra de plástico, como um canudinho ou uma caneta, seja friccionada com um papel ou com uma pele, e que a partir disso, gere efeitos de interação. Ao usarmos duas barras eletrizadas, uma suspensa por um fio como um pêndulo de torção, podemos inclusive notar efeitos de atração e repulsão, o mesmo pode ser notado se utilizarmos barras de vidro e seda (TIPLER; MOSCA, 2009). É mais comum observarmos efeitos como atrair pequenos papéis utilizando uma caneta ou algum outro objeto que foi eletrizado passando-o no cabelo. É bastante comum que pessoas tenham observado ou realizado alguma experiência dessa natureza em algum momento de sua vida. E foi algo parecido que deu ponta pé inicial a ciência da eletricidade, e são fenômenos como estes que vamos explorar, conceituando e buscando relações com a história.

Os registros mais antigos sobre a física do eletromagnetismo estão relacionados com filósofos da Grécia Antiga, de onde temos, por exemplo, relatos da eletrização do âmbar ao ser atritado e, também, atração entre um tipo de pedra, imã natural, e objetos de ferro. A eletricidade e o magnetismo evoluíram de forma

¹ Os aspectos teóricos abordados neste Capítulo, são assuntos que compõem o Produto Educacional, que é relativo a esta dissertação, e foram reproduzidos integralmente no Capítulo 3 do mesmo

independentes por muitos séculos até 1820, quando Hans Christian Oersted descobriu que uma bússola pode sofrer mudança de direção por uma corrente elétrica próxima e surge a nova ciência do eletromagnetismo (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2012).

Aproximadamente 2400 anos atrás, Platão em seu diálogo Timeu, fez menção ao também conhecido como efeito âmbar. Ainda que não cite quem o descobriu, apresenta o fato como se fosse conhecido de seus leitores, o que nos leva a pensar que este experimento havia sido realizado antes. Evidências deste fato estão em registros do biógrafo dos filósofos gregos que viveu por volta do séc. III, chamado Diógenes Laércio, que coloca Tales de Mileto como o executor do famoso experimento. Vale lembrar que Tales de Mileto viveu entre de 625 a 546 a.C. aproximadamente, isto é, anterior a Platão, e que esse o considerou um dos sete sábios da antiga Grécia em seu diálogo Protágoras (ASSIS, 2010, 2018).

Nos livros didáticos, então, é comum atribuir como primeiro registro histórico de experimento de eletrização por atrito a Tales de Mileto. E tal experimento trata do atrito do âmbar, uma resina fóssil, com outros materiais, assim, essa resina assume uma propriedade e é capaz de atrair outros objetos. Na Figura 1a, temos uma ilustração de um canudo, após eletrizado por atrito com guardanapo, atraindo pequenas bolinhas de isopor, fenômeno similar ao histórico efeito âmbar, que está na Figura 1b. A partir desse, podemos relacionar com situações cotidianas atuais, discutindo sobre o que é a eletrização e como ocorre.

Figura 1 - Materiais eletrizados por atrito, causando atração: a - Canudinho e bolinhas de isopor, e b - Âmbar báltico atraindo plumas.



Fonte: a - O autor,

Fonte: b - MATTEDE, H. **Quem inventou a eletricidade?**. Mundo da elétrica. 2014. Disponível em: <https://www.mundodaeletrica.com.br/quem-inventou-a-eletricidade/>. Acesso em: 15. maio. 2019.

Muitos dos termos que utilizamos hoje têm origens na palavra *eléktron*, do grego âmbar. Em 1820, Oersted utilizou os equivalentes aos termos eletromagnetismo e eletromagnético e Ampère em 1822 os equivalentes a eletrostático e eletrodinâmico (ASSIS, 2010).

Originalmente, a palavra eletricidade era utilizada para materiais que assumiam a propriedade de atrair objetos como o âmbar ao serem atritadas, Figura 1. O inglês William Gilbert (1544-1603), cita o *elétron* ou âmbar em seu livro de 1600, destacando a capacidade dele quando atritado, logo, ser capaz de atrair vários objetos e também a água, como haviam registrados os gregos. Para Gilbert, as exceções de atração do âmbar eram apenas o ar e o fogo. Atualmente, classificamos os materiais em condutores e os que não são condutores como isolantes ou dielétricos.

É importante também citarmos que em meados do séc. XVII, não existia o conceito atual de átomo ou partículas atômicas, então, era comum olhar para eletrização como objeto adquirindo uma espécie de fluido. Dessa forma, acreditava-se que o âmbar atritado emitiria um eflúvio, material grudento elástico que causaria a atração dos corpos leves. Ideia que pode ser compartilhada de forma similar por alguns de nossos alunos, principalmente durante a execução dos primeiros experimentos propostos no produto educacional deste trabalho. O que pode fazer parte para alguns da construção do conhecimento (ASSIS, 2010).

Marco importante foi a descoberta da repulsão em si reconhecida como fenômeno procedente de interações elétricas, que veio à tona com os trabalhos de Charles François e Cisternay Du Fay em 1733 e 1734 (ASSIS, 2010).

Devemos a Du Fay o reconhecimento de que objetos se atraem até se tocarem, tocando-se compartilham algo, e tendo compartilhado, em seguida, como se portassem a mesma coisa, se repelem. Foi Du Fay que pela primeira vez propôs a existência de dois tipos de eletricidade, o que chamou de Eletricidade Vítreas e Eletricidade Resinosas, os denominou assim pelo tipo de material (ASSIS, 2010).

Hoje, conhecemos como cargas positivas e cargas negativas. A repulsão por materiais com mesmo tipo de carga, e atração por materiais com tipos diferentes de carga. Tratamos tal efeito como interação elétrica.

Apesar de conhecido que o *elétron* não foi descoberto de um dia para o outro, mas é fruto de várias pesquisas, atribuímos a Joseph John Thomson (1856-1940) e seu experimento com tubos dos raios catódicos a descoberta do *elétron* em 1897. A

partícula que possui carga negativa e que é encontrado nos átomos que constituem todas as substâncias.

A carga é uma propriedade intrínseca das partículas que compõem a matéria e apesar de ser intuitivo sugerir que a carga é uma substância, até pela forma como nos referimos a ela, ela é composta de unidades elementares de carga, sendo assim, quantizada. Logo, só podemos encontrar cargas múltiplas inteiras do valor $1,6 \cdot 10^{-19}$ C e esta quantidade de carga elétrica elementar pode ser ou é frequentemente indicada apenas por e . Além disso, a carga não pode ser criada nem destruída. Ela pode se deslocar em determinadas situações, mas a carga total de um sistema isolado permanece sempre a mesma, o que é conhecido como lei da conservação da carga (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2012) Destacamos ainda que:

Na verdade, todos os corpos contêm muitas cargas elétricas. A **carga elétrica** é uma propriedade intrínseca das partículas fundamentais de que é feita a matéria; em outras palavras, é uma propriedade associada à própria existência das partículas (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2012, p. 01).

Então, sendo possível que corpos recebam ou doem cargas elétricas, por vezes, isso pode ser visualizado na forma de fagulhas elétricas. Fagulhas, que em certas situações, podem ser fonte de ignição em atmosferas explosivas ou capazes de incendiar materiais inflamáveis. Esse fenômeno revela a existência das cargas elétricas.

Quando o ar está seco, é possível produzir fagulhas esfregando os pés em um tapete e aproximando a mão de uma maçaneta, de uma torneira ou mesmo de uma pessoa. Também podem surgir centelhas quando você despe um suéter ou remove as roupas de uma secadora. As centelhas e a 'atração eletrostática' (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2012, p. 01, grifo do autor).

A título de exemplificação do mencionado anteriormente, citamos uma simulação interativas chamada John Travoltagem (PHET, 2018), talvez um pouco exagerada, onde um avatar do ator norte-americano John Joseph Travolta, ao atritar seu sapato com o material do tapete acaba eletrizando todo seu corpo, e ao tocar a maçaneta da porta, ele acaba produzindo fagulhas de natureza elétricas. Na figura 2, apresentamos uma ilustração da simulação.

Figura 2 – Ilustração da simulação

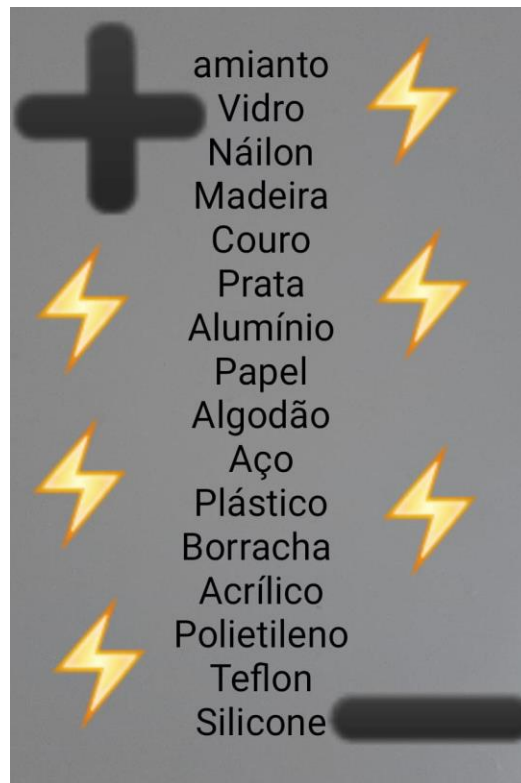


Fonte: PODOLEFSKY, N.; WIEMAN, C.; Reid, S. **Jhon travoltage**. PHET Interactive simulations. Disponível em: https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/john-travoltage. Acesso em: 09 abr. 2018.

Tendo em vista de que existem em grande quantidade e em toda matéria e, é normal que a dúvida sobre o motivo pelo qual só em situações específicas possamos observar as cargas elétricas. Quando um corpo tem mesmo número de cargas positivas, prótons, e cargas negativas, elétrons, bem distribuídas, dizemos que ele está neutro, ou seja, a soma total de suas cargas resulta em zero, e os efeitos elétricos espontâneos são dificilmente observáveis. Porém, quando os dois tipos de cargas elétricas se apresentam em quantidades distintas, dizemos que o corpo está eletrizado. É comum se pensar que um corpo eletrizado positivamente recebeu cargas positivas, porém, isso não deve ser verdade. Para compreender tal questão, é necessário conhecer conceitos sobre as forças fundamentais da natureza e sobre como as partículas estão distribuídas na estrutura dos átomos e moléculas.

Ao atritarmos os materiais, podemos obter dois diferentes tipos de carga, neste processo, cada corpo tem tendência de assumir certa carga elétrica: positiva ou negativa. Chamamos a organização em relação a ordem dos materiais com maior tendência de ficar negativos ou positivos de série triboelétrica. Apresentamos um exemplo desta série na Figura 3, porém, vale ressaltar que há outros mais completos, (ASSIS, 2010, 2018; HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2012; SAAD *et al.*, 2020; TIPLER; MOSCA, 2004).

Figura 3 - Exemplo de séries triboelétrica.



Fonte: O autor

Experimentalmente podemos verificar que existem processos em que a interação entre as cargas elétricas presentes nas substâncias, ao interagirem entre si, acarretam em propriedades físicas e químicas da matéria. Quando temos um número diferente de cargas positivas e negativas em um corpo, ou em uma região de um corpo, o corpo apresenta efeito de interação elétrica.

A mesma situação exemplificada anteriormente, a simulação interativa chamada John Travoltagem (PHET, 2018) arremete, de forma exagerada, a pensarmos que existem diversas situações cotidianas em que ficamos sujeitos a processos que envolvem interação entre as cargas e propriedades dos materiais. Dentre os vários exemplos, podemos citar o fenômeno que ocorre quando usamos uma blusa de lã e o atrito gera acúmulo de cargas, e quando tiramos a blusa os pelos do corpo se arrepiam, as vezes ouvirmos estalos ou vemos minúsculas fagulhas.

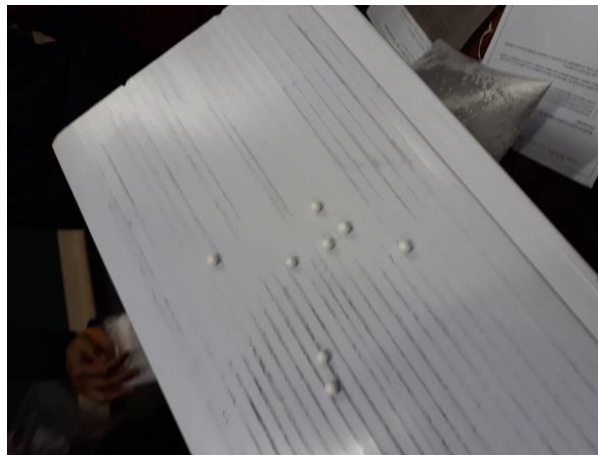
Os três tipos de eletrização são atrito, contato e indução. Nos experimentos propostos a serem desenvolvidos podemos explorar e entender cada uma.

3.1.1 Eletrização por atrito

Ao esfregarmos um canudo em guardanapo de papel ou uma placa de PVC em lã, experimentalmente podemos verificar efeitos de interação elétrica geradas pelas cargas elétricas agora presentes no objeto eletrizado. A placa de PVC, Figura 4, não está neutra, pois passou por um processo de eletrização por atrito, ao ser friccionada, recebeu elétrons da lã, ficando com carga total negativa, de acordo com a série triboelétrica, Figura 3.

Se compararmos duas situações, uma em que a placa passou pelo processo de eletrização por atrito e outra não, notamos que o canudo muda seu estado, gerando interação elétrica com o isopor.

Figura 4– PVC eletrizado por atrito atraindo Isopor



Fonte: O autor

3.1.2 Eletrização por contato

Em alguns casos podemos eletrizar objetos, transferir cargas, colocando-os apenas em contato entre si, fenômeno bem comum nos metais.

Tendo em mãos um aparato chamado eletroscópio de folhas, podemos demonstrar que cargas podem ser transferidas por contato de um objeto carregado, para outro, como na Figura 5.

Figura 5 – sequência eletrização e descarga por contato – eletroscópio de folhas.
a b c



Fonte: O autor

Neste caso, ao encostar o disco metálico eletrizado, denominado eletróforo, na esfera de metal do eletroscópio de folhas, ele transfere cargas elétricas pelo contato, Figura 5a. As cargas se distribuem pelo metal, chegando até as folhas de metal, que se repelem entre si, por estarem eletrizadas com mesmo de forma igual.

Ao efetuar o contato do dedo sobre a esfera, Figura 5b, o corpo humano pode receber as cargas do eletroscópio eletrizado, fazendo com que ele fique neutro novamente e as folhas deixe de se repelir entre si, Figura 5c.

3.1.3 Eletrização por indução

Considerando a Figura 5, e que, ao em vez de efetuar o contato do eletróforo com a esfera do eletroscópio, Figura 5, apenas os aproximemos. O que ocorre é que o eletróforo, por estar eletrizado de forma negativa, repele os elétrons da esfera do eletroscópio para as folhas, que ficam eletrizadas negativamente e se afastam.

Suponhamos que efetuamos o contato das folhas com o dedo durante esse processo, como anteriormente citado, o corpo humano pode receber as cargas do eletroscópio eletrizado (neste caso por indução). Tirando o dedo do contato, a esfera do eletroscópio ficou com falta de elétrons (positiva), em seguida, afastamos o eletróforo e todo o eletroscópio fica carregado de forma positiva.

Neste tipo de processo induzimos as cargas a saírem do objeto (eletroscópio) pelo aterramento (dedo humano) apenas aproximando um corpo eletrizado (eletróforo), efetuamos eletrização por indução.

3.2 INTERAÇÃO - FORÇA ELÉTRICA, CONCEITO A PARTIR DE UMA PERSPECTIVA EXPERIMENTAL

A partir do artigo de Cortel (1999) montamos uma adaptação, o qual foi peça chave na estruturação do material educacional, mais precisamente para Momento 2, pois conduziu a modelagem da equação para forças em interações de natureza elétrica, conhecida como Lei de Coulomb. Além disso, explorarmos mais uma forma da existência da carga elétrica experimentalmente com a observação das fagulhas. Assim, possibilitando verificar que carga elétrica e intensidade da interação elétrica como grandezas físicas mensuráveis, e força como ponte entre o estudo das cargas elétricas e do campo elétrico.

3.2.1 A balança

Nesta proposta, usamos uma balança como instrumento para verificar a interação elétrica entre corpos carregados. Por isso, passamos a explorar o funcionamento da balança e como ela foi usada para esse fim.

Figura 6– Balança eletrônica de mesa



Fonte: O autor

As balanças são dispositivos utilizados para medir a massa de um corpo por meio da força gravitacional exercida sobre elas, logo, são instrumentos de medida,

um dos mais antigos. Existem diversos tipos de balanças, possuindo diversas utilidades, mensurando desde pequenas massas até massas enormes, vamos focar em uma forma mais específica, a de mesa, como a que está ilustrada na Figura 6.

Ao aplicar pressão sobre a balança com o dedo. Podemos nos perguntar o que está ocorrendo, uma das conclusões possíveis é que a balança mede a força aplicada sobre ela com o dedo, e nos dá a intensidade desta força em unidades de massa, quilogramas (kg) por exemplo. Neste momento podemos nos perguntar, mas como assim, força em unidade de massa? Sei que esta colocação pode soar confusa, então para que possamos entender melhor pensemos sobre este processo, sobre o fenômeno físico que ocorre. Para isto, temos que definir força e massa e determinar qual a relação entre estas duas grandezas físicas distintas. Começemos pensando sobre os termos que utilizamos e o que significam.

Muitas palavras são usadas em física, e todas elas têm o significado muito preciso, apesar de não terem tal significado preciso na linguagem diária. [...] Se exercemos um certo empurrão com nossos braços em um objeto que é leve, ele se move facilmente; se empurramos na mesma quantidade um outro objeto que é mais pesado no senso comum, então ele se move muito menos rápido. Na verdade, devemos mudar as palavras de 'leve' e 'pesado' para *menos massivo* e *mais massivo*, respectivamente (FEYNMAN, 2008, grifo do autor).

No trecho apresentado, Feynman coloca que existe diferença entre o peso e a inércia, aqui na superfície da Terra, geralmente o valor do peso e da dificuldade de colocar objetos em movimento podem ter valores proporcionais, e ambos são força. Porém, podemos imaginar que em uma região em que a atração gravitacional fosse diferente da que temos na Terra, o peso de um corpo pode ser diferente do que temos aqui, mas a força para mudar a quantidade de movimento, inércia da primeira lei de Newton, seria a mesma (FEYNMAN, 2008).

Mesmo que ambas as forças sejam diretamente proporcionais a massa, a relação é diferente, vamos nos ater na relação para o peso, pois é este que nos permite entender o funcionamento de uma balança de bancada.

Se utilizássemos a mesma balança para medir a massa na Lua, onde a força de atração gravitacional é cerca de 1/6 da força de atração terrestre, não obteríamos o mesmo valor no visor, que aqui no nosso planeta. Portanto, a balança em questão é um aparelho que só indicará o valor correto da massa de objetos em seu visor, nas condições de atrações gravitacionais iguais a superfície do nosso planeta. A massa, que é uma propriedade do corpo, pode ser medida na Lua, e indicando o valor correto

no visor, se utilizássemos uma balança específica que considere a grandeza física aceleração gravitacional $g=1,67 \text{ m/s}^2$ ao em vez de $9,80 \text{ m/s}^2$ como a que utilizamos aqui na Terra. É importante notar que a massa não muda quando um corpo vai de um lugar até outro, apenas devemos utilizar uma forma adequada de medi-la (FEYNMAN, 2008).

Como a balança indica a massa, levando em conta que existe uma relação entre a massa e a força, podemos utilizar a balança para medir força aplicada sobre ela, pois se com um mesmo objeto temos valores diferentes no visor da balança, indica que a força que o objeto exerce sobre a balança mudou por algum outro motivo que não seja mudança da massa, ficou confuso? Vamos discutir mais sobre o assunto.

Precisamos saber e esclarecer a relação entre as grandezas, massa e força. Pensemos assim: A balança mede a força, e converte esta força para massa para casos específicos de atração gravitacional iguais aos da superfície terrestre.

O cálculo realizado pela balança e que podemos fazer para estipular a força sobre os elementos, prato mais dispositivo de compressão, que iremos considerar aqui como balança, é

$$\vec{P} = m \vec{g}, \quad (1)$$

onde:

$\vec{P}$ é o peso do objeto, e por ser uma grandeza vetorial, tem direção vertical e sentido para baixo, dado em N;

m é a massa do objeto, grandeza escalar, dada em Kg;

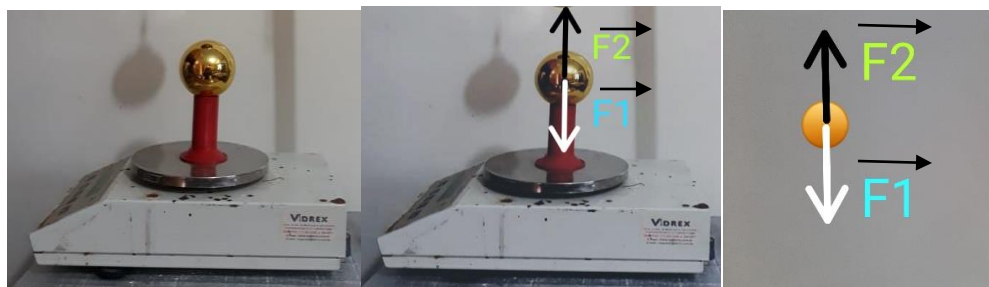
$\vec{g}$ é a aceleração da gravidade, e por ser uma grandeza vetorial, tem direção vertical e sentido para baixo, seu valor, módulo, é de aproximadamente $9,8 \text{ m/s}^2$, aqui na Terra. Valor que citamos no texto como utilizado pelas balanças aqui na Terra (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2012).

Podemos expressar as forças envolvidas em um corpo por meio de uma figura que, de forma simples, nos auxilia a compreensão de um sistema físico. Um diagrama de corpo livre, que é mostrado na Figura 7, é um esquema em que representamos todas as forças atuantes sobre um corpo, levando em consideração o módulo, direção e sentido.

Para desenhar um diagrama de corpo livre, devemos primeiramente identificar o objeto que será representado e todas as forças que atuantes sobre ele. Em seguida, representamos o objeto por meio de um ponto e cada uma das forças por setas, que são os vetores. Devemos ainda indicar o que cada item presente na figura corresponde.

Na Figura 7a podemos ver a foto de um experimento realizado em sala de aula, onde um conjunto, esfera com um suporte, está sobre uma balança, em seguida, a mesma foto, Figura 7b, com os vetores que representam as forças que atuam no conjunto, e podemos representar as forças atuantes no conjunto por meio de um diagrama de corpo livre, Figura 7c.

Figura 7– Esfera e suporte sobre a balança eletrônica e a representação das forças.
a b c



Fonte: O autor

A partir da Figura 7, consideremos os elementos da balança, prato mais dispositivo de compressão, e vamos supor que colocamos um corpo sobre o prato. Nesta situação, após o equilíbrio, a força resultante sobre o conjunto é igual a zero, ou seja, o peso do conjunto, que é a força de compressão $\vec{F}1$, sobre dispositivo de compressão, e a força de restauradora $\vec{F}2$, têm módulos dados por $F1$ e $F2$, respectivamente, e são iguais, têm mesma direção e com sentidos opostos. Temos então que a relação matemática entre os módulos da força restauradora e da força de compressão é dada por $F1 = F2$, onde $\vec{F}1$ é dada pela Equação 1, cujo módulo é P .

Ao usarmos o termo força de compressão, é na acepção de que, consideramos que a balança é um mecanismo transformador de energia potencial acumulada pela força de compressão sobre ela, em um valor referente no visor. Grosso modo, vamos propor que o mecanismo interno é uma espécie de mola, então podemos pensar na energia potencial elástica como sendo a energia acumulada sobre a balança, pelas relações $\vec{F} = -k \vec{x}$ e $E = \frac{1}{2} k x^2$, onde $\vec{F}$ é a força restauradora, k um valor constante

relacionado ao mecanismo da balança, E é a energia potencial acumulada e $\vec{x}$ é um deslocamento do prato na mesma direção e sentido da força de compressão e, portanto, no sentido oposto ao da força restauradora, quanto maior a força de compressão, maior o deslocamento $\vec{x}$, e maior é a força restauradora, ou seja, maior a energia potencial acumulada, que reflete de forma proporcional no valor mostrado no visor da balança.

É importante que ao utilizar a balança não esqueçamos o conceito tara. Tara é desconsiderar; ou medir a partir de; parte da força que é exercida sobre a balança. Então, para medir certa força sobre a balança, consideramos a força exercida sobre a balança existente, antes de aferir a força que se pretende aferir, igual a zero. Por exemplo: O bufê de restaurante, tira a tara de prato. Logo, a massa mostrada no visor da balança é só referente a refeição, pois a massa do prato é desconsiderada pela própria balança, a qual mostra massa zero quando há somente o prato. Isso é um procedimento chamado de programar ou tirar a tara da balança.

Mas, você deve estar se perguntando o porquê estamos tratando do conceito do funcionamento de uma balança. O motivo é que podemos determinar a intensidade da força elétrica a partir da força gravitacional realizando um experimento conforme apresentaremos na sequência.

3.2.2 Demonstrações da lei de coulomb com balança eletrônica

Vamos supor que você disponha de uma balança eletrônica e queira medir a interação entre cargas elétricas, ou seja, o módulo da força elétrica entre as cargas. Consideremos o aparato da Figura 9, onde há o conjunto, composto por uma esfera metalizada sobre suporte de PVC e a balança devidamente tarada, temos um outro suporte em que há outra esfera metalizada suspensa por um fio que é variável, as duas esferas estão carregadas pelo mesmo processo de eletrização, ou seja, com cargas de mesmo sinal, para garantir isto, utilizamos as informações da série triboelétrica, Figura 3. Assumamos que a esfera metalizada sobre suporte de PVC e o prato da balança tem carga elétrica Q_1 e a esfera metalizada suspensa tem carga elétrica Q_2 , e que ambas podem ser consideradas como puntiformes.

Também é necessário entender que precisamos nos valer de dois teoremas importantes porque todos os nossos procedimentos descritos anteriormente são em condições ideais nas quais os teoremas podem ser admitidos.

Uma casca com uma distribuição uniforme de cargas atrai ou repele uma partícula carregada situada do lado de fora da casca como se toda a carga estivesse no centro da casca. Se uma partícula carregada está situada no interior de uma casca com distribuição uniforme de cargas, a casca não exerce nenhuma força eletrostática sobre a partícula. (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2009, p.64)

Iniciamos o processo, fazendo com que a esfera de cima se aproxime da esfera de baixo. E à medida que a esfera de cima for aproximada da esfera de baixo, o visor da balança irá fornecer um valor em unidades de massa e que foi calibrada de acordo com o campo gravitacional da Terra e que, como vimos, para encontrar seu valor em unidades de força, devemos multiplicá-la por $9,8 \text{ m/s}^2$.

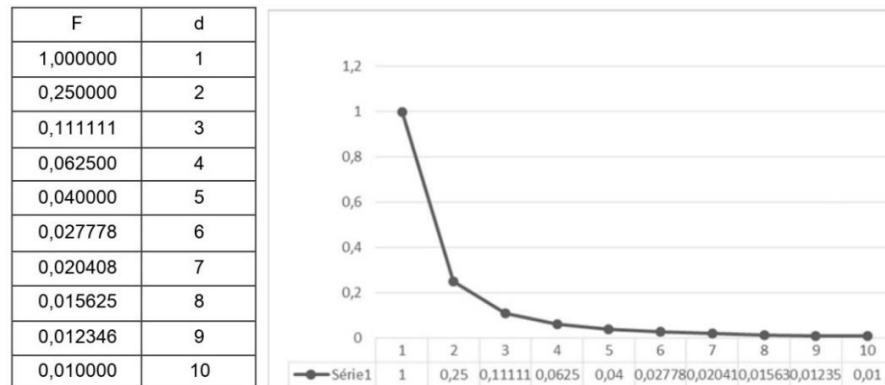
Nesse caso, como o vetor força elétrica na esfera inferior tem a mesma direção e o mesmo sentido de $\vec{F}_1$, pois as forças envolvidas são de repulsão, conforme apresentamos na Figura 7. Então, consideramos a força elétrica $\vec{F}$ como a força de compressão $\vec{F}_1$, ou seja, $\vec{F}_1 = \vec{F}$ e partir de agora denotaremos o módulo da força elétrica como F .

O visor da balança nos dá um valor, em unidades de massa e como queremos saber a força atuante, ou seja, o vetor soma resultante da aplicação das forças que agem sobre a esfera, devemos determiná-la usando a segunda lei de Newton aplicada a força peso, como vimos anteriormente quando discutimos o funcionamento de uma balança. Podemos admitir que o módulo da aceleração gravitacional terrestre $\vec{g}$ seja $g = 9,8 \text{ m/s}^2$.

Desta forma, à medida que a distância entre as esferas diminui, notamos que o módulo da força elétrica F aumenta. Se utilizarmos os dados para traçarmos um gráfico do módulo da força F por distância d , ou seja, F por d .

Percebemos que ele fornece uma curva, ou mais especificamente, uma hipérbole, e podemos relacioná-lo com a seguinte expressão: $\frac{1}{d^n}$, em que se n for um número positivo maior que 0, à medida que d aumenta, obtemos como resultado da operação, valores cada vez menores, ou seja, obtemos uma função decrescente, o expoente n nos dá o gráfico curvo. Logo, o módulo da força elétrica F será proporcional $\frac{1}{d^n}$, ou seja, $F \propto \frac{1}{d^n}$.

Figura 8 - Tabela e gráfico $F \times d$ (Valores para título de ilustração onde utilizamos $n=2$)



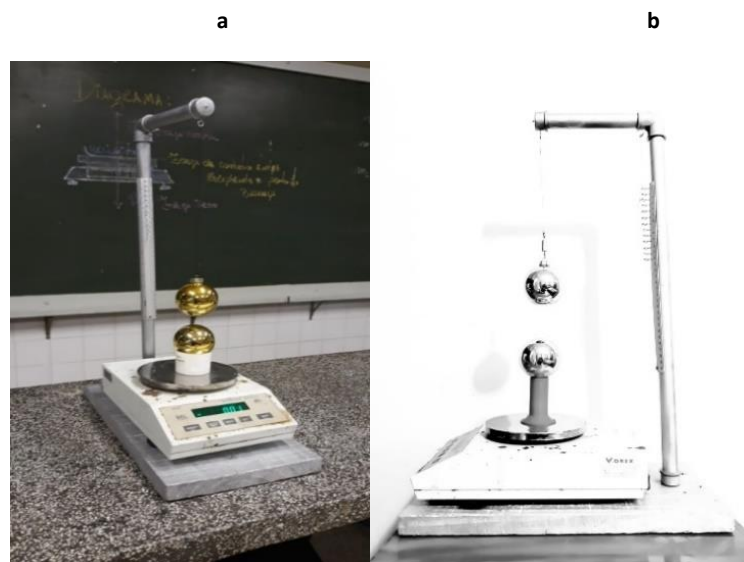
Fonte: O autor

Com os dados experimentais, é possível chegar, a partir da relação anterior, que o n deve assumir o valor de 2, portanto,

$$F \propto \frac{1}{d^2}. \quad (2)$$

Assim, a Equação 2 indica que o módulo da força elétrica F depende e diminui com o inverso do quadrado da distância.

Figura 9 – Aparato para medir força de interação elétrica entre as esferas eletrizadas



Fonte: O autor

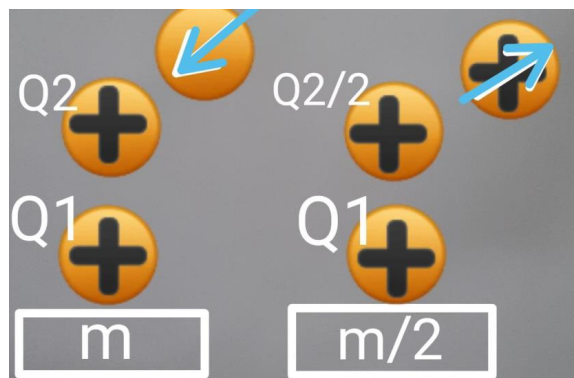
Considerando N um número qualquer, suponhamos agora que a carga elétrica em uma das esferas é diminuída de tal forma que fique com $1/N$ do valor inicial, ou seja, valor inicial da carga elétrica/ N , por isso, obtemos uma leitura diferente para o

módulo da força elétrica F , que é uma indicação de que há uma relação entre estas duas grandezas, ou seja, há uma dependência entre o módulo da força elétrica F e as cargas elétricas.

Para tal feito, façamos o seguinte: carregamos as esferas, colocamos as esferas a distância d entre si, anotamos a leitura da balança durante o distanciamento estabelecido. Em seguida, colocamos uma terceira esfera descarregada em contato com esfera superior, e parte da carga será roubada, ou seja, $(1-1/N)Q_2$ será transferida para essa esfera e a esfera pendurada, ficará com Q_2/N de carga, como representado na Figura 10, para o caso de $N=2$.

Da mesma forma, podemos realizar novamente o procedimento, porém agora colocando a esfera descarregada em contato com a esfera inferior, de tal modo que também parte de sua carga seja roubada, ou seja, $(1-1/N)Q_1$ será transferida e a esfera apoiada ficará com Q_1/N de carga.

Figura 10- Tocando a esfera superior com uma esfera igual e descarregada podemos demonstrar que a força de repulsão é diretamente proporcional ao produto das cargas.



Fonte: O autor.

Novamente, a partir da comparação dos resultados experimentais dos procedimentos descritos anteriormente, obtemos que o decréscimo na carga é proporcional ao decréscimo na intensidade da força elétrica, ou seja, decréscimo no módulo da força elétrica F , isto é, se houver um decréscimo de tal forma que a carga fique com $1/N$ do valor inicial em uma das esferas, ou seja, valor inicial da carga elétrica/ N , em uma das esferas, a intensidade da força também decai para $1/N$ do valor inicial da intensidade inicial da força elétrica, ou seja, F/N .

Portanto, podemos afirmar que módulo da força elétrica F depende e é proporcional ao produto das cargas envolvidas, ou seja,

$$F \propto Q_1 Q_2. \quad (3)$$

Com base no que descrevemos até aqui, podemos afirmar que o módulo da força elétrica F depende e diminui com o inverso do quadrado da distância, conforme a Equação 2; depende e é proporcional ao produto das cargas envolvidas, conforme Equação 3. Assim, módulo da força elétrica F , a menos de uma constante de proporcionalidade, pode ser expresso pela seguinte relação,

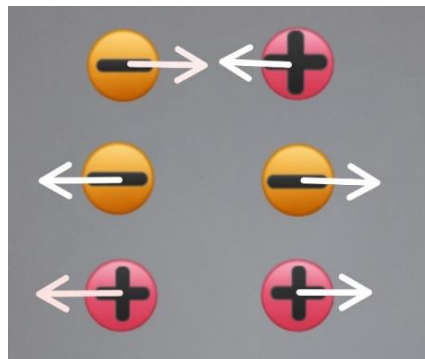
$$F \propto \frac{1}{d^2} Q_1 Q_2. \quad (4)$$

No entanto, para tornar esta expressão, Equação 4, uma igualdade lançamos mão de uma constante de proporcionalidade, K , uma vez que chegamos à relação levando em consideração as dependências citadas anteriormente. Então, admitamos, por hora que módulo da força elétrica F é expresso por

$$F = K_0 \frac{Q_1 Q_2}{d^2}. \quad (5)$$

Lembrando que força é uma grandeza vetorial, então, a força elétrica também é, e não poderia ser diferente. Assim, a força elétrica $\vec{F}$ depende do seu módulo F , dado pela Equação 5, direção e do sentido para que ela fique bem caracterizada. Em suma, esta grandeza é munida de orientação e sentido em sua aplicação.

Figura 11– Atração e repulsão elétrica em relação aos dois tipos de cargas.



Fonte: O autor

A direção da linha de atuação da força elétrica é definida de centro a centro das cargas e o sentido é dado por conta da interação ser de atração, cargas de sinais diferentes ou de repulsão cargas de sinais iguais, conforme indicado na Figura 11,

onde mostramos as situações de linha de ação, direção de atuação, entre cargas elétricas de mesmo sinal, repulsão, e de sinais diferentes, atração, e os respectivos pares de forças, ação e reação, estão indicados conforme a terceira lei de Newton. em cada situação. E, por fim, podemos expressar a força elétrica $\vec{F}$ como

$$\vec{F} = K_0 \frac{Q_1 Q_2}{d^2} \hat{r}, \quad (6)$$

onde:

$\vec{F}$ é a força elétrica, dada em N;

Q_1 e Q_2 são as cargas elétricas puntiformes, dadas em C;

d é a distância entre as cargas elétricas tomadas de centro a centro, dada em m;

K_0 é a constante eletrostática no vácuo cujo valor é $8,99 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$;

$\hat{r}$ é o versor que indica a direção da linha de atuação da força elétrica $\vec{F}$, direção de uma reta que é definida de centro a centro das cargas.

Imaginemos uma última situação, onde podemos também obter uma relação matemática com o nosso experimento proposto, que é uma variação experimental para os resultados de Coulomb. Em nosso experimento proposto, se antes de tirar os dados do experimento colocássemos as esferas superior e inferior idênticas em contato, podemos admitir que ambas ficariam com a mesma carga elétrica,

$$Q_1 = Q_2 = Q \quad (7)$$

Logo, podemos escrever o módulo da força elétrica F da seguinte forma,

$$F = \frac{K_0 Q^2}{d^2}, \quad (8)$$

ou ainda,

$$Q = \sqrt{\frac{F d^2}{K_0}}. \quad (9)$$

Utilizando a proposta acima, e utilizando uma das linhas de medidas podemos encontrar qual é, aproximadamente, a carga de cada uma das esferas eletrizadas. Sendo assim, nosso experimento é capaz de fornecer a relação entre a força e a

distância, e tendo estes dados podemos obter as quantidades de cargas elétricas nos corpos eletrizados.

Obviamente, todo o aparato: balança, esferas, suportes, condições de eletrização e procedimentos de medição que utilizamos na experiência que propusemos até aqui é bem diferente do aparato utilizado no experimento em que se chega à medida da interação elétrica, ou seja, da força elétrica $\vec{F}$.

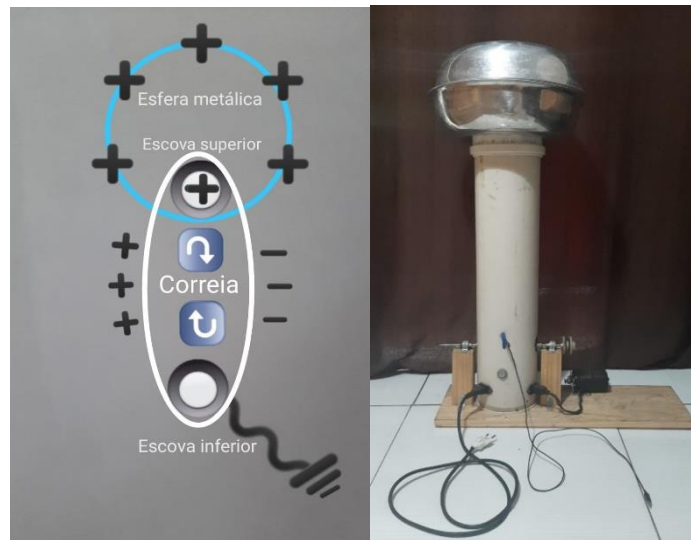
O responsável pelo experimento e, portanto, pelo feito de determinar a força elétrica entre duas cargas elétricas puntiformes, é Charles-Augustin de Coulomb, que nasceu na França em 1736. Coulomb utilizou sua balança de torção para medir a intensidade do par de forças elétricas, ação e reação, atuantes sobre duas cargas elétricas colocadas a uma determinada distância uma da outra, que podemos fazer um paralelo com a Figura 11 para ilustrar o par de forças elétricas. Desta forma, a partir desse processo de investigação experimental ele verificou a Lei de Coulomb, assim denominada em sua homenagem, que determina a força de interação elétrica entre materiais portadores de cargas, ou seja, a força elétrica $\vec{F}$ que é dada pela Equação 6.

3.3 CAMPO ELÉTRICO

Como citado anteriormente, em situações específicas podemos obter eletrização de corpos por atrito. Existem diversas aplicações de tal efeito, uma delas é a construção de um equipamento chamado Gerador de Van de Graaff (Gerador), idealizado pelo engenheiro americano Jemison Van de Graaff, em 1931. Apresentamos na Figura 12 em (a) um esquema e em (b) o Gerador caseiro construído a partir dos trabalhos referenciados (BRUNIERA, 2017; MARCONDES, 2017; NUNES FILHO, 2020).

Imagine que você possui um gerador como o apresentado na Figura 12, quando eletrizado, as cargas elétricas nele presentes, geram interação de natureza elétrica em cargas nas imediações. Vamos, por meio de tal fenômeno, buscar entender os conceitos relacionados com o campo elétrico.

Figura 12– Gerador de Van de Graaff
a b



Fonte: O autor

Para tanto, vamos elencar de forma breve como é e o funcionamento do Gerador.

Ele consiste em dois roletes, uma correia, duas escovas, um motor e a uma esfera metálica. Na figura 12, estas peças são sustentadas por um PVC cilíndrico sobre uma base de madeira.

Levando em conta que o Gerador opera realizando eletrização, segundo os efeitos triboelétricos, Figura 3, a composição dos materiais dos roletes sobre os eixos e da correia tem papel fundamental no funcionamento uma vez que a correia é eletrizada, durante o funcionamento do Gerador, por meio da escova de material condutor, a esfera metálica fica também eletrizada. A eletrização ocorre principalmente pelas cargas presentes no ar, mas também pelo aterramento da escova inferior.

Admitindo ser uma esfera metálica de raio R na parte superior do Gerador, podemos considerar que o potencial elétrico se distribui uniformemente, sendo o mesmo em todo a casca esférica do condutor. A quantidade de carga elétrica armazenada na esfera pode ser dada por:

$$Q = C V \quad (10)$$

e a capacitância por

$$C = R/K, \quad (11)$$

onde:

Q carga elétrica, dada em C;

C capacitância, dada em F

V potencial elétrico, dado em V

R raio da esfera, dado em m

K constante eletrostática do meio, dada em N. m²/C²;

Sabendo a quantidade de carga Q e que a área da superfície S da esfera, em m², é dado por

$$S = 4\pi R^2, \quad (12)$$

podemos obter a densidade superficial de cargas σ , em C/m²,

$$\sigma = \frac{Q}{S}, \quad (13)$$

substituindo Q, Equação 10, e S, Equação 12, na Equação 13, obtemos

$$\sigma = C \frac{V}{4\pi R^2}. \quad (14)$$

E substituindo a capacitância, Equação 11, temos que a Equação 14, pode ser expressa por

$$\sigma = \frac{V}{4\pi R K}. \quad (15)$$

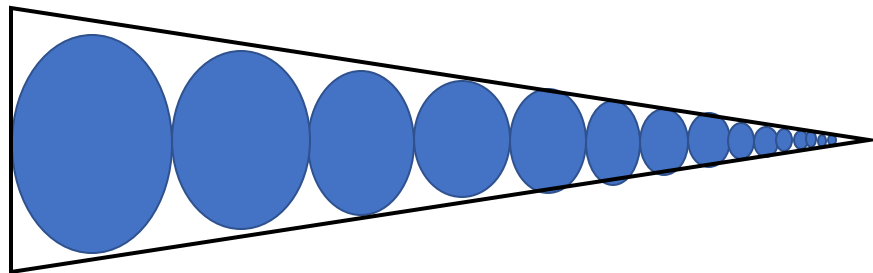
Caso coloquemos uma esfera em contato com a esfera do Gerador, ela irá ficar carregada seguindo a mesma ideia apresentada, como V, π e K são constantes a densidade superficial de de cargas elétricas é inversamente proporcional a R,

$$\sigma \propto 1/R. \quad (16);$$

Quanto menor o raio maior a quantidade de cargas acumuladas, sendo maior a quantidade de cargas acumuladas, maior a intensidade da força de interação com outra suposta carga elétrica que se encontre nas proximidades.

Podemos inclusive, seguindo este raciocínio, pensar no motivo das fagulhas elétricas aparecerem principalmente nas extremidades, o que é conhecido como poder das pontas, ou seja, as cargas elétricas tendem a se concentrar mais nas extremidades mais pontiagudas, conforme mostramos na Figura 13, em que aproximamos a representação de uma ponta metálica a um conjunto de esferas, de raios diferentes, em contato entre si (NUNES FILHO, 2020).

Figura 13– Representação poder das pontas



Fonte: O autor

3.3.1 Rigidez dielétrica do ar

Suponhamos que tenhamos uma grande diversidade de materiais a nossa disposição e vamos experimentá-los atravessando cargas elétricas por eles, logo vamos notar que podemos dividir estes materiais em pelo menos dois grupos conforme a facilidade que as cargas elétricas têm de fluir através deles. É comum na literatura dividirmos os materiais em dois grupos, os condutores e os isolantes.

Os condutores são aqueles em que os elétrons, têm facilidade em fluir através dos materiais. Os elétrons das bandas condução, destes átomos, estão ligados de tal forma que se comportam como livres, não pertencentes a um só átomo do material, mas a todo grupo de átomos, podendo fluir facilmente.

De outra forma, se considerarmos os isolantes, os elétrons estão bem ligados aos átomos, sendo assim, dificilmente vão fluir pelo material.

Mas, se submetemos os materiais isolantes a grandes diferenças de potencial, os elétrons vão acabar fluindo através do material, é o caso das descargas elétricas visíveis no Gerador, onde pequenos raios elétricos atravessam o ar. Isso, no ar, acontece quando temos aproximadamente 3000 Volts de tensão para cada 1

centímetro de coluna de ar, ou como geralmente é proposto pela literatura, ruptura dielétrica do ar: $3 \times 10^6 \text{ V/m}$.

3.3.2 Demonstração do campo elétrico por meio do gerador de van de graff

Pensando que as cargas produzem interação e usando a situação representada na Figura 14, vamos assumir que a carga Q , situada no ponto C , tem uma região de influência elétrica que chamamos de campo elétrico $\vec{E}$, grandeza física que pode ser mensurado em qualquer ponto P da região.

Podemos, então, lembrando do que é carga elétrica e força elétrica, determinar uma grandeza chamada campo elétrico. O vetor campo elétrico $\vec{E}$, em um ponto do espaço, pode ser obtido por meio da razão entre a força elétrica $\vec{F}$, e a carga elétrica q , que interage com a carga geradora Q do campo elétrico $\vec{E}$, Figura 14, representada pela seguinte expressão,

$$\vec{E} = \vec{F}/q, \quad (17)$$

onde:

$\vec{E}$ é o campo elétrico, dado em N/C;

$\vec{F}$ é a força elétrica, dada em N;

q é carga elétrica, carga de prova, situada no ponto P , dada em C;

Q é carga elétrica geradora do campo elétrico $\vec{E}$, dada em C.

Então, podemos expressar a intensidade do campo elétrico no ponto P , ou seja, o módulo do campo elétrico E por

$$E = F/q. \quad (18)$$

E ainda, o campo elétrico $\vec{E}$ criado pela carga Q puntiforme em repouso pode também ter o módulo de campo elétrico E determinado pela expressão,

$$E = \frac{K_0 \cdot Q}{d^2}. \quad (19)$$

onde:

E é o módulo do campo elétrico, dado em N/C;

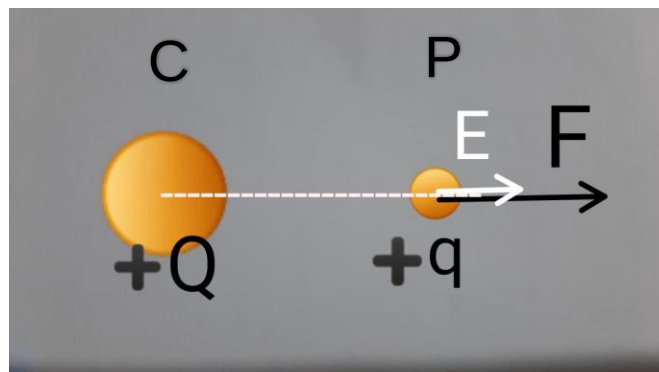
Q é carga elétrica geradora do campo elétrico $\vec{E}$, dada em C;

K_0 é a constante eletrostática no vácuo cujo valor é $8,99 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$;

d é a distância entre a carga Q , no ponto C, e o ponto P, Figura 14, onde se deseja determinar a intensidade, módulo do campo elétrico E , em m.

Pelas Equações 17, 18 e 19, e Figura 14, podemos dizer que a direção do vetor campo elétrico $\vec{E}$ é dada pela reta definida pelos pontos P e C, em C se encontra carga Q , e o sentido campo elétrico $\vec{E}$ aponta para C se Q é negativa; e no sentido oposto, se Q é positiva, como apresentado na Figura 14. E também pela Equação 17, vemos que a direção do campo elétrico é a mesma da força elétrica, e o sentido depende do sinal da carga Q .

Figura 14– interação entre cargas pontuais



Fonte: O autor

A ideia da existência de campo vem do desenvolvimento da teoria da gravitação universal por Isaac Newton no séc. XVII, e surgiu exatamente da dificuldade de aceitar que uma partícula possa afetar outra sem contato entre ambas, ou seja, haja a interação à distância, como uma extensão do efeito de um corpo, ou do próprio corpo. A explicação da física clássica reside no conceito do campo de força. Desta forma, uma vez que interações de cargas elétricas estáticas são dadas pela Lei de Coulomb, Equação 6, ou seja, forças eletrostáticas, e como vimos com interação a distâncias, surge a necessidade de definir um campo de forças eletrostáticas, um campo elétrico.

E por muito tempo, atribui-se o nome de éter, algo hipotético e merecedor de discussão e investigação, a esse campo mediador que transmite as forças eletrostáticas. Escrevendo brevemente, temos na mitologia grega a ideia do éter como o céu de ar puro, respirado pelos deuses, diferente do ar, ar respirado pelos seres na Terra. E como veremos na sequência de forma breve a sua relevância para o entendimento do conceito de campo elétrico. (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2012).

No século XIX, o eletromagnetismo da física clássica alcançou seu ápice, foi quando, a partir dos conceitos sobre três elementos teóricos e hipotéticos, o éter, as ondas e o átomo, articulados com as novas ideias de campo e energia trouxeram à tona a unificação da ótica, da eletricidade e do magnetismo. Vale lembrar que esses três elementos vinham sendo propostos a algum tempo e foram concebidos como tipos especiais de matéria atomizada.

Essa visão atomística original evoluiu naturalmente a partir da ideia do éter dinâmico de Newton e, no caso da ótica, implicou uma simplificação da teoria dual. De fato, a própria luz assumiu natureza 'etérea' e as forças que mediavam sua interação com a matéria ordinária acabaram por esvaziar a função original do éter newtoniano. Já a visão ondulatória original esteve comprometida com a crença metafísica na existência de uma ou mais entidades contínuas que, além de ocupar todo o espaço, tinham como propriedade essencial a capacidade de sustentar variações locais de suas respectivas densidades. A visão ondulatória operou um deslocamento conceitual de extrema importância: luz, calor, eletricidade e magnetismo não eram mais concebidos A Estrutura Conceitual da Física do Século XIX como diferentes tipos especiais de matéria, mas como movimento que se propagava como perturbação em, eventualmente, diferentes tipos de substrato material. Com isso, a hipótese da existência de vários éteres ressurgiu naturalmente (POLITO, 2016, p. 84, grifo do autor).

E o éter, por sua vez, deveria ter certo tipo de elasticidade para sustentá-los, em que se fez necessário o uso de diferentes modelos mecânicos para explicar a teoria, o campo é um deles. Neste momento, como a estes fenômenos são de mais difícil compreensão observacional dos fatos, logo, de distinção sobre os modelos sendo ou não descrições fiéis da natureza. Então, tornou-se crescente o interesse por descrições matemáticas mais sofisticadas.

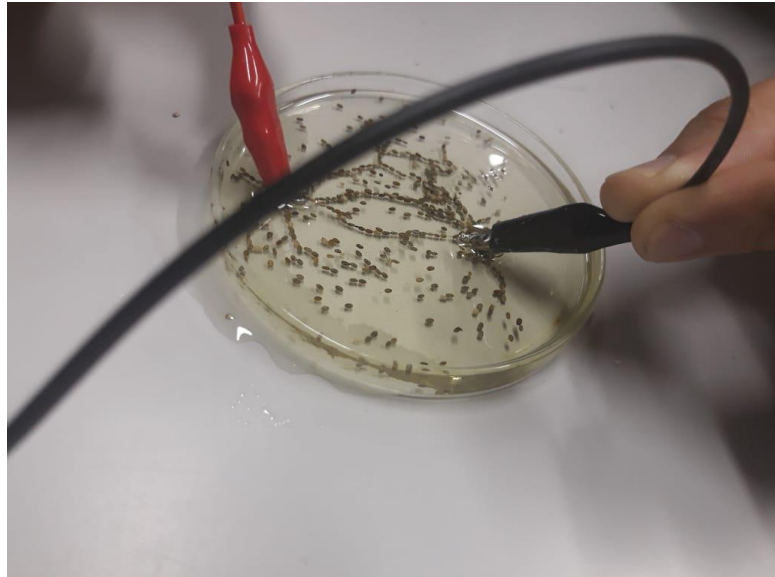
No século XIX e XX, o éter foi cada vez mais perdendo espaço, pois nunca foi comprovado. Por outro lado, o campo elétrico tem existência física, na física quântica o campo elétrico explicado. Porém, em sala de aula, para que possamos bem iniciar

o estudo do campo elétrico é mais conveniente que, neste momento, utilizemos a teoria da física clássica.

3.3.3 Linhas de campo.

Nosso Gerador descrito anteriormente, estando eletrizado, e supondo que as cargas se distribuem em um condutor a fim de que o potencial elétrico seja constante ao longo do material, é capaz de transmitir este excesso ou falta de cargas através do condutor. Tendo isso, suponha que elaboremos a montagem como a mostrada na Figura15.

Figura 15 – Aparato, pontas carregadas em azeite (isolante) onde flutuam sementes de grama.



Fonte: O autor

Onde os condutores eletrizados, fio vermelho ligado a escova superior, positiva, e o fio preto, a escova inferior, negativa, Figura 12a, que vamos chamar de eletrodos, têm uma distância entre si, ao serem parcialmente submersos em um óleo vegetal, e sobre o óleo vegetal espalhamos sementes de grama, notamos o seguinte efeito, as sementes manifestam o campo elétrico ali presente.

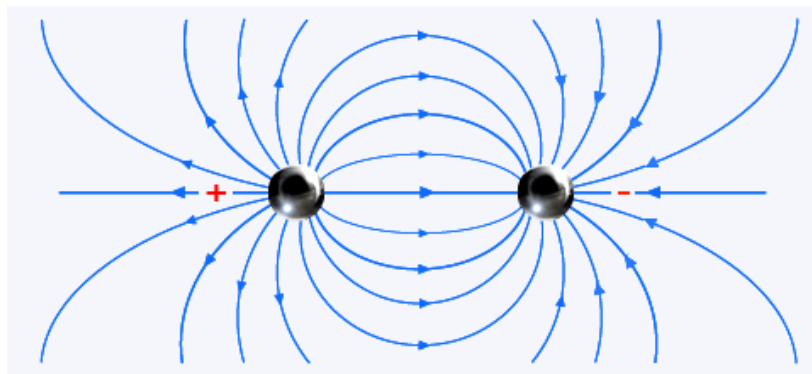
A disposição apresentada pelas sementes de grama nos induz a pensar que o campo elétrico tem uma certa configuração, as linhas apresentadas são conhecidas como linhas de campo elétrico, Figura 16.

Inicialmente, Michael Faraday concebeu o espaço envolto a linhas de força, posteriormente, com o advento do conceito de campo elétrico, campo de forças, atribui-se as linhas de campo elétrico.

As linhas imaginárias servem apenas para fim de exprimir o campo elétrico, pois representam a soma vetorial dos campos elétricos naquele espaço. Cada linha é composta por infinitos pontos e atribuído a cada ponto há um campo elétrico $\vec{E}$ com seu módulo, direção sempre tangente a linha naquele ponto e sentido de acordo com o sinal da carga geradora.

Desta forma, cada uma das linhas imaginárias contém orientação bem definida e nunca se cruzam ou interceptam entre si. Seu sentido em cada ponto tem o mesmo do vetor campo elétrico, formando, assim, uma representação do campo elétrico no espaço. A proximidade entre as linhas representa a intensidade do campo elétrico naquela região do espaço. Uma carga elétrica sobre a linha terá sobre si uma força elétrica atuante, de mesma direção da linha. Se a carga sobre a linha, chamada de carga de prova, for positiva, sente uma força de mesmo sentido da linha de campo elétrico, caso a carga de prova for negativa, sobre ela atua força contrária ao sentido da linha de campo elétrico (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2009).

Figura 16 – Linhas de Campo elétrico



Fonte: LINHA DE FORÇA. USP e-Física. 2019 Disponível em: http://efisica.if.usp.br/eletricidade/basico/campo/linha_forca/. Acesso em: 27 out. 2019

4 MATERIAS E MÉTODOS

Destinamos capítulo à apresentação de traços mais relevantes e pertinentes em relação ao produto educacional e que inclui a sua respectiva aplicação.

Para que possamos bem nos localizar nesta leitura devemos esclarecer que quando usamos a palavra prática, nos referimos a realização do experimento de forma ampla, ou seja, engloba toda a proposta e seu desenvolvimento, levando em conta as situações gerais, leitura, observação as orientações do roteiro, atenção aos detalhes dos procedimentos, e particulares de cada realização, como a conversa entre os alunos, suas observações, seus comentários, suas posições no processo da experimentação, suas possíveis soluções, suas proposições e hipóteses. Assim, o vínculo do roteiro com a prática é no sentido de uma avaliação formativa, onde o conhecimento é constantemente negociado, uma vez que acreditamos que isto transforma a sala de aula em uma situação almejada por nós e condizente com nossa proposta. Pois, é assim que possibilitamos o processo de construção de significados.

Em tempo, considerando o dinâmico e acessível mundo em que vivemos, durante a execução dos experimentos os grupos utilizaram artigos e sites diversos e vídeos da internet no celular pessoal, espontaneamente. O que é visto com bons olhos e faz parte da prática, mas que precisa de alguns cuidados do professor. Além das pesquisas inadequadas ao ambiente escolar e mau uso do aparelho, um dos cuidados deve ser relacionado a identificar os erros e acertos conceituais, tornando-os item de discussão. O que podemos incluir ao que chamamos de negociar o conhecimento.

4.1 DESCRIÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL

Abordagem da concepção e da compreensão do conceito de interações elétricas por meio da aplicação do produto educacional DA ELETRIZAÇÃO À INTERAÇÃO A DISTÂNCIA (Apêndice) composto dos capítulos:

1. INTRUDUÇÃO – onde apresentamos a organização do produto educacional, sua composição e organização.
2. PLANEJAMENTO – que elaboramos com o objetivo preparar o professor para aplicação da unidade de ensino, ou seja, da sequência didática proposta.

3. TEORIAS DA FÍSICA – onde discutimos os conceitos da física relacionados às interações elétricas, as aplicações experimentais e o conteúdo desenvolvido no produto educacional.
4. ORIENTAÇÕES AO PROFESSOR – onde fornecemos os roteiros a serem utilizados pelo professor antes, durante e depois de cada uma das aulas.
5. ROTEIROS EXPERIMENTAIS – onde fornecemos os roteiros que devem ser utilizados pelas equipes de alunos durante as aulas para orientação e registros, e que são fornecidos em formato de pastas.
6. APARATOS UTILIZADOS – onde temos um roteiro simplificado de como montar os aparatos utilizados na proposta.
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS – finalizamos com breve parágrafo sobre o produto educacional em geral.

4.2 APLICAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL

A aplicação do produto educacional foi realizada em um total de 12 horas aulas de 50 minutos, distribuídas em três momentos. Abrangendo os conceitos de carga elétrica, força elétrica e campo elétrico, levando em conta o contexto histórico, nos preocupando com a transposição didática e, por isso, com adaptações feitas durante as aplicações, uma vez que consideramos o processo dinâmico e conforme será mencionado ao longo desta descrição.

Isto ponto, para promover o esclarecimento de como o produto educacional foi desenvolvido, apresentamos uma síntese breve de cada uma das 12 aulas e seguindo o cronograma estabelecido.

Ressaltamos que todos os roteiros aplicados continham a orientação inicial para que se fizesse um levantamento de todos os materiais à disposição na bancada e o devido registro no campo indicado. O objetivo era fazer com que o grupo reconhecesse os materiais utilizados em cada experimento, deixando, assim, o desenvolvimento da atividade e os registros mais organizados.

4.2.1 Momento 1: 1. eletrização, aulas 1 a 5

Para produção dos experimentos das Aulas 1 a 3, nós tomamos como base os trabalhos de Assis (2010, 2018) e Saad *et al.* (2020), porém com adaptações e elaboramos a parte da sequência didática deste momento.

Aula 1 (Início): Com os alunos em sala, realizamos a apresentação do trabalho a ser desenvolvido, orientamos a formarem equipes de dois a quatro integrantes. Em seguida distribuímos as pastas, uma para cada equipe. Vale ressaltar que a pasta os acompanhou até o fim da aplicação do produto educacional porque continha um campo para identificação de cada integrante da equipe, sendo que ela tinha por finalidade guardar os ROTEIROS EXPERIMENTAIS.

Ainda antes de receber os roteiros experimentais do Momento 1 e começar a realizar os experimentos dispostos em bancadas, foram orientados sobre observar cada detalhe da prática e respectivos efeitos observados, para que fizessem isso sempre levando em conta os seguintes aspectos:

- i. Tente explicar de que forma estas interações acontecem.
- ii. Pensando na composição dos materiais, levante hipóteses sobre os possíveis motivos e como as interações acontecem. E se é diferente para os diferentes materiais.

Aula 1 (continuação) e Aula 2: Parte da Aula 1 foi dedicada a explicação de todo o processo, como descrito anteriormente. Sobre os roteiros, compostos por orientações para realizar os experimentos e registros, dentre elas, registrar todos os materiais que estão sobre a bancada, ler atentamente próprio roteiro experimental e realizar o experimento em equipe, descrevendo detalhadamente quais foram os processos realizados e efeitos observados. Sendo que para realizar estas anotações foram orientados a utilizarem, além da descrição na forma de texto, gravuras, desenhos, tabelas, mapas conceituais e mapas mentais. Durante todo este processo foram estimulados a levantar hipóteses sobre os possíveis motivos.

Em seguida, demos início às práticas, uma vez que, na sala estavam dispostos quatro experimentos de eletrização de isolantes, estes montados em bancadas replicadas em número compatível com o número de equipes de forma que os alunos seguissem em rodízio, de forma orientada para que todas as equipes pudessem realizar todos os experimentos. Eles estavam acompanhados de seus respectivos roteiros a serem seguidos e preenchidos de forma colaborativa e que se estendeu até a Aula 2,

ou seja, a apresentação e realização dos quatros experimentos foi durante as duas primeiras aulas.

Neste momento os alunos foram desafiados a relatar sobre os efeitos observados e a principal diferença entre os efeitos observados em cada etapa da prática, levantando hipóteses sobre as possíveis causas. O objetivo era que em aulas futuras descobrissem que existem dois tipos de cargas.

Prática 1. Eletrização de Isolantes: A seguir vamos dispor o Quadro 4.1 o resumo dessa Prática com Etapas, Materiais, Desafios e Expectativas.

Quadro 4.1: Resumo da Prática 1. Eletrização de Isolantes, Aulas 1 e 2.

Etapas	Materiais	Desafios	Expectativas
4.1: L1	Canudinho não eletrizado; Papeizinhos; Bolinhas de isopor; Parede de alvenaria; lousa.	Aproxime o canudinho dos seguintes objetos: papeizinhos; bolinhas de isopor; parede e lousa	Nenhum efeito.
4.1: L2	- Canudinho e guardanapo; Canudinho eletrizado e papeizinhos. - Canudinho eletrizado e bolinhas de isopor. Canudinho eletrizado e parede de alvenaria ou lousa	Atrite um canudinho com um guardanapo. Aproxime o canudinho dos papeizinhos. Das Bolinhas de isopor. - Aproxime o canudinho da parede	Atração entre os objetos. Canudinho fica fixo na parede
4.1: L3	Canudinho eletrizado e papeizinhos; bolinhas de isopor e parede de alvenaria.	Efetue bastante, contato com a mão, levante hipóteses sobre os possíveis motivos.	As propriedades de atração desaparecem.

Fonte: O autor

Prática 2. Canudinho suspenso, pêndulo de torção: A seguir vamos dispor o Quadro 4.2 o resumo dessa Prática com Etapas, Materiais, Desafios e Expectativas.

Quadro 4.2: Resumo da Prática 2. Canudinho suspenso, pêndulo de torção. Aulas 1 e 2.

Etapas	Materiais	Desafios	Expectativas
4.2: L1	Canudinho não eletrizado; Canudinho suspenso não eletrizado; Guardanapo	Aproxime o canudinho dos seguintes objetos: Papeizinhos; Bolinhas de isopor; Parede e quadro negro;	Nenhum efeito
4.2: L2	Canudinho não eletrizado e guardanapo; Canudinho eletrizado; Canudinho suspenso não eletrizado.	Atrite um canudinho com um guardanapo. Aproxime canudinho eletrizado ao canudinho suspenso e não eletrizado.	Nota-se efeito de atração até que os canudinhos se toquem
4.2: L3	Canudinho suspenso não eletrizado e guardanapo Canudinho eletrizado; Canudinho suspenso eletrizado	Atrite o canudinho suspenso com um guardanapo. Aproxime canudinho eletrizado e canudinho suspenso e eletrizado.	Nota-se efeito de repulsão

Fonte: O autor

Prática 3. Filete de água: A seguir vamos dispor o Quadro 4.3 o resumo dessa Prática com Etapas, Materiais, Desafios e Expectativas.

Quadro 4.3: Resumo da Prática 3. Filete de água, Aulas 1 e 2.

Etapas	Materiais	Desafios	Expectativas
4.3: L1	Canudinho não eletrizado e filete de água.	Aproxime canudinho do filete de água.	Não nota-se nenhum efeito
4.3: L2	Canudinho não eletrizado e guardanapo; Canudinho eletrizado e filete de água	Atrite um canudinho com um guardanapo. Aproxime canudinho do filete de água.	Nota-se uma leve distorção no filete de água.

Fonte: O autor

Prática 4. Bolinhas de isopor: A seguir vamos dispor o Quadro 4.4 o resumo dessa Prática com Etapas, Materiais, Desafios e Expectativas

Quadro 4.4: Resumo da Prática 4. Bolinhas de isopor, Aulas 1 e 2.

Etapas	Materiais	Desafios	Expectativas
4.4: L1	Pacote plástico inflado com ar com bolinhas de isopor no interior. Frasco PET com bolinhas de isopor no interior.	Agite o pacote plástico. Agite o frasco com as bolinhas.	Nota-se efeito de flutuação das bolinhas devido repulsão que sentem entre si.
4.4: L2	Placa de PVC sem eletrizar, lã e bolinhas de isopor.	Aproxime os itens disponíveis.	Não se nota nenhum efeito
4.4: L3	Placa de PVC, lã e bolinhas de isopor.	Atrite o PVC com a lã e aproxime das bolinhas de isopor.	Nota-se atração das bolinhas em um efeito de saltos

Fonte: O autor

Aula 3: Na sala aula estavam dispostos quatro experimentos de eletrização de condutores, e o procedimento adotado foi o mesmo das Aulas 1 e 2 e a apresentação e realização dos quatros experimentos foi durante essa aula.

Prática 5. Garrafa de Leyden: A seguir vamos dispor o Quadro 4.5 o resumo dessa Prática com Etapas, Materiais, Desafios e Expectativas

Quadro 4.5: Resumo da Prática 5. Garrafa de Leyden, Aula 3.

Etapas	Materiais	Desafios	Expectativas
4.5: L1	Canudinho não eletrizado; garrafa de Leyden.	Aproxime efetue contato do canudinho da bolinha de alumínio sobre a garrafa de Leyden.	Não se nota nenhum efeito.
4.5: L2	Canudinho e guardanapo; Canudinho eletrizado; Garrafa de Leyden.	Atrite um canudinho com um guardanapo. Segurando com a mão a parte externa da garrafa, aproxime o canudinho da bolinha de alumínio sobre a garrafa de Leyden.	Observa-se fagulhas elétricas.
4.5: L3	Canudinho eletrizado e garrafa de Leyden.	Segurando com a mão a parte externa da garrafa, realize o contato do canudinho da bolinha de alumínio sobre a garrafa de Leyden. Logo após aproxime o dedo da bolinha de papel alumínio.	A garrafa acumula carga elétrica, portanto pode-se sentir um leve choque.

Fonte: O autor

Prática 6. Eletroscópio de folhas: A seguir vamos dispor o Quadro 4.6 o resumo dessa Prática com Etapas, Materiais, Desafios e Expectativas

Quadro 4.6: Resumo da Prática 6. Eletroscópio de folhas, Aula 3.

Etapas	Materiais	Desafios	Expectativas
4.6: L1	Canudinho não eletrizado; Eletroscópio de folhas.	Aproxime e efetue o contato do canudinho da bolinha de alumínio sobre o eletroscópio de folhas.	Nenhum efeito.
4.6: L2	Canudinho e guardanapo; Canudinho eletrizado; Eletroscópio de folhas.	Atrite um canudinho com um guardanapo. Aproxime o canudinho da bolinha de alumínio sobre o eletroscópio de folhas.	As lâminas de alumínio se afastam e retornam ao estado inicial quando afastamos o canudinho.
4.6: L3	Canudinho eletrizado; Eletroscópio de folhas.	Realize o contato do canudinho da bolinha de alumínio sobre a eletroscópio de folhas.	As lâminas de alumínio se afastam e permanecem afastadas.

Fonte: O autor

Prática 7. Eletroscópio de folhas e eletróforo: A seguir vamos dispor o Quadro 4.7 o resumo dessa Prática com Etapas, Materiais, Desafios e Expectativas

Quadro 4.7:Resumo da Prática 7. Eletroscópio de folhas e eletróforo, Aula 3.

Etapas	Materiais	Desafios	Expectativas
4.7: L1	Eletróforo; Eletroscópio de folhas.	Segurando o eletróforo pelo cabo, cano de PVC, aproxime da bolinha de alumínio do eletroscópio de folhas.	Nenhum efeito.
4.7: L2	Eletróforo; Placa de PVC; Eletroscópio de folhas.	Atrite a placa de PVC com a lã; Coloque o eletróforo de metal em contato com a placa de PVC; Aproxime o eletróforo da bolinha de alumínio do eletroscópio de folhas.	As lâminas de alumínio se afastam e retornam ao estado inicial quando afastamos o eletróforo
4.7: L3	Eletróforo; Placa de PVC; Eletroscópio de folhas	Atrite a placa de PVC com a lã; Coloque o eletróforo de metal em contato com a placa de PVC; efetue o contato entre eletróforo da bolinha de alumínio do eletroscópio de folhas.	As lâminas de alumínio se afastam e permanecem afastadas.
4.7: L4	Eletróforo; Eletroscópio de folhas.	Coloque o dedo sobre a bolinha de papel alumínio do eletroscópio de folhas	As lâminas deixam de ficar afastadas.

Fonte: O autor

Prática 8. Garrafa de Leyden e Eletroscópio de folhas: A seguir vamos dispor o Quadro 4.8 o resumo dessa Prática com Etapas, Materiais, Desafios e Expectativas

Quadro 4.8: Resumo da Prática 8. Garrafa de Leyden/Eletroscópio de folhas, Aula 3.

Etapas	Materiais	Desafios	Expectativas
4.8: L1	Eletróforo; Garrafa de Leyden.	Segurando o eletróforo pelo cabo, cano de PVC, aproxime da bolinha de alumínio da garrafa de Leyden.	Nenhum efeito.
4.8: L2	Eletróforo; Placa de PVC; Garrafa de Leyden.	Atrite a placa de PVC com a lã. Coloque o eletróforo de metal em contato com a placa de PVC. Aproxime o eletróforo da bolinha de alumínio da garrafa de Leyden.	Observa-se fagulhas elétricas.
4.8: L3	Eletróforo; Placa de PVC; Garrafa de Leyden.	Realize contato entre o eletróforo e a bolinha de alumínio da garrafa de Leyden. Coloque o dedo sobre a bolinha de papel alumínio da garrafa de Leyden.	A garrafa acumula carga elétrica, portanto pode-se sentir um leve choque.

Fonte: O autor

Aula 4: Nesta aula fizemos uma apresentação com um breve histórico da eletrização.

Assim, esta aula ocorreu em uma sala do colégio denominada sala multimídia, por meio de uma apresentação em forma de conversa mediada e de acordo com a sequência de slides proposta pudemos percorrer pela história da eletricidade de forma breve.

Iniciamos a apresentação pelos primeiros registros feitos pelos biógrafos dos gregos antigos, que citam o âmbar e o fato de ele ter apresentado interação com

outros objetos. A partir disto, avançamos de forma breve sobre aplicação e entendimento da eletricidade ao longo dos anos, citando experimentos de levitação por repulsão elétrica, ou fagulhas que podiam incendiar líquidos inflamáveis, entre outros, ou seja, as chamadas magias da idade média. Constou também em nossa apresentação os experimentos de Galvani e as concepções sobre a eletricidade ao longo do tempo, levando em conta a relação que produções artísticas, como o romance Frankenstein, ou o Prometeu Moderno de Mary Shelley, têm com estas concepções. Neste momento eles tinham também o desafio de fazer registros.

Aula 5: Nesta aula, realizamos a síntese integradora deste Momento 1, em forma de assembleia, sentados em forma de círculo, fizemos uma conversa envolvendo toda a turma. Para guiar a conversa, pedimos que utilizassem os roteiros das equipes e procuramos discutir todas as anotações, ou seja, fizemos um esforço no sentido de repassar todos os roteiros e, assim, possibilitar que pudessem recuperar os processos e ideias discutidas durante as práticas, que os colegas de outras equipes pudessem compartilhar as suas anotações com os demais e houvesse ampla discussão no sentido de criar um ambiente favorável para a ocorrência de uma aprendizagem significativa sobre o assunto.

4.2.2 Momento 2: 2. Força elétrica, aulas 6 a 9

Para produção dos experimentos das Aulas 6 a 8, nós tomamos como base o artigo de Cortel (1999), porém com adaptações e elaboramos a parte da sequência didática deste momento.

Aula 6: Esta aula é, na realidade, uma prévia momento 2, ou seja, é um pré-requisito necessário, uma vez que usamos uma balança durante todas as práticas do presente momento, ou seja, para que pudéssemos bem desenvolver a prática da Aulas 7 e 8, aulas seguintes, foi importante que os estudantes tivessem clareza conceitual sobre o funcionamento de uma balança, entendendo os conceitos de força peso, força normal, contato, massa, aceleração da gravidade e as três leis de newton aplicadas a medida da massa. Então, podemos perceber que se trata de um organizador prévio porque são necessários subsunçores que devem surgir nesta prática para que as práticas seguintes desse mesmo momento sejam bem sucedidas. Por este motivo, decidimos fazer um diálogo sobre o funcionamento de uma balança.

As equipes foram orientadas a registrar uma figura da balança presente na lousa, a fim de construir um diagrama de corpo livre de acordo com a seção 3.1 do Capítulo 3, ao longo da Prática. O objetivo era aperfeiçoar os registros dos estudantes e auxiliar na aprendizagem, além de produzir o diálogo dentro de cada equipe sobre o ato de registrar e suas aplicações. Fizemos o desenho na lousa, ele foi construído e cada elemento do diagrama discutido junto com os alunos. Vale ressaltar que o desenho que construímos, foi a partir do que está representado na Figura 7 do Capítulo 3.

Prática 9. Um diálogo sobre o funcionamento de uma balança: A seguir vamos dispor o Quadro 4.9 o resumo dessa Prática com Etapas, Materiais, Desafios e Expectativas

Quadro 4.9: Resumo da Prática 9. Um diálogo sobre o funcionamento de uma balança, Aula 6.

(continua)

Etapas	Materiais	Desafios	Expectativas
4.9: L1	Balança; Diagrama figura na lousa.	Construir registro de figuras que representem a prática e possibilitem o entendimento, utilizar formalismo matemático.	Registro colaborativo, nos roteiros e na lousa, do diagrama de forças referente ao experimento.
4.9: L2	Balança e seu Prato vazio.	Observe a medida do prato vazio.	Registro do valor da massa conforme visor da balança.
4.9: L3	Balança e seu prato cheio de guloseima	Observe a medida do prato cheio sobre a balança. Efetuar subtração: $M_{\text{prato cheio}} - M_{\text{prato vazio}} = M_{\text{líquida}}$	Registro do valor da massa do prato cheio, conforme visor da balança, entender que é massa bruta. Realizar o cálculo e encontrar a apenas a massa do conteúdo do prato cheio (massa líquida).

Quadro 4.9: Resumo da Prática 9. Um diálogo sobre o funcionamento de uma balança, Aula 6.

(conclusão)

Etapas	Materiais	Desafios	Expectativas
4.9: L3	Balança e seu prato cheio de guloseimas	Observe a medida do prato cheio de guloseimas sobre a balança. Efetuar subtração: $M_{\text{prato cheio}} - M_{\text{prato vazio}} = M_{\text{liquida}}$	Discutido o valor de g local e encontrado valor da massa podemos realizar o cálculo e encontrar uma solução
4.9: L4	Balança	Um membro da equipe aplica com o dedo sobre a balança uma força equivalente a força Por meio do conceito de força peso: $\vec{P} = m \vec{g}$, ou em módulo $P = m g$, descubra qual a força aplicada, pela massa liquida. Discutam em equipe se natureza das forças aplicadas sobre a balança é diferente.	O valor mostrado no visor se altera, e o aluno consegue chegar em um valor bem próximo do que se pede.

Fonte: O autor

Aulas 7 e 8: Nestas duas aulas fizemos a demonstrações da Lei de Coulomb com o uso de uma balança eletrônica. Vale ressaltar mais uma vez que as duas Práticas têm como base o trabalho de Cortel (1999). O roteiro proposto iniciou nos contando que, por meio de uma balança eletrônica e corpos carregados, podemos realizar uma experimentação, e estabelecer a intensidade das interações elétricas, pelo menos aproximadamente. E seguiu descrevendo sobre a Prática a ser realizada, porém resgatando elementos necessários da prática anterior, Prática 6.

Como visto no capítulo 3 seção 3.2.1 e também na Aula 6, o valor da massa apresentado no visor da balança e o processo de obtenção.

Neste aparato experimental, existe a situação em que uma força de mesma direção porém sentido contrário a gravitacional (força elétrica de atração) acaba por mudar a intensidade entre a força de contato entre o corpo e o prato da balança, refletindo na variação do valor indicado no visor da mesma. Logo, sendo conhecida a nova força resultante, que é igual a força que atua sobre a balança, ambas obtidas da conversão dos dados fornecidos pela própria balança. Podemos estipular a força de natureza elétrica utilizando o digrama de forças como visto no capítulo 3, neste aparato experimental existe a situação em que a força elétrica tem mesma direção e sentido da força de compressão.

Prática 10. Demonstrações da Lei de Coulomb com balança eletrônica – dependência do inverso do quadrado da distância: A seguir vamos dispor o Quadro 4.10 o resumo dessa Prática com Etapas, Materiais, Desafios e Expectativas.

Quadro 4.10: Resumo da Prática 10. Demonstrações da Lei de Coulomb com balança eletrônica – dependência do inverso do quadrado da distância, Aula 7.

(continua)

Etapas	Materiais	Desafios	Expectativas
4.10: L1	Roteiro, Balança eletrônica; Bolas de natal metalizadas; Suporte; canudinho e guardanapos.	- Coloque uma das esferas sobre a balança. - Tire a tara. - Carregue as esferas.	Obtenção de valores e registros na Tabela 1: Distância em mm Distância em m Massa em g Massa em kg Força em N

Quadro 4.10: Resumo da Prática 10. Demonstrações da Lei de Coulomb com balança eletrônica – dependência do inverso do quadrado da distância, Aula 7.

(conclusão)

Etapas	Materiais	Desafios	Expectativas
4.10: L1	Roteiro, Balança eletrônica; Bolas de natal metalizadas; Suporte preparado para o experimento; canudinho e guardanapos.	- Mova a esfera superior gradualmente, registrando na Tabela 1 os valores da distância, leitura de massa na balança. Converta da distância e massa dadas. Obs; Deve-se fazer rapidamente, pois as esferas podem descarregar	Espera-se que os valores representem um comportamento aproximadamente conforme Figura 8, e Figura 18, ou seja: $F \propto \frac{1}{d^2}$
4.10: L2	Roteiro; Papel milimetrado.	- Com os dados obtidos construa um gráfico $F \times d$ no papel milimetrado. - Identificar o tipo de gráfico,	Espera-se que o gráfico apresente uma curva decrescente do tipo: $F \propto \frac{1}{d^2}$ Discutir sobre o que representa as informações contidas no gráfico, relacionando a interação elétrica e a distância

Fonte: O autor

Prática 11. Demonstrações da Lei de Coulomb com balança eletrônica – dependência com o produto das cargas: _A seguir vamos dispor o Quadro 4.11 o resumo dessa Prática com Etapas, Materiais, Desafios e Expectativas

Quadro 4.11: Resumo da Prática 11. Demonstrações da Lei de Coulomb com balança eletrônica – dependência com o produto das cargas, Aula 8.

Etapas	Materiais	Desafios	Expectativa
4.11: L1	Roteiro; Balança eletrônica; Bolas de natal metalizadas; Suporte preparado para o experimento.	Realize novamente o procedimento, agora colocando a esfera descarregada em contato com a esfera inferior.	Que o experimento seja realizado com muito cuidado, pois é um experimento muito delicado, as bolas de natal descarregam facilmente.
4.11: L2	Roteiro; Balança eletrônica; Bolas de natal metalizadas; Suporte preparado para o experimento.	- Após o contato entre as esferas registre a leitura na Tabela 3. - Compare ao valor da Tabela 2 e da Tabela 3	Os valores da distância dada em mm, leitura de massa dada em g na balança. Faça a conversão da distância dadas em mm por m e massa dada em g por kg e a força em newtons. Comparando, as Tabelas 2 e 3 obtemos que o decréscimo na carga foi de $Q/2$, pois a carga se redistribui, e o decréscimo na intensidade da força elétrica também foi proporcional, isto é, também diminui pela metade, obtemos a relação entre a força elétrica e a carga elétrica do tipo proporcional.

Fonte: O autor

Aula 9: Nesta aula, realizamos a síntese integradora deste Momento 2 da mesma maneira que fizemos na Aula 5 do Momento 1.

4.2.3 Momento 3: 3. Campo elétrico, aulas 10 a 12

Para produção dos experimentos das Aulas 10 e 11, nós tomamos como base os trabalhos de Bruniera (2017), Marcondes (2017) e Nunes Filho (2020). Porém com adaptações e elaboramos a parte da sequência didática deste Momento 3.

Aula 10: A prática desenvolvida nesta aula tem caráter mais demonstrativo, onde os alunos são convidados a participar acompanhados pelo professor.

Prática 12. O campo Elétrico: Prática com Gerador de Van de Graaff; A seguir vamos dispor o Quadro 4.12 o resumo dessa Prática com Etapas, Materiais, Desafios e Expectativas.

Quadro 4.12: Resumo da Prática 12. O campo Elétrico: Prática com Gerador de Van de Graaff Aula 10. (continua)

Etapas	Materiais	Desafios	Expectativas
4.12: L1	Roteiro; Gerador de Van de Graaf; Esfera feita de papel alumínio; Cabo isolante; Fitas de papel alumínio;	- Aproxime a esfera menor da parte metálica superior do gerador de Van de Graaf. - Observe o que ocorre ao aproximar, ou colar as fitas de papel alumínio com o gerador desligado e descarregado, e com o gerador ligado. Levante hipóteses sobre os possíveis motivos. - Agora pensemos sobre a atração e/ou repulsão que ocorre sem o contato, ou seja, a distância.	É possível ver pequenas fagulhas, o que pode ser facilitado nas turmas em que as aulas eram a noite. Considerando um objeto eletrizado e fixo, em cada ponto do espaço a força é vetorialmente diferente em direção e sentido. Desligado: as fitas sofrem apenas força gravitacional, não é possível notar nenhum efeito elétrico.

Fonte: O autor

Quadro 4.12: Resumo da Prática 12. O campo Elétrico: Prática com Gerador de Van de Graaff Aula 10. (conclusão)

Etapas	Materiais	Desafios	Expectativas
			Ligado: As fitas, devido a força elétrica se distanciam uns dos outros Em cada ponto do espaço a direção da força elétrica é diferente. No caso, como Em cada ponto do espaço a força elétrica tem direção diferente no caso do campo esférico, e ao que parece é concêntrico.
4.12: L2	Roteiro; Gerador de Van de Graaf; Cabo ligado a esfera do gerador Gerador de Van de Graaf; Cabo ligado ao terra do Gerador de Van de Graaf; Placa de Petri em Vidro 150x25mm; óleo vegetal; sementes de grama;	- Observando o experimento proposto pelo professor, tente fazer uma figura que represente os vetores força em cada ponto do espaço	Figuras que representem as linhas de campo elétrico formadas pelas sementes de grama.

Fonte: O autor

Aula 11: Da mesma forma que na aula 4, nesta fizemos apresentação de slides sobre campo elétrico.

Começando por definições específicas de ponto no espaço, carga pontual, carga de prova, carga geradora, mostrando a relação do campo elétrico com a força elétrica, as linhas divergindo e convergindo dependendo do sinal da carga geradora. Tratamos também a interação a distância, o comportamento do campo em relação à distância, inclusive graficamente. Tendo tudo isso discutimos a deflexão de cargas elétricas, poder das pontas e a intensidade do campo elétrico no interior de corpos, por exemplo, esféricos.

Aula 12: Nesta aula, realizamos a síntese integradora deste Momento 3 da mesma maneira que fizemos na Aula 5 do Momento 1. No entanto, realizamos o fechamento e organização final da pasta!

4.3 MÉTODO DE AVALIAÇÃO

A avaliação foi realizada de forma continuada por meio das investigações das situações problema e desenvolvimento das atividades em cada Prática. Utilizando como principais ferramentas: os registros dos alunos e registros do professor, que foram inferidos levando em conta qualitativamente e quantitativamente o comprometimento com a participação de cada um dos alunos nas Práticas de apresentação do conteúdo, síntese integradora e o desenvolvimento das atividades propostas.

Os critérios para que os alunos atingissem o aproveitamento esteve sempre bem claro, sendo eles a participação por parte do educando das atividades propostas, manifestando suas concepções do que é proposto, dando assim sinais ao professor sobre o aprendizado. Além da avaliação das interações presentes no processo, os roteiros realizados e preenchidos pelas equipes, são ferramentas formais que dão indícios da evolução de cada estudante e equipe. O processo avaliativo levou em conta que cada indivíduo tem uma personalidade, e esta deve ser respeitada.

O planejamento é dinâmico, no sentido de que se molda ao grupo de estudos, logo o nosso replanejamento foi e é contínuo e indispensável, inclusive do processo avaliativo. Na aplicação do produto educacional a distribuição das notas foi de 50%

para avaliação dos registros dos alunos e 50% para participação em sala de aula de cada aluno, estas anotadas e constantes nos registros do professor.

4.4 UNIVERSO DA APLICAÇÃO

O referido produto educacional foi aplicado no Colégio Estadual Santo Antônio –EFM, em três turmas do terceiro ano, com média de 35 alunos cada, uma do período matutino e duas do período noturno, no segundo semestre de 2018.

Encontramos no Colégio, localizado no município de Imbituva-PR, boa estrutura, contando com adequado ambiente sala de aula, laboratório e sala multimídia, espaços que foram fundamentais para aplicação. Todos os ambientes acima citados foram utilizados a fim de que se pudessemos usufruir da melhor forma possível do que havia a disposição.

Sobre o público-alvo, há grande diversidade, uma vez que é o único colégio estadual que oferece ensino médio na área urbana da cidade, conta com alunos de todas as regiões do município, ou seja, periféricas, centro e rural, o que agregou muito nos momentos de discussão sobre as práticas, pois as relações feitas com as vivências foram diversificadas e isso relataremos posteriormente.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A seguir apresentamos apontamentos sobre aplicação do produto educacional e principais resultados a partir das análises realizadas, o que nos permitiu atestar a sua aplicabilidade. Para tal, destacamos o papel central das práticas realizadas e os apontamentos em relação a elas, que constam também nos registros dos alunos e do professor. Os resultados não são restritos aos registros, mas estes trazem indicativos da assertividade e de aspectos a serem melhorados em relação a prática, tanto em relação a aplicação quanto ao produto educacional produzido. Levando isso em conta, e que o planejamento é dinâmico, durante todo o processo foram realizados ajustes considerados pertinentes.

5.1 MOMENTO 1: 1. ELETRIZAÇÃO, AULAS 1 A 5.

Como as turmas em que o produto educacional foi aplicado eram de responsabilidade do professor aplicador, dispensamos algumas das formalidades que outros aplicadores necessitam quando não se conhece a turma. Quando falamos algumas formalidades, nos referimos à relação entre professor e aluno em sala de aula, pois esta já está preestabelecida. Neste momento, os alunos foram apresentados à proposta do produto educacional, ou seja, tema, forma de trabalho, avaliação, roteiros e material ao qual se entrosaram bem e rapidamente. E, tão logo isso ocorreu, notamos inclusive que algumas equipes elegeram uma pessoa para realizar a leitura enquanto os demais iam realizando a Prática seguindo as orientações, discutindo o observado e obtendo assim resultados colaborativos.

Prática 1. Eletrização de Isolantes: No Quadro 5.1, a seguir, que é relacionado ao Quadro 4.1 com Etapas, Materiais, Desafios e Expectativa, para efeito de comparação.

Quadro 5.1: Resultados da Prática 1. Eletrização de Isolantes, Aulas 1 e 2.

Etapas	Resultado
4.1: L1	Nenhum grupo apontou efeitos de atração elétrica neste momento em que os materiais ainda não tinham passado pelo processo de eletrização.
4.1: L2	Em todos os formulários foram utilizados diversos termos numa tentativa de descrever uma atração elétrica. Exemplo: puxa, cola, gruda, etc.
4.1: L3	Todas as equipes relataram que os efeitos diminuíram e/ou cessaram

Fonte: O autor

Prática 2. Canudinho suspenso, pêndulo de torção: No Quadro 5.2, a seguir, que é relacionado ao Quadro 4.2 com Etapas, Materiais, Desafios e Expectativa, para efeito de comparação.

Os alunos iniciaram a atividade registrando os materiais sobre a mesa. Notamos que algumas equipes, após começo do experimento, voltaram para registrar a forma como o canudinho estava suspenso, e a relevância de um eixo de rotação central, induzidos pelo professor puderam pensar em torque na rotação. Uma das perguntas pertinentes, feita pelo professor foi: e se o canudinho estivesse sobre a bancada ao em vez de suspenso, quais as diferenças no experimento?

Na aula 4, em que apresentamos a história da eletricidade por meio dos slides, alguns alunos questionaram sobre este experimento da Prática 2, se era um experimento como este que Coulomb havia realizado. Então, voltamos a negociar o conhecimento, buscando dentro dos elementos trazidos à tona pelos grupos realizar diálogos pertinentes.

Nesta aula, discutimos como poderiam medir a força de torção. Tendo isso, houve inclusive, em uma turma, um aluno sugeriu que se o experimento tivesse força suficiente poderia enrolar um fio na haste que suspende o objeto eletrizado, que funcionaria como um eixo, e assim levantar uma massa com ele, comparando assim a intensidade da força elétrica com a da força peso. Este relato mostra um indício de aprendizagem de Proposição e a aprendizagem Combinatória, quando podemos pensar que existe aí o conhecimento sobre como atua força elétrica, e de que

compartilhamos dentro do grande grupo ideias que os fizeram pensar sobre cada situação.

Quadro 5.2: Resultados da Prática 2. Canudinho suspenso, pêndulo de torção, Aulas 1 e 2.

Etapas	Resultados
4.2: L1	Nenhum grupo apontou efeitos de atração elétrica neste momento em que os materiais ainda não tinham passado pelo processo de eletrização.
4.2: L2	Todas as equipes registraram efeitos de atração elétrica e algumas equipes que o canudinho suspenso realizava um movimento de rotação em torno do ponto onde o fio foi colocado.
4.2: L3	Todas as equipes, algumas depois de tentativas, obtiveram efeito de repulsão elétrica e citaram que o canudinho suspenso realizava um movimento de rotação em torno do ponto onde o fio foi colocado, afastando-se do outro canudinho.

Fonte: O autor

Neste experimento, teve-se que substituir o canudinho suspenso algumas vezes, mas ao final todos conseguiram.

Quando os alunos foram desafiados a relatar a principal diferença entre os efeitos observados e levantar hipóteses sobre as possíveis causas, todos diferenciaram a situação em que se tinha a atração e a repulsão elétrica, alguns citaram de forma clara que tinha a ver com carga elétrica estar nos dois ou em um só canudinho, outros apenas diferenciaram tal efeito neste momento, mas puderam entender durante a aula teórica ou na síntese integradora.

Prática 3. Filete de água: No Quadro 5.3, a seguir, que é relacionado ao Quadro 4.3 com Etapas, Materiais, Desafios e Expectativa, para efeito de comparação.

Logo após registrarem os materiais sobre a mesa os alunos foram orientados e auxiliados, caso fosse necessário, a abrir um fino filete de água. Nas turmas em que este experimento foi feito no laboratório, usamos a torneira do próprio laboratório, e nas turmas em que o experimento foi feito em sala usamos um aparato construído. Durante as práticas, em uma sala multiambiente, o papel do professor na inspeção e como orientador se fez muito necessário para alguns alunos porque cada aluno e equipe tinha suas próprias dificuldades, habilidades e especificidades.

Quadro 5.3: Resultados da Prática 3. Filete com água, Aulas 1 e 2.

Etapas	Resultados
4.3: L1	Nenhuma das equipes citou nenhum efeito de interação
4.3: L2	Todas as equipes notaram que o filete de água acaba desviando, afastando-se do canudinho.

Fonte: O autor

Alguns grupos questionaram porque isso acontece, principalmente o que ocorre na água, o que posteriormente fez parte da problematização na aula teórica e síntese integradora. É importante resaltar que cada grupo de estudos tem suas particularidades, e estes elementos que foram resgatados durante as aulas sempre auxiliou na condução das aulas posteriores a fim de buscar o interesse do estudante e atacar as dúvidas presentes em cada fase do processo.

Possivelmente este experimento é um organizador prévio, pois em análise podemos considerar que fez com que os alunos levantem questões, este fato pode os ter levado a criar pontes cognitivas e possivelmente desencadear e subsunções, nas diversas formas e tipos de aprendizagem. Isto citado, também notamos, por vezes, nas outras práticas, na maioria das vezes de maneira mais sutil.

Prática 4. Bolinhas de isopor: No Quadro 5.4, a seguir, que é relacionado ao Quadro 4.4 com Etapas, Materiais, Desafios e Expectativa, para efeito de comparação.

Logo após registrarem os materiais sobre a mesa os alunos foram orientados e auxiliados sobre a forma como deviam manusear cada material, o trabalho do professor neste momento foi mais como um auxílio para que as equipes pudessem se organizar e buscar elementos a fim de dar significado para cada informação.

Quadro 5.4: Resultados da Prática 4. Bolinhas de isopor, Aulas 1 e 2.

Etapas	Resultados
4.4: L1	Algumas equipes tiveram certa dificuldade em obter o resultado esperado, mas todos conseguiram observar as bolinhas se repelindo entre si e atraindo as paredes de plástico, contamos com alguns registros de bolinhas levitando. Durante o desafio discutiram sobre os possíveis motivos das dificuldades
4.4: L2	Não notaram nenhum efeito.
4.4: L3	As bolinhas ficaram presas as placas em todos os experimentos.

Fonte: O autor

Prática 5. Garrafa de Leyden: No Quadro 5.5, a seguir, que é relacionado ao Quadro 4.5 com Etapas, Materiais, Desafios e Expectativa, para efeito de comparação.

Esta prática nos apresentou poucas dificuldades, grande parte dos alunos já tinham ideia da diferença entre materiais condutores e isolantes, logo, concentramos o trabalho em aprimorar a ideia, reservando para aulas futuras a discussão de que, em que condições um material pode ser considerado condutor ou isolante.

Quadro 5.5: Resultados da Prática 5. Garrafa de Leyden, Aulas 1 e 2.

Etapas	Resultados
4.5: L1	Nenhum aluno notou nenhum efeito e já estão habituados a ter efeitos somente quando, e apenas quando, estão eletrizados. Mas mesmo assim nenhuma equipe deixava de testar com os corpos neutros.
4.5: L2	Nenhum equipe notou nenhum efeito, apesar de eles estarem esperando algum fenômeno. E refizeram várias vezes buscando algum fenômeno.
4.5: L3	Muitos alunos relataram o pequeno choque que levaram, e que puderam ver pequenas faíscas elétricas.

Fonte: O autor

Prática 6. Eletroscópio de folhas; No Quadro 5.6, a seguir, que é relacionado ao Quadro 4.6 com Etapas, Materiais, Desafios e Expectativa, para efeito de comparação.

Quadro 5.6: Resultados da Prática 6. Eletroscópio de folhas, Aulas 1 e 2.

Etapas	Resultados
4.6: L1	Nenhum aluno notou nenhum efeito e já estão habituados a ter efeitos somente quando, e apenas quando, estão eletrizados. Mas mesmo assim nenhuma equipe deixava de testar com os corpos neutros.
4.6: L2	Muitas equipes ficaram brincando de afastar e aproximar o canudinho, e notando o efeito de afastar e aproximar as laminas.
4.6: L3	Vários registros onde destacaram a discussão sobre a diferença entre polarizar e eletrizar, os alunos descreveram como colocar cargas elétricas nas laminas e atrair as cargas elétricas para as esfera de metal.

Fonte: O autor

Prática 7. Eletroscópio de folhas e eletróforo: No Quadro 5.7 a seguir, que é relacionado ao Quadro 4.7 com Etapas, Materiais, Desafios e Expectativa, para efeito de comparação.

Esta prática, como a da Garrafa de Leyden, nos apresentou poucas dificuldades, no quesito desempenho, por grande parte dos alunos já estarem familiarizados com metais sendo condutores e o PET isolante, logo, novamente nos concentramos em aprimorar a ideia, reservando para aulas futuras a discussão de que, em que condições um material pode ser considerado condutor ou isolante. Quais as diferenças nos processos de eletrização. O que engrandeceu a Aula 4.

Quadro 5.7: Resultados da Prática 7. Eletroscópio de folhas e eletróforo, Aulas 1 e 2.

Etapas	Resultados
4.7: L1	Nenhuma equipe notou nenhum efeito
4.7: L2	Ao atritar a placa de pvc com a lã tivemos vários relatos orais de atração de pelos e cabelo dos alunos, e até pequenos papeis que por acaso estavam próximos, e o mesmo com o eletróforo ao ser eletrizado. Ao aproximar do notaram que as lâminas se afastavam mutuamente, porem apenas quando eletróforo estava próximo.
4.7: L3	As lâminas ficaram separadas em todos os experimentos. Como em todos os experimentos, foram orientados a discutir sobre os possíveis motivos.
4.7: L4	Aqui notar muito indícios de que os alunos estavam diferenciando o que chamemos de materiais isolantes e condutores, relataram que a carga passava da bolinha para as lâminas fluindo, e descarregava assim também, algumas equipes diferenciaram de forma clara que isso não ocorria nos canudinhos, pois mesmo segurando com a mão em uma extremidade a outra ficava carregada. Quando revisitamos os relatos desta experiência na síntese integradora pudemos notar que muitos alunos naquele momento relacionaram com as instalações elétricas em casa, em que a eletricidade flui por metais e é isolada por outros materiais.

Fonte: O autor

Prática 8. Garrafa de Leyden e Eletroscópio de folhas: No Quadro 5.8, a seguir, que é relacionado ao Quadro 4.8 com Etapas, Materiais, Desafios e Expectativa, para efeito de comparação.

Quadro 5.8: Resultados da Prática 8. Garrafa de Leyden e Eletroscópio de folhas, Aulas 1 e 2.

Etapas	Resultados
4.8: L1	Nenhuma equipe notou nenhum efeito.
4.8: L2	Vários registros sobre fagulhas elétricas, apenas algumas equipes não notaram efeitos visíveis neste momento.
4.8: L3	Poucas equipes não notaram efeitos visíveis neste momento, pois temos vários registros sobre fagulhas elétricas. Todas citaram os leves choques elétricos, o experimento foi refeito várias vezes para que todos da equipe pudessem sentir. Vários citaram a facilidade em descarregar o eletróforo em comparação com o canudinho.

Fonte: O autor

Aula 4: Como a apresentação foi feita em uma perspectiva de discussão sobre os assuntos abordados, em cada sala, cada parte da apresentação teve aprofundamento diferenciado, dependendo do nível de nossa interação em sala. Não deixando de lado os assuntos centrais: carga elétrica elementar, e esta como propriedade intrínseca da matéria, formas de eletrização, lei da conservação da carga elétrica, condutores e isolantes. Sempre relacionando aos experimentos realizados.

Nesta aula houve muitas interrupções pertinentes por parte dos alunos e, por isso, em duas turmas prolongou-se a apresentação dos slides para duas horas aula. Então este resultado é qualitativo, uma vez que cada situação de estudo é particular e depende de inúmeros fatores: ambiente de estudo, tecnologias disponíveis, personalidade de todos que fazem parte do grupo, e eventos externos que afetam ânimo de cada participante. Todos estes itens podem afetar a aula, de forma positiva ou negativa dependendo de cada situação.

Neste momento, muitos alunos ao chegarem em sala, pediram para usarem roteiros durante a apresentação. Assim, ficou combinado que não apagariam nada, apenas fariam mais anotações, inclusive corrigindo erros conceituais e as possíveis motivações.

Os estudantes se fizeram interessados e registraram o conteúdo em seu caderno, cada um à sua forma, ou seja, cada aluno fez seu próprio registro no caderno

a sua própria forma, como muitos conheciam os mapas mentais e mapas conceituais tivemos registros nestes formatos, além de resumos e desenhos de figuras. Desses momentos existem registros feitos pelo professor no sentido de que os alunos relacionaram experimentos feitos por eles, a história e efeitos do cotidiano do dia a dia.

Foi comum especularem teorias sobre o que estava acontecendo durante os fenômenos dos experimentos, escrevendo textos como:

- Quando atritamos a lã no PVC, acontece que elas fazem para as bolinhas; grudar no PVC. O número de cargas negativas seja maior é preciso diminuir o atrito entre os objetos e assim não são atraídas como é feito com cargas positivas que atritada em maior número aumenta a carga positiva.

- Na primeira situação os canudos se atraem, pois ao atritar um deles, sua carga fica negativa enquanto carga do outro é positiva, assim sofrendo atração.

Na segunda situação, ambos são atritados e ficam com carga negativa, o que explica a repulsão.

É relevante citar que em alguns registros notamos com clareza que os alunos buscaram exprimir por meio das palavras a sua compreensão do observado nas Práticas, estando conceitualmente certos ou não. Em outros registros, a forma com que eles se expressaram notadamente ficou confusa. Por isso, o papel do professor como interventor a fim de mediar a comunicação da equipe e ajudar a relatar essas observações em seus roteiros foi importante e foi um ato constante.. E nas circunstâncias em que houve erros conceituais, buscamos corrigi-los. Então, foi de suma importância, o fato de reservarmos um tempo para ler os roteiros dos alunos e adaptar a apresentação de slides adequadamente, corrigindo, por exemplo, ao afirmarem que um dos canudinhos estava positivo, quando na verdade ele estava neutro, então explicamos como sofreu atração pelo outro canudinho.

Aula 5: Síntese integradora, ao realizar a conversa entre todos, as equipes compararam seus registros com o das demais. A interação iniciou com cada uma das equipes lendo um breve registro feito nos roteiros, em seguida repassou-se todos os roteiros e os colegas puderam compartilhar as anotações de seu grupo com os demais, eles puderam fazer um levantamento do que já sabiam. Isto foi muito rico no

sentido de que pode proporcionar a reflexão sobre os fenômenos e a interpretação de cada um, complementando o entendimento individual.

Durante a troca de ideias muitos deles estavam fazendo anotações referentes às conversas, dando corpo aos registros sobre a interpretação dos fenômenos e sua interpretação, relacionando as informações e fatos entre si e com o conhecimento prévio.

5.2 MOMENTO 2: 2. FORÇA ELÉTRICA, AULAS 6 A 9

Prática 9. Um diálogo sobre o funcionamento de uma balança: No Quadro 5.9, a seguir, que é relacionado ao Quadro 4.9 com Etapas, Materiais, Desafios e Expectativa, para efeito de comparação.

Aula 6: Como mencionamos anteriormente, esta aula é uma prévia para o Momento 2, onde fizemos um diálogo sobre o funcionamento de uma balança.

Nesta aula, juntos, na lousa e cada equipe também em seu roteiro, fizemos uma figura do diagrama de corpo livre. Para tal, propusemos imaginar um corpo apoiado sobre uma balança, próximo da superfície da terra. Nele, juntos, representamos todas as forças atuantes por meio de vetores, lembrando as operações com vetores que podem ser aplicadas para encontrar uma força resultante, por exemplo.

Podemos citar como relevante a preparação dos estudantes para os desafios futuros e que o conhecimento se constrói. Nas aulas seguintes, notamos e que o conhecimento prévio adquirido durante esta aula, em que sequer se mencionamos o termo eletricidade, foram essenciais para construção do conhecimento sobre as interações elétricas.

Notamos então, novamente, a importância, para uma aprendizagem significativa, dos organizadores prévios. Lembrando que o subsunçor é o que permite a ancoragem das novas informações às informações já presentes, de forma hierárquica, na estrutura cognitiva. E quando eles não existem, ou não estão claros, podem ser trabalhados, então propomos preparar os alunos, sempre levando em conta os desafios futuros que eles podem encontrar, por exemplo, ao utilizar a balança como ferramenta para estimar a intensidade da força elétrica. Por isso, nesta aula onde trabalhamos os conceitos de força, corpo livre, vetores e representações, reconhecendo materiais e ferramentas pertinentes.

Quadro 5.9: Resultados da Prática 9. Um diálogo sobre o funcionamento de uma balança, Aula 6.

Etapas	Resultados
4.9: L1	Registro colaborativo, feito pela equipe e pelo professor, nos roteiros e na lousa, do diagrama de forças referente ao experimento. Nas nossas aulas, desenhar junto com os alunos, explicando o que cada item representa pode facilitar o processo de entendimento, assim todos puderam entender o que cada item representava na figura, conclusão que obtemos dos registros do professor, que ao questionar os estudantes pode constatar o nível de significado dado para cada elemento da figura.
4.9: L2	Algumas equipes já colocaram o zero, pressupondo que mediríamos a massa apenas do seria colocado sobre a balança, as demais colocaram o valor constatado visor.
4.9: L3	Registrado valor da massa do prato cheio, conforme visor da balança, entender que é massa bruta. Todos conseguiram realizar o cálculo, as equipes que haviam colocado zero, notaram aqui a proposta e assim como deveriam fazer, algumas corrigiram o registro do valor do prato vazio, isto gerou uma discussão pertinente, Definimos tara, e realizamos a prática de tirar doces do prato, visualizando o valor diminui até chegar a zero, pois sobre o valor de massa do prato havia sido tirado a tara. Conceituamos brevemente a aceleração da gravidade e buscamos entender que medimos a massa por meio de de uma força exercida sobre a balança.
4.9: L4	Todo grupo, em uma troca de ideias formulou a seguinte resposta, em dimensão não são diferentes, porém a natureza envolve o que gerou a força, no caso da aplicação com o dedo existem outras formas de força além da gravitacional. Resposta que foi inclusive registrada na lousa pelos próprios alunos.

Fonte: O autor

Prática 10. Demonstrações da Lei de Coulomb com balança eletrônica – dependência do inverso do quadrado da distância: No Quadro 5.10, a seguir, que é relacionado ao Quadro 4.10 com Etapas, Materiais, Desafios e Expectativa, para efeito de comparação.

Aqui os alunos encontraram um grande desafio: carregar as esferas de vidro com cobertura metálica. As bolinhas de natal até recebiam cargas, porém descarregavam muito rapidamente, e apesar de conseguirem extrair alguns valores, o experimento não estava servindo para o propósito da aula, porém, como veremos a seguir, esta dificuldade serviu para que os alunos buscassem alternativas com base nas experiências anteriores e seus respectivos conhecimentos.

Foi então que os próprios alunos tomaram iniciativa de tentar fazer o experimento de outra forma, a hipótese proposta é que poderíamos usar isolantes em lugar das bolinhas. Como os canudinhos são finos, não adquirem cargas suficientes para que efetuássemos a medida intensidade da interação depois de certo ponto. Então pensamos nas placas de pvc, Figura 17, pois elas além de gerar interação com intensidade considerável nos experimentos das aulas anteriores, não descarregavam tão facilmente. Então, levando em conta o que já havíamos estudado e nos auto desafiando a pesquisar sobre o assunto, buscamos entender qual seria a diferença de se usar isolantes e condutores, e sobre o formato do objeto utilizado no aparato, Pudemos, juntos, construir a ideia de que no meio isolante as cargas não fluem com tanta facilidade, portanto, para que fiquem bem distribuídas deveríamos, durante o processo de eletrização, colocar as cargas em todos os pontos da placa de forma mais homogenia possível. Ou seja, tentar fazer o processo de eletrização em todos os pontos de forma muito semelhante entre si.

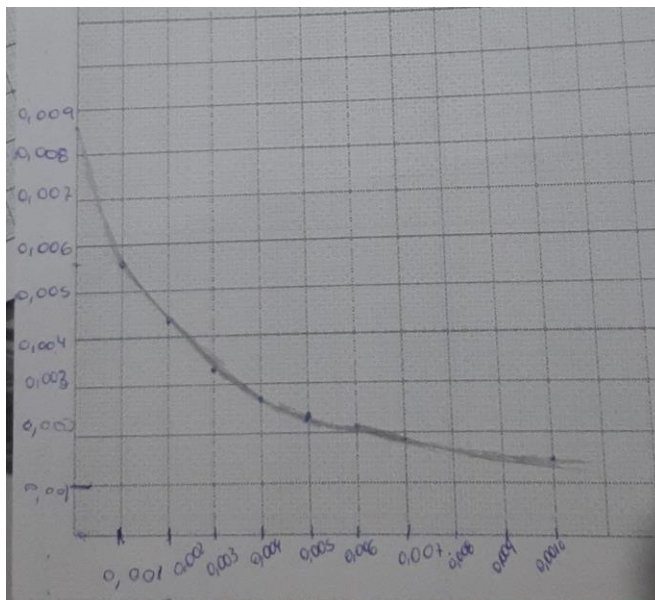
Figura 17 – Adaptação sugerida em sala: Placas de PVC



Fonte: o autor

Em meio a uma discussão realizamos os experimentos e obtivemos valores, os quais preenchemos na tabela e construímos os gráficos, representados na Figura 18.

Figura 18 – Gráficos FxD produzidos pelos alunos a partir da prática 10



Fonte: o autor

Quadro 5.10: Resultados da Prática 10. Demonstrações da Lei de Coulomb com balança eletrônica – dependência do inverso do quadrado da distância, Aula 7.

Etapas	Resultados
4.10: L1	Devido à grande dificuldade em obter valores com as esferas carregadas, pois as mesmas descarregavam muito rapidamente, o que achávamos que seria um fracasso tornou-se um momento rico em troca de ideias, onde levantamos muitas hipóteses sobre os possíveis motivos. Em duas das turmas em que trabalhamos os alunos propuseram que fizéssemos uma prática alternativa, em que ao em vez das bolinhas, de rápida descarga, utilizássemos outros corpos eletrizados, utilizamos então placas de pvc e obtivemos valores, distância em mm, distância em m, massa em g, massa em kg, força em N.
4.10: L2	Quando seguida cada estudante, juntamente com sua equipe é desafiado a pensar na seguinte função $F \propto \frac{1}{d^n}$ que para valores de $n > 1$ descreve o comportamento e os gráficos se encaixam no esperado e assim pudemos entender que a força elétrica é uma função do inverso do quadrado da distância.

Fonte: O autor

Prática 11. Demonstrações da Lei de Coulomb com balança eletrônica – dependência com o produto das cargas: No Quadro 5.11, a seguir, que é relacionado ao Quadro 4.11 com Etapas, Materiais, Desafios e Expectativa, para efeito de comparação.

Quadro 5.11: Resultados da Prática 11. Demonstrações da Lei de Coulomb com balança eletrônica – dependência com o produto das cargas, Aula 8.

Etapas	Resultados
4.11: L1 e L2	Realizamos novamente o experimento, agora tomando bastante cuidado para que as placas de pvc superior e inferior tivessem as mesmas dimensões. Obtivemos os valores da distância dada em mm, leitura de massa dada em g na balança. Feita a conversão da distância dadas em mm por m e massa dada em g por kg e a força em newtons. Registramos os valores na tabela e realizamos o cálculo a fim de encontrar um valor pra carga elétrica, a qual consideramos igual nas duas placas, e encontrado valor pudemos presumir, dentro de uma margem de erro, que a força depende de da carga elétrica nas placas.

Fonte: O autor

Aula 9: Síntese integradora, Assembleia relativos aos roteiros utilizados nas aulas 6, 7 e 8. Todos tinham muito o que falar sobre os registros, e muitas dúvidas, destacamos o interesse em participar e entender os conceitos relacionados ao campo elétrico. Foi reservado uma boa fração da troca de ideias para o experimento em que substituímos as bolinhas de natal pelas placas de pvc, discutindo principalmente a distribuição de cargas nos condutores e isolantes, e os possíveis motivos das dificuldades encontradas ao utilizar as bolinhas de natal metalizadas, assim o que de início pareceu um desastre acabou tornando-se benéfico a situação de estudo, isso é resultado de análise da própria prática e evidencia o papel do professor e a importância do processo de aprendizagem.

5.3 MOMENTO 3: 3. CAMPO ELÉTRICO, AULAS 10 A 12

Aula 10: O campo Elétrico: Prática com Gerador de Van de Graaff

Prática 12. O campo Elétrico: Prática com Gerador de Van de Graaff: No Quadro 5.12, a seguir, que é relacionado ao Quadro 4.12 com Etapas, Materiais, Desafios e Expectativa, para efeito de comparação

Quadro 5.12: Resultados da Prática 12. O campo Elétrico: Prática com Gerador de Van de Graaff, Aula 10.

Etapas	Resultados
4.12: L1	Foram visualizadas fagulhas elétricas e registradas por todas as equipes. Desligado: as fitas sofrem apenas força gravitacional, e não foi possível notar nenhum efeito elétrico. Ligado: As fitas, devido a força elétrica se distanciaram umas das outras
4.12: L2	Neste momento obtivemos uma grande número de respostas teorizando sobre o experimento, algumas figuras com as setas apontando na direção das forças elétricas. Mas até o fim da situação de estudo todas equipes fizeram os desenhos das linhas de campo, a fim de indicar algo invisível ou imaginário no espaço

Fonte: O autor

Aula 11: À medida que a apresentação foi ocorrendo, uma porção dos presentes passou a pensar mais a fundo sobre a interação por contato e a distância. Eles, por vezes descreveram o fenômeno e chegaram em um resultado, mesmo sem saber bem como ocorria, notaram que funcionava. Indicativo de que o indivíduo está tentando imaginar uma representação que possa ser o mais próxima possível do campo elétrico.

Aula 12: Colocando o campo como atribuir quantidade a uma região do espaço, os alunos lembraram o campo gravitacional e como é análogo ao elétrico, citando várias aplicações de campo elétrico e interações elétricas, inclusive biológicas, e levando em conta todos os registros dos alunos nos roteiros,

constatamos troca de ideias entre os estudantes, onde pôde ser identificada, em uma análise qualitativa, como determinante para construção da aprendizagem significativa, no sentido de entender e representar as grandezas da natureza em situações dentro e fora de sala de aula. Os comentários feitos dentro das equipes sempre se fizeram presentes na Assembleia, atividade realizada posteriormente como síntese integradora. Os registros e comentários também foram ferramenta para que o aplicador do produto possa identificar o nível de compreensão de cada aluno e equipe.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Dos experimentos realizados em sala muitos são velhos conhecidos dos professores que trabalham conteúdos de física, mesmo que muitos os notassem como viáveis e como ferramentas que podem auxiliar o ensino das interações elétricas, por meio deste trabalho podemos constatar que, dentro de uma organização didática, ou seja, uma unidade de ensino, podemos sim proporcionar a aprendizagem significativa.

A aprendizagem significativa é perceptível quando, dentro do mesmo processo, observamos elementos propostos pelos próprios alunos, não só demonstrando seu interesse, mas evidenciando que a medida que adquirem novos conhecimentos, evidencia-se, por estas ações, que estes se tornam subsunçores para próximas etapas. Então, é relevante citar que, buscar desenvolver dentro dos processos de ensino de nossas escolas situações em que educadores podem pensar sobre o que fazem, buscando na literatura argumentos para dissertar e aprender sobre as práticas realizadas é rico, e não só para o professor em sala, mas para toda educação, pois a construção do conhecimento acontece a partir de pequenas contribuições, acertos e erros, nesta mesma perspectiva cita-se o papel do programa de mestrado, que proporciona a oportunidade de fazer tudo isso.

Oportunidade que viabilizou situações onde, por meio das falas e dos registros dos alunos em sala, percebeu-se que ao longo do processo, de forma geral, ampliaram seu conhecimento em relação as interações elétricas. Estimamos que a ampliação de significado de subsunçores tenha ocorrido, indícios disso foram notados quando feitas relações corretas do que trabalhamos a respeito da situação de estudo com situações cotidianas e também a capacidade apresentada não só de entender o que foi proposto, mas adaptar discutir cada adaptação feita. Em alguns momentos, e diferentemente para cada aluno notamos as relações dos subsunçores com as novas informações, temos exemplo, onde há indícios de aprendizagem combinatória, na situação onde os próprios alunos adaptaram o experimento a fim de contornar dificuldades de se obter resultados, substituindo as bolinhas de natal metalizados por placas de material isolante, PVC, Figura 17, e discutindo a validade do experimento feita esta adequação, onde, por meio de suposições, partindo do que já sabíamos, buscamos determinar onde e como se encontrava a carga elétrica. Destaca-se, então o interesse demonstrado e expresso durante as aulas enquanto discutiam sobre o que faziam e as possíveis explicações para os fenômenos observados.

Para aplicações desta proposta, sugerimos então, proporcionar aos alunos situações onde eles pensem sobre o que fazem, e motivar interpretar o experimento e a sequência sempre fazendo relações com situações cotidianas de suas próprias vivências. Permitindo que o aluno se expresse e motivando adaptações dentro das práticas, desde que estas sejam registradas de forma adequada e fiquem bem claras quanto a explicação.

Portanto, temos, no presente trabalho uma alternativa para trabalhar o importante conceito de campo elétrico em sala de aula, considerando a aprendizagem significativa, a fim de que os professores possam aplicar e adaptar os planos de aula à sua realidade. A proposta da sequência didática centrada em experimentos propicia aos estudantes interagir com o que aprendem, expressar-se diante das situações e desafios. Destacamos a importância dos conhecimentos prévios, subsunçores, suas relações com os experimentos, muitos como organizadores prévios, contexto histórico e conceitos desenvolvidos na sequência didática.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, M. S. T; ABIB, M. L. V. S. Atividades Experimentais no Ensino de Física: diferentes enfoques, diferentes finalidades. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v.25, n.2, p.176-194, 2003.
- ASSIS, A. K. T.: **Os Fundamentos Experimentais e Históricos da Eletricidade**. Montreal: Apeiron, 2010.
- ASSIS, A. K. T.: **Os Fundamentos Experimentais e Históricos da Eletricidade**. V. 2. Montreal: Apeiron, 2018.
- BRASIL. Senado federal. Secretaria especial de editoração e publicações subsecretaria de edições técnicas. **Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional**: Lei número 9394, 20 dez. de 1996, Brasília: Senado Federal, 2005.
- BRASIL, Ministério da Educação. Secretaria de Educação Básica. **Diretrizes Curriculares Nacionais Gerais de Educação Básica**. Brasília, 2013. 565p. Disponível em: http://portal.mec.gov.br/index.php?option=com_docman&view=download&alias=15548-d-c-n-educacao-basica-nova-pdf&Itemid=30192. Acesso em: 19 ago.2018.
- BRASIL, Ministério da Educação. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. **Parâmetros Curriculares Nacionais – Ensino Médio**: orientações educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais. Brasília, 2002. 144p. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/CienciasNatureza.pdf>. Acesso em: 20 ago. 2018.
- BRUNIERA. F. H. R., **Como Fazer Um Gerador Van De Graaff (FICOU DE ARREPIAR)**, [s.l.;s.n.], 2015, 1 vídeo (14 min). Publicado pelo canal Canal XProjetos. Disponível em: <https://youtu.be/XGNsSshWzzA>, Acesso em: 10 dez. 2020
- CORTEL, A. **Demonstrations of Coulombs Law withan Eletronic Balance**. THE PHYSICS THEACHER. Barcelona, Espanha, V. 37. p.447-448, Oct. 1999.
- CRUZ, G. B. da . **A prática docente no contexto da sala de aula frente às reformas curriculares**. Educar em Revista , v. 29, p. 191-205, 2007.
- DOMINGUEZ, M. E. **Significados Atribuídos aos conceitos de Campo elétrico e Potencial Elétrico Por Estudantes de Física Geral**. Maturin, Venezuela, dez. 1988.
- FEYMANN, R. P.; LEIGHTON, R. B.; SANDS, M. **Lições de Física**. 3. ed. Porto Alegre, Bookman, 2008.
- FREIRE, P; SHOR, I. **Medo e ousadia. O cotidiano do professor**. Tradução de Adriana Lopez; revisão técnica de Lólio Lourenço de Oliveira. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1986.
- FREIRE, P. **Pedagogia do oprimido**. 50. ed. São Paulo: Paz e Terra, 2011.

ANNA, C. C. *et al.* **GREF, Grupo de Reelaboração do Ensino de Física: Física 3.** EDUSP-Editora da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1999.

GIANI, Kellen. **A experimentação no ensino de ciências:** possibilidades e limites na busca de uma aprendizagem significativa, 2010.

HALLIDAY, D; RESNICK, R; WALKER, J. **Fundamentos de física.** 8. ed. Rio de Janeiro, RJ: LTC v. 3, c2009;

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de Física.** 9. ed. Rio de Janeiro, LTC. 400p., 2014.

KRAPAS, S.; SILVA, M. C. Controvérsia ação a distância/ação mediada: abordagens didáticas para o ensino das interações físicas. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 29, n. 3, p. 471-479, 2008.

LEIRIA, T.F.; MATARUCO, S.M.C. **O papel das atividades experimentais no processo de ensino-aprendizagem de física.** UNESPAR – PR, 2015.

LINHA de força. USP e-Física, 2019 Disponível em: http://efisica.if.usp.br/eletricidade/basico/campo/linha_forca/. Acesso em: 27 out. 2019.

MOREIRA, M.A. **Aprendizagem significativa.** Brasília: Editora da UnB, 2006a.

MOREIRA, M.A. **Aprendizaje significativa crítica.** Porto Alegre: Instituto de Física da UFRGS, 2005.

MOREIRA, M.A. **A teoria da aprendizagem significativa e sua implementação em sala de aula.** Brasília: Editora da UnB, 2006b.

MOREIRA, M.A; BUCHWEITZ, B. **Novas estratégias de ensino e aprendizagem.** Lisboa: Plátano Edições Técnicas, 1993.

MOREIRA, M.A. **Uma abordagem cognitivista ao ensino da Física.** Porto Alegre: Editora da Universidade, 1983.

MOREIRA, M.A. **Mapas conceituais e diagramas V.** Porto Alegre: Ed. do Autor, 2006c.

MOREIRA, M.A., CABALLERO, C. Y RODRÍGUEZ P., M.L. **Aprendizaje significativo:** interacción personal, progresividad y lenguaje. Burgos: Servicio de Publicaciones de la Universidad de Burgos, 2004.

MOREIRA, M.A; MASINI, E.A.F. **Aprendizagem significativa:** a teoria de David Ausubel. São Paulo: Editora Moraes, 1982.

MOREIRA, M.A. e MASINI, E.A.F. **Aprendizagem significativa:** a teoria de David Ausubel. 2ª ed. São Paulo: Centauro Editora, 2006d

MOREIRA, M. A.; MASSONI, N. T. **Noções básicas de epistemologias e teorias de aprendizagem como subsídios para a organização de sequências de ensino-aprendizagem em ciências/física.** Porto Alegre. 1º versão, 2016.

NUNES FILHO, J. M. A. Guia experimental para o estudo da eletrostática. *In*: NUNES FILHO, J. M. A. **O ensino da eletrostática por meio de atividades experimentais com uso da aprendizagem significativa.** São Luís: UFMA, 2020.

NOVAK, J.D; GOWIN, D.B. **Learning how to learn.** New York: Cambridge University Press, 1984.

NEWTON, I. **Principia - Princípios Matemáticos de Filosofia Natural.** Livro I: O Movimento dos Corpos. Tradução de T. Ricci, L. G. Brunet, S. T. Gehring e M. H. C. Celia. Nova Stella/Edusp, São Paulo, 1990.

NOVAK, J. D. e GOWIN, D. B. **Aprendendo a aprender.** Lisboa: Plátano Edições Técnicas. Tradução do original Learning how to learn, 1995.

PODOLEFSKY, N.; WIEMAN, C.; Reid, S. **John travoltage.** PHET Interactive simulations. Disponível em: https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/john-travoltage. Acesso em: 09 abr. 2018.

POLITO, A. M. M. **A construção da estrutura conceitual da física clássica.** MNPEF, 2016.

ROCHA, M. O. **O Conceito de Campo no Eletromagnetismo:** Uma Unidade de ensino potencialmente significativa. Dissertação (dissertação MNPEF) Espírito Santo. 2015.

ROCHA, J. F. **Origens e Evolução das Idéias da Física.** 5º. ed. [S. l.]: EDUFBA, P.374, 2015.

SEARS, F. W.; ZEMANSKY, M. W.; **Física III: eletromagnetismo.** 12. ed. São Paulo, SP: Pearson Addison Wesley, v. 3, 2008-2009.

TIPLER, P. A.; MOSCA, G., **Física para Cientistas e Engenheiros - V. 2,** 5a ed. Rio de Janeiro: LTC, 2006.

WAGNER FILHO, R. V. L., **Investigação do Conceito de Campo nos Livros Didáticos de Física do PNLD.** Programa Nacional de Desenvolvimento Educacional, Secretaria de Estado da Educação do Paraná, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Dez 2014.

APENDICE A - Produto: DA ELETRIZAÇÃO Á INTERAÇÃO A DISTÂNCIA



DA ELETRIZAÇÃO À INTERAÇÃO A DISTÂNCIA

Jose Felipe Hneda
André Maurício Brinatti

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - materiais eletrizados por atrito, causando atração.....	116
Figura 2 - Ilustração da simulação do Phet – John Travoltage.....	119
Figura 3 - Exemplo de séries triboelétrica.....	120
Figura 4 - PVC eletrizado por atrito atraindo Isopor.....	121
Figura 5 - Sequencia eletrização e descarga por contato – eletroscópio de folhas.....	122
Figura 6 - Balança eletrônica de mesa.....	123
Figura 7 - Esfera e suporte sobre a balança eletrônica e representação.....	127
Figura 8 - Tabela e gráfico $F \times d$ (Valores para título de ilustração onde utilizamos $n=2$)	129
Figura 9 - Aparato para medir força de interação elétrica entre as Esferas eletrizadas.....	129
Figura10 - Tocando a bola superior com uma bola igual e descarregada podemos demonstrar que a força de repulsão é diretamente proporcional à carga.....	130
Figura 11 - Atração e repulsão elétrica em relação aos dois tipos de cargas.....	131
Figura 12 - Gerador de Van de Graaff.....	134
Figura 13 - Representação poder das pontas.....	137
Figura 14 - Interação entre cargas pontuais.....	138
Figura 15 - Aparato, pontas carregadas em azeite (isolante) onde flutuam sementes de grama.....	140
Figura 16 - Linhas de Campo elétrico.....	141
Figura 17 - Canudos e Guardanapo.....	172
Figura 18 - Papeis e Bolinhas de isopor.....	173
Figura 19 - Lã e placas de PVC.....	174
Figura 20 - Aparato Prática 2. Canudo suspenso, pêndulo de torção.....	175
Figura 21 - Filete de água.....	176

Figura 22 - Recipientes isolantes com isopor no interior.....	177
Figura 23 - Garrafa de Leyden.....	178
Figura 24 - Eletroscópio de folhas.....	179
Figura 25 - Eletróforo.....	180
Figura 26 - Balança.....	181
Figura 27 - Aparato demonstração da lei de Coulomb.....	182
Figura 28 - Gerador de Van der Graff.....	184

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Organização da aplicação.....	103
Quadro 2 - Plano das aulas 1, 2 e 3.....	105
Quadro 3 - Plano da aula 4.....	106
Quadro 4 - Plano da aula 5.....	107
Quadro 5 - Plano da aula 6.....	108
Quadro 6 - Plano da aula 7.....	109
Quadro 7 - Plano da aula 8.....	110
Quadro 8 - Plano da aula 9.....	111
Quadro 9 - Plano da aula 10.....	112
Quadro 10 - Plano da aula 11.....	113
Quadro 11 - Plano da aula 12.....	114

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	100
2 PLANEJAMENTO	102
4 ORIENTAÇÕES AO PROFESSOR	142
4.1 O PAPEL DO PROFESSOR APLICADOR.....	142
4.2 PERSPECTIVAS DE APLICAÇÃO	142
4.2.1 Perspectiva de avaliação.....	143
4.2.2 Instrumentos de avaliação.....	143
4.2.3 Critérios de avaliação.....	143
4.3 APLICAÇÃO – ROTEIROS DO PROFESSOR	143
5 ROTEIROS EXPERIMENTAIS APLICADOS AS EQUIPES	153
6 APARATOS UTILIZADOS	172
6.1 MATERIAIS UTILIZADOS NAS PRÁTICAS 1, 2, 3, 4, 5, 6, 9,10 E 11.	172
6.2 MATERIAIS UTILIZADOS NAS PRÁTICAS 1, 3, 4, 9, 10 E 11.	173
6.3 MATERIAIS UTILIZADOS NAS PRÁTICAS 7, 8, 9, 10 E 11.....	174
6.4 APARATO PRÁTICA 2. CANUDINHO SUSPENSO, PÊNDULO DE TORÇÃO.....	175
6.5 APARATO PRÁTICA 3. FILETE DE ÁGUA;	176
6.6 APARATOS PRÁTICA 4. BOLINHAS DE ISOPOR;	177
6.7 APARATO PRÁTICAS 5 E 7. GARRAFA DE LEYDEN;	178
6.8 APARATO PRÁTICAS 6 E 8. ELETROSCÓPIO DE FOLHAS;	179
6.9 APARATO PRÁTICA 7, 8, 9, 10 E 11 ELETRÓFORO;	180
6.10 APARATO PRÁTICA 9. UM DIÁLOGO SOBRE O FUNCIONAMENTO DE UMA BALANÇA;	181
6.11 APARATO PRÁTICA 10 E 11. DEMONSTRAÇÕES DA LEI DE COULOMB COM A BALANÇA ELETRÔNICA	182
6.12 APARATO PRÁTICA 12. O CAMPO ELÉTRICO – PRÁTICA COM O GERADOR DE VAN DER GRAAFF;.....	183

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	185
8 REFERÊNCIAS	ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.

APRESENTAÇÃO

Com a intenção de oferecer suporte para que os professores possam lidar com os desafios do dia a dia, fornecer ferramentas e metodologias por meio das quais o entendimento do mundo seja proporcionado ao estudante durante a construção do conhecimento. Considerando, com nosso olhar de quem também está presente no processo de ensino e aprendizagem, as dificuldades de cada indivíduo e conduzindo todo o grupo de estudos ao desvendar da natureza, da física, esperamos dar uma pequena contribuição aos nossos colegas, professores e profissionais da educação a buscar solução dos problemas e deter suas angustias do trabalho em sala de aula, unindo a diversidade e questões sociais ali presente a trabalhar e ou estudar por um objetivo em comum.

Nesta perspectiva, esperamos que o presente material, idealizado como uma proposta alternativa para trabalhar conceitos relacionados à carga elétrica, seja capaz de fazer com que os estudantes deslumbrem efeitos da carga elétrica por meio de uma sequência de práticas que por muitas vezes se assemelham com famosos experimentos realizados ao longo da história. E, assim, como outrora entusiastas puderam experienciar descobertas sobre a natureza da eletricidade, que nossos alunos possam também encontrar nos fenômenos físicos significado no que é normalmente proposto como conteúdo da física.

DA ELETRIZAÇÃO À INTERAÇÃO A DISTÂNCIA foi desenvolvido para turmas do ensino médio, mais especificamente, as cargas elétricas e suas interações, geralmente fazem parte do conteúdo estruturante dos terceiros anos. Porém, o material é estruturado de tal forma que seus capítulos ou subcapítulos podem ser aplicados separados, quando a intenção do aplicador for acrescentar itens ao conteúdo previsto. Inclusive a parte do conteúdo aplicado sobre a balança e a força peso se faz muito pertinente para aplicação quando se estuda tipos de forças.

Este material didático, nas práticas propostas, abrange os temas processos de eletrização, interações elétricas, condutores e isolantes, campo elétrico, ruptura dielétrica, entre outros. Foi elaborado a partir da pesquisa da própria prática, onde a versão final só ficou pronta no final de todas as aplicações realizadas, sendo reformulado e corrigido dinamicamente.

1 INTRODUÇÃO

O objetivo é explorar uma sequência de ensino do importante conceito de campo elétrico, pois é este que resulta na energia acumulada nas cargas elétricas, conhecida como energia elétrica, tão presente no dia a dia. Buscar colocar o aluno diante da exploração dos fatos, além de motivar pela própria curiosidade fazendo tomar suas responsabilidades e buscando seu conhecimento.

O motivador da construção deste produto foi a implementação da aprendizagem significativa de David Paul Ausubel, realizando a pesquisa a partir da própria prática.

Onde vemos a aprendizagem como ampliação do conteúdo total do indivíduo, ou seja, no contexto sua estrutura cognitiva, armazenamento e organização dos conceitos e aprendizados sobre os temas eletrização, força elétrica e campo elétrico, na física, estejam acordantes com o aprendizado afetivo, no âmbito de que os sujeitos da aprendizagem possam sentir-se protagonistas de seu aprendizado, realizando as atividades propostas, dentro deste ambiente problematizador das situações de estudo, possam discutir comparar entendimentos do que se aprende realizando os trabalhos em equipes, nestes processos as mediações e as discussões sobre o assunto tem papel fundamental, pois as contextualizações inerentes a discussão dos fenômenos observados e as discussões mediadas sobre o assunto, colocam o aprendiz como autor da construção de um conhecimento autentico, internalizando os conceitos e ampliando a estrutura cognitiva.

Além deste capítulo **1. INTRODUÇÃO**, que nos apresenta a organização desta obra, este produto educacional é composto de mais 6 capítulos, são eles:

O capítulo **2. PLANEJAMENTO** tem por objetivo preparar o professor para aplicação da sequência proposta. Está contido no plano de unidade os planos de aula e tem por objetivo preparar o professor para aplicação da sequência proposta, cada plano de aula foi preparado para aplicação de uma hora aula de 50 minutos.

O capítulo **3. TEORIAS DA FÍSICA** apresenta os conceitos da física relacionados as interações elétricas e as aplicações experimentais e conteúdo desenvolvido.

O capítulo **4. ORIENTAÇÕES AO PROFESSOR**, contém as orientações a serem utilizados pelo professor antes, durante e depois de cada uma das aulas.

Realizando um total de doze horas aulas (50 minutos), que são distribuídos em três momentos, abrangendo os conceitos de carga elétrica, força elétrica e campo elétrico, levando em conta o contexto histórico e preocupando-se com a transposição didática e adaptações feita durante as aplicações.

O capítulo **5. ROTEIROS EXPERIMENTAIS** contém os roteiros que devem ser utilizados pelas equipes de alunos durante as aulas como meios facilitadores do processo ensino-aprendizagem. Onde, por meio de experimentos simples, similares aos que outrora foram utilizados pelos mágicos eletricitistas, por meio dos quais podemos produzir e observar fenômenos básicos da eletricidade, que são descritos por meio de conceitos importantes para compreensão de mundo e das tecnologias.

O capítulo **6. APARATOS UTILIZADOS** – onde temos um roteiro simplificado de como montar os aparatos utilizados na proposta. Construídos com materiais acessíveis, por meio dos quais podemos produzir e observar fenômenos básicos da eletricidade.

O capítulo **7. CONSIDERAÇÕES FINAIS** – finalizamos com breve parágrafo sobre o produto educacional em geral.

Em ambos capítulos: **4. ORIENTAÇÕES AO PROFESSOR** e **5. ROTEIROS EXPERIMENTAIS**, temos a sequência didática a ser desenvolvida durante as doze aulas.

2 PLANEJAMENTO

As aulas têm seus objetivos gerais e específicos indicados nos planos de aula que disponibilizamos na sequência. Para as práticas desenvolvidas em sala também podemos atentar para os objetivos específicos apresentados em cada um dos planos de aula, mas de forma geral, podemos nos atrelar os objetivos ao significado que damos ao termo Prática. Neste trabalho, a palavra Prática, quer dizer a realização do experimento de forma ampla, ou seja, engloba toda a proposta e seu desenvolvimento, levando em conta as situações gerais, leitura, observação as orientações do roteiro, atenção aos detalhes dos procedimentos, e particulares de cada realização, como a conversa entre os alunos, suas observações, seus comentários, suas posições no processo da experimentação, suas possíveis soluções, suas proposições e hipóteses.

No Quadro 1 temos a distribuição das atividades desenvolvidas em cada uma das doze aulas, organizadas em três momentos, as orientações de como desenvolver cada atividade estão nos roteiros do professor e também nos roteiros dos alunos.

Vale lembrarmos que para a elaboração de cada momento nós tomamos como base trabalhos da literatura, a saber:

Momento 1 Aulas 1 a 3, nós tomamos como base os trabalhos de Assis (2010, 2018) e Saad *et al.* (2020);

Momento 2 nós tomamos como base o trabalho de Cortel (1999).

Momento 3 com adaptações e elaboramos a parte da sequência didática das aulas 10, 11 e 12 com base nos trabalhos de Bruniera (2017), Marcondes (2017) e Nunes Filho (2020).

Quadro 1: Organização da aplicação

(continua)

Momento 1 - Aula 1	- Apresentação do trabalho a ser desenvolvido, distribuição das pastas, orientações referentes formação de equipes. - Orientações sobre as formas de descrição: texto, gravuras, desenhos, tabelas, mapas conceituais e mapas mentais. - Orientações de que durante todo processo estejam estimulados a levantar hipóteses, observando cada detalhe da prática e respectivos efeitos observados, para que façam isso sempre levando em conta os seguintes aspectos: i. Tente explicar de que forma estas interações acontecem. ii. Pensando na composição dos matéria, levante hipóteses sobre os possíveis motivos e como as interações acontecem. E se é diferente para os diferentes materiais. - Início do desenvolvimento das Práticas de 1 a 4: Prática 1. Eletrização de isolantes; Prática 2. Canudinho suspenso, pêndulo de torção; Prática 3. Filete de água; Prática 4. Bolinhas de Isopor;
Momento 1 - Aula 2.	- Continuação do desenvolvimento das Práticas de 1 a 4: Prática 1. Eletrização de isolantes; Prática 2. Canudinho suspenso, pêndulo de torção; Prática 3. Filete de água; Prática 4. Bolinhas de Isopor;
Momento 1. Aula 3	- Realização das Práticas de 5 a 8: Prática 5. Garrafa de Leyden; Prática 6. Eletroscópio de folhas; Prática 7. Garrafa de Leyden e eletróforo; Prática 8. Eletroscópio de folhas e eletróforo;
Momento1. Aula 4	- Apresentação de slides sobre eletrização e breve histórico sobre eletricidade.

Quadro 1: Organização da aplicação

(conclusão)

Momento1. Aula 5.	- Síntese integradora momento 1. Assembleia 1;
Momento2. Aula 6.	- Realização da prática 9: Prática 9. Um diálogo sobre o funcionamento de uma balança;
Momento2. Aula 7.	- Realização da prática 10: Prática 10. Demonstrações da Lei de Coulomb com a balança eletrônica – Dependência do inverso do quadrado da distância;
Momento2. Aula 8.	- Realização da prática 11: Prática 11. Demonstrações da Lei de Coulomb com a balança eletrônica – Dependência com o produto das cargas;
Momento2. Aula 9.	- Síntese integradora momento 2. Assembleia 2;
Momento3. Aula 10.	- Realização da prática 12: Prática 12. O campo elétrico – Prática com o gerador de Van der Graaff;
Momento3. Aula 11.	- Apresentação de slides sobre interações elétricas, linhas de força e campo elétrico.
Momento3. Aula 12.	- Síntese integradora momento 3 Assembleia 3; - Fechamento e organização final da pasta;

Fonte: O autor

A seguir temos os Quadros de 2 a 11 com os planos de aula utilizados em uma aplicação deste produto educacional.

Plano de aula - Aulas 1, 2 e 3

Quadro 2: Plano da aula 1, 2 e 3

Eletrização	Data:
Dados de Identificação: Escola, Professor, Disciplina, Série, Turma e período.	
Tema: Carga elétrica, natureza da carga elétrica, processos de eletrização,	
Objetivos específicos: - Observar os fenômenos físicos que aparecem nos experimentos propostos; - Identificar nas práticas desenvolvidas propriedades elétricas; - Associar interações elétricas cotidianas com o conteúdo desenvolvido; - Conceituar carga elétrica; - Utilizar escrita e símbolos para relatar e fazer registros.	
Conteúdo: Prática 1. Eletrização de Isolantes; Prática 2. Canudinho suspenso, Pêndulo de torção; Prática 3. Interação canudinho com filete de água; Prática 4. Eletrização de bolinhas de isopor em frasco; Prática 5: Garrafa de Leyden; Prática 6: Eletroscópio de folhas; Prática 7: Garrafa de Leyden e Eletróforo; Prática 8: Eletroscópio de folhas e eletróforo;	
Desenvolvimento do tema: - Montar equipes; - Orientações iniciais (Formas de registros/Fotos podem ajudar), Roteiros e registros por equipe e fazer pastas por equipes; - Orientar as equipes sobre as práticas que vão realizar seguindo os roteiros; - Fazer observações e tirar dados experimentais qualitativos com os aparatos para experimentação da forma orientada nos roteiros; - Fazer registros individuais, em equipe e em turma, relacionando os registros com propriedades, grandezas e conceitos envolvidos; - Fazer relações entre os próprios registros e dos colegas; - Formular hipóteses.	
Recursos didáticos: Práticas de 1 a 8 (materiais e roteiros), quadro, giz, retro-projetor, livros didáticos.	
Avaliação: Qualitativa (ações individuais, ações em equipe, análise do resultado em equipe, e participação da assembleia ao final do Momento). Quantitativa (análise dos registros feitos de forma individual e em equipe). Formativa (durante todo o processo, e levando em conta acertos e erros)	
Bibliografia: ASSIS, A. K. T. Os fundamentos experimentais e históricos da eletricidade . Montreal: Apeiron, 2010. ISBN: 9780986492617. Disponível em: https://www.ifi.unicamp.br/~assis/Eletricidade.pdf HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. Fundamentos de física . 9. ed. Rio de Janeiro, RJ: LTC, 2012 v. 3	

Fonte: O autor

Plano de aula – Aula 4

Quadro 3: Plano da aula 4

Eletrização	Data:
Dados de Identificação: Escola, Professor, Disciplina, Série, Turma e período	
Tema: Carga elétrica, natureza da carga elétrica, processos de eletrização, bons e maus condutores	
Objetivos específicos: - Relatar os fenômenos físicos e fazer relações; - Relacionar os efeitos gerados nos experimentos a propriedades elétricas; - Identificar nas atividades, por meio de observação de fatos e da análise de dados e registros, elementos relacionados a propriedades pertencentes a natureza dos materiais; - Utilizar escrita e símbolos para relatar e fazer as anotações; - Discutir a natureza das interações.	
Conteúdo: - Retomada das Práticas 1 a 8 realizadas nas Aulas 1 a 3 e discussão sobre história, experimentos e conceitos físicos relacionados a eletrização e carga elétrica.	
Desenvolvimento do tema: Apresentação por meio de slides e discussão mediada pelo professor sobre a eletrização, mais especificamente, como a física se constrói, evoluiu e evolui lançando mão de novas teorias formuladas, norteados pelos fenômenos de eletrização. Para tanto, sempre. Usando os registros das aulas anteriores, e promover a discussão e análise dos comportamentos das cargas elétricas e suas relações entre si, e, a partir desta aula fazer uma revisão e atualizar os registros.	
Recursos didáticos: Experimentos, quadro, giz, retroprojektor e fontes livros didáticos.	
Avaliação: Qualitativa (ações individuais, ações em equipe, análise do resultado em equipe, e participação da assembleia ao final do Momento). Quantitativa (análise dos registros feitos de forma individual e em equipe). Formativa (durante todo o processo, e levando em conta acertos e erros)	
Bibliografia: ASSIS, A. K. T. Os fundamentos experimentais e históricos da eletricidade . Montreal: Apeiron, 2010. ISBN: 9780986492617. Disponível em: https://www.ifi.unicamp.br/~assis/Eletricidade.pdf HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. Fundamentos de física . 9. ed. Rio de Janeiro, RJ: LTC, 2012 v. 3	

Fonte: O autor

Plano de aula - Aula 5

Quadro 4: Plano da Aula 5

Assembleia Momento 1	Data:
Dados de Identificação: Escola, Professor, Disciplina, Série, Turma e período	
Tema: Carga elétrica; natureza da carga elétrica, processos de eletrização, bons e maus condutores	
Objetivos específicos: - Analisar dados; - Relacionar os efeitos gerados nos experimentos com propriedades elétricas; - Associar interações elétricas cotidianas com o conteúdo desenvolvido; - Discutir a existência cargas elétricas positivas e negativas, atração e repulsão; - Utilizar escrita e símbolos para relatar e fazer as anotações - Construir modelos comuns para elementos relacionados com propriedades pertencentes a natureza da carga elétrica.	
Conteúdo: História, experimentos e conceitos sobre eletrização e carga elétrica	
Desenvolvimento do tema: - Finalização e organização dos registros em equipe com discussão em e Assembleia; - Fazer registros também durante a assembleia; - Usar os registros das aulas anteriores - Fazer relações entre os próprios registros e dos colegas. - Formular hipóteses. - Responder as hipóteses levantadas; - Discutir sobre a eletrização, mais especificamente, como a física se constrói, evoluiu e evolui lançando mão de novas teorias formuladas, que descrevem comportamentos de eletrização; - Finalizar e organização dos registros em equipe	
Recursos didáticos: Práticas de 1 a 8(materiais e roteiros), quadro, giz, livros didáticos	
Avaliação: Qualitativa (ações individuais, ações em equipe, análise do resultado em equipe, e participação da assembleia ao final do Momento). Quantitativa (análise dos registros feitos de forma individual e em equipe). Formativa (durante todo o processo, e levando em conta acertos e erros)	
Bibliografia: ASSIS, A. K. T. Os fundamentos experimentais e históricos da eletricidade . Montreal: Apeiron, 2010. ISBN: 9780986492617. Disponível em: https://www.ifi.unicamp.br/~assis/Eletricidade.pdf HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. Fundamentos de física . 9. ed. Rio de Janeiro, RJ: LTC, 2012 v. 3	

Fonte: O autor

Plano de aula- Aula 6

Quadro 5: Plano da aula 6

Prévia momento 2: Dialogo sobre o funcionamento de uma balança. Data:
Dados de Identificação: Escola, Professor, Disciplina, Série, Turma e período.
Tema: Balança.
Objetivos específicos: - Relacionar aplicação de força quaisquer e a força gravitacional; - Utilizar balança para medir massas; - Utilizar balança para medir força; - Entender o funcionamento de uma balança; - Discutir as interações presentes; - Tirar tara dos objetos sobre a balança; - Relacionar aplicação de força quaisquer e a força gravitacional
Conteúdo: - Princípios Básicos sobre uma balança, seu funcionamento e seu uso
Desenvolvimento do tema: - Dialogar sobre o funcionamento de uma balança; - Fazer observações e tirar dados experimentais qualitativos com os aparatos para experimentação, da forma orientada nos roteiros; - Fazer registros individuais, em equipe e em turma, relacionando os registros com propriedades, grandezas e conceitos envolvidos; - Fazer relações entre os próprios registros e dos colegas; - Formular hipóteses.
Recursos didáticos: Práticas 9 (materiais e roteiros), quadro, giz, fontes livros didáticos
Avaliação: Qualitativa (ações individuais, ações em equipe, análise do resultado em equipe, e participação da assembleia ao final do Momento). Quantitativa (análise dos registros feitos de forma individual e em equipe). Formativa (durante todo o processo, e levando em conta acertos e erros)
Bibliografia: ASSIS, A. K. T. Os fundamentos experimentais e históricos da eletricidade . Montreal: Apeiron, 2010. ISBN: 9780986492617. Disponível em: https://www.ifi.unicamp.br/~assis/Eletricidade.pdf HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. Fundamentos de física . 9. ed. Rio de Janeiro, RJ: LTC, 2012 v. 3

Fonte: O autor

Plano de aula- Aula 7

Quadro 6: Plano da aula 7

Demonstrações da Lei de Coulomb com a balança eletrônica – Dependência do inverso do quadrado da distância; Data:
Dados de Identificação: Escola, Professor, Disciplina, Série, Turma e período.
Tema: Interações elétricas – lei de Coulomb
Objetivos específicos: - Observar os fenômenos físicos que aparecem nos experimentos propostos; - Identificar nas práticas desenvolvidas propriedades elétricas; - Associar interações elétricas cotidianas com o conteúdo desenvolvido; - Conceituar força elétrica como dependente do inverso do quadrado da distância; - Utilizar escrita e símbolos para relatar e fazer registros
Conteúdo: Função inversamente proporcional ao quadrado da distância e a Lei de Coulomb
Desenvolvimento do tema: -Fazer observações e tirar dados experimentais qualitativos com os aparatos para experimentação, da forma orientada nos roteiros; - Fazer registros individuais, em equipe e em turma, relacionando os registros com propriedades, grandezas e conceitos envolvidos; - Fazer relações entre os próprios registros e dos colegas; - Formular hipóteses.
Recursos didáticos: Prática 10 (materiais e roteiros), quadro, giz e livros didáticos.
Avaliação: Qualitativa (ações individuais, ações em equipe, análise do resultado em equipe, e participação da assembleia ao final do Momento). Quantitativa (análise dos registros feitos de forma individual e em equipe). Formativa (durante todo o processo, e levando em conta acertos e erros)
Bibliografia: CORTEL, A. Demonstrations of Coulombs Law withan Eletronic Balance. THE PHYSICS THEACHER . Barcelona Espanha, V. 37. p.447-448, Oct. 1999. HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. Fundamentos de física . 9. ed. Rio de Janeiro, RJ: LTC, 2012 v. 1

Fonte: O autor

Plano de aula- Aula 8

Quadro 7: Plano da aula 8

Demonstrações da Lei de Coulomb com a balança eletrônica – Dependência com o produto das cargas.	Data:
Dados de Identificação: Escola, Professor, Disciplina, Série, Turma e período.	
Tema: Interações elétricas – lei de Coulomb	
Objetivos específicos: - Observar os fenômenos físicos que aparecem nos experimentos propostos; - Identificar nas práticas desenvolvidas propriedades elétricas; - Associar interações elétricas cotidianas com o conteúdo desenvolvido; - Conceituar força elétrica como dependente do produto das cargas envolvidas; - Utilizar escrita e símbolos para relatar e fazer registros	
Conteúdo: produto das cargas envolvidas e a Lei de Coulomb	
Desenvolvimento do tema: - Fazer observações e tirar dados experimentais qualitativos com os aparatos para experimentação, da forma orientada nos roteiros; - Fazer registros individuais, em equipe e em turma, relacionando os registros com propriedades, grandezas e conceitos envolvidos; - Fazer relações entre os próprios registros e dos colegas; - Formular hipóteses.	
Recursos didáticos: Balança, quadro, giz e fontes livros didáticos	
Avaliação: Qualitativa (ações individuais, ações em equipe, análise do resultado em equipe, e participação da assembleia ao final do Momento). Quantitativa (análise dos registros feitos de forma individual e em equipe). Formativa (durante todo o processo, e levando em conta acertos e erros)	
Bibliografia: CORTEL, A. Demonstrations of Coulombs Law withan Eletronic Balance. THE PHYSICS THEACHER . Barcelona Espanha, V. 37. p.447-448, Oct. 1999. HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. Fundamentos de física . 9. ed. Rio de Janeiro, RJ: LTC, 2012 v. 1	

Fonte: O autor

Plano de aula- Aula 9

Quadro 8: Plano da aula 9

Asssembleia	Data:
Dados de Identificação: Escola, Professor, Disciplina, Série, Turma e período.	
Tema: A Lei de Coulomb.	
Objetivos específicos: - Construir modelos comuns para elementos relacionados com propriedades pertencentes a natureza da força elétrica – lei de Coulomb; - Analisar dados; - Relacionar os efeitos gerados nos experimentos a propriedades elétricas- Associar interações elétricas cotidianas com o conteúdo desenvolvido; -Discutir a existência cargas elétricas positivas e negativas, atração e repulsão; -Utilizar escrita e símbolos para relatar e fazer as anotações;	
Conteúdo: História, experimentos e conceitos sobre eletrização, carga elétrica e força elétrica	
Desenvolvimento do tema: - Fazer registros também durante a assembleia; - Usar os registros das aulas anteriores - Fazer relações entre os próprios registros e dos colegas. - Formular hipóteses. - Responder as hipóteses levantadas; - Discutir sobre a força elétrica, mais especificamente, como a física se constrói, evoluiu e evolui lançando mão de novas teorias formuladas, que descrevem comportamentos em relação a força elétrica; - Finalizar e organização dos registros em equipe	
Recursos didáticos: Roteiro, quadro, giz, livros didáticos	
Avaliação: Qualitativa (ações individuais, ações em equipe, análise do resultado em equipe, e participação da assembleia ao final do Momento). Quantitativa (análise dos registros feitos de forma individual e em equipe). Formativa (durante todo o processo, e levando em conta acertos e erros)	
Bibliografia: CORTEL, A. Demonstrations of Coulombs Law withan Eletronic Balance. THE PHYSICS THEACHER. Barcelona Espanha, V. 37. p.447-448, Oct. 1999. HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. Fundamentos de física. 9. ed. Rio de Janeiro, RJ: LTC, 2012 v. 1	

Fonte: O autor

Plano de aula- Aula 10

Quadro 9: Plano da aula 10

O Campo Elétrico, prática com o Gerador de Van der Graff.	Data:
Dados de Identificação: Escola, Professor, Disciplina, Série, Turma e período.	
Tema: Campo elétrico	
Objetivos específicos: Objetivo geral - Construir modelos comuns para elementos relacionados com propriedades pertencentes a natureza do campo elétrico e linhas de campo elétrico. Objetivos específicos: - Relacionar os efeitos gerados nos experimentos a propriedades elétricas - Associar interações elétricas cotidianas com o conteúdo desenvolvido - Discutir a existência cargas elétricas positivas e negativas, atração e repulsão. - Utilizar escrita e símbolos para relatar e fazer as anotações	
Conteúdo: Roteiro Prática 12: Vetor campo elétrico, campo elétrico de uma carga pontual, linhas de campo. Campo elétrico e linhas de campo elétrico	
Desenvolvimento do tema: - Fazer observações e tirar dados experimentais qualitativos com os aparatos para experimentação, da forma orientada nos roteiros; - Fazer registros individuais, em equipe e em turma, relacionando os registros com propriedades, grandezas e conceitos envolvidos; - Fazer relações entre os próprios registros e dos colegas; - Formular hipóteses	
Recursos didáticos: Prática 12 (materiais e roteiros), quadro, giz e livros didáticos	
Avaliação: Qualitativa (ações individuais, ações em equipe, análise do resultado em equipe, e participação da assembleia ao final do Momento). Quantitativa (análise dos registros feitos de forma individual e em equipe). Formativa (durante todo o processo, e levando em conta acertos e erros)	
Bibliografia:. HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. Fundamentos de física . 9. ed. Rio de Janeiro, RJ: LTC, 2012 v. 1	

Fonte: O autor

Plano de aula- Aula 11

Quadro 10: Plano da aula 11

Aula expositiva: O Campo Elétrico, prática com o gerador.	Data:
Dados de Identificação:	
Escola, Professor, Disciplina, Série, Turma e período	
Tema:	
Campo elétrico e linhas de campo de elétrico	
Objetivos específicos:	
Objetivo geral	
- Observar os fenômenos físicos que aparecem nos experimentos propostos; - Identificar nas práticas desenvolvidas propriedades elétricas; - Associar interações elétricas cotidianas com o conteúdo desenvolvido; - Conceituar campo elétrico; - Conceituar linhas de campo elétrico; - Utilizar escrita e símbolos para relatar e fazer registros.	
Conteúdo:	
Campo elétrico e linhas de campo elétrico	
Desenvolvimento do tema:	
Apresentação por meio de slides e discussão mediada pelo professor sobre o campo elétrico, mais especificamente, como a física se constrói, evoluiu e evolui lançando mão de novas teorias formuladas. Para tanto, sempre usando os registros das aulas anteriores, e promover a discussão e análise dos comportamentos das cargas elétricas e suas relações entre si, e, a partir desta aula fazer uma revisão e atualizar os registros.	
Recursos didáticos:	
Retroprojektor, roteiro, quadro, giz e livros didáticos	
Avaliação:	
Qualitativa (ações individuais, ações em equipe, análise do resultado em equipe, e participação da assembleia ao final do Momento). Quantitativa (análise dos registros feitos de forma individual e em equipe). Formativa (durante todo o processo, e levando em conta acertos e erros)	
Bibliografia:	
HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. Fundamentos de física. 9. ed. Rio de Janeiro, RJ: LTC, 2012 v. 1	

Fonte: O autor

Plano de aula- Aula 12

Quadro 11: Plano da aula 12

Assembleia	Data:
Dados de Identificação: Escola, Professor, Disciplina, Série, Turma e período.	
Tema: Assembleia (Síntese integradora), Campo elétrico	
Objetivos específicos: - Construir modelos comuns para elementos relacionados com propriedades do Campo Elétrico - Analisar dados - Relacionar os efeitos gerados nos experimentos a propriedades elétricas - Associar interações elétricas cotidianas com o conteúdo desenvolvido - Discutir a existência do campo elétrico como grandeza física. - Utilizar escrita e símbolos para relatar e fazer as anotações	
Conteúdo: História, experimentos e conceitos sobre campo elétrico de uma carga pontual, de corpos eletrizados e linhas de campo.	
Desenvolvimento do tema: Finalização e organização dos registros em equipe e Assembleia, Fazer registros também durante a Assembleia. Discussão sobre o campo elétrico. Usando os registros das aulas anteriores discutir e analisar. E a partir disso fazer novos registros. - Relacionar os registros com propriedades, grandezas e conceitos envolvidos. - Fazer registros. - Fazer relações entre os próprios registros e dos colegas. - Formular hipóteses. - Responder as hipóteses levantadas; - Finalização e organização dos registros em equipe.	
Avaliação: Qualitativa (ações individuais, ações em equipe, análise do resultado em equipe, e participação da assembleia ao final do Momento). Quantitativa (análise dos registros feitos de forma individual e em equipe). Formativa (durante todo o processo, e levando em conta acertos e erros)	
Bibliografia: HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. Fundamentos de física. 9. ed. Rio de Janeiro, RJ: LTC, 2012 v. 1	

Fonte: O autor

3 CONSIDERAÇÕES SOBRE ELETRIZAÇÃO, FORÇA ELÉTRICA e CAMPO ELÉTRICO²

Estamos cercados de fenômenos naturais e produzidos pela mão humana que dependem da física do eletromagnetismo, que é uma combinação de efeitos elétricos e magnéticos.

No presente capítulo, que tem o objetivo de apresentar conceitos físicos relacionados ao referido produto educacional, vamos nos ater aos conceitos relacionados com carga elétrica vinculando aos processos de eletrização, comportamento das cargas elétricas e interação elétrica, força elétrica e campo elétrico. A fim de que possamos assim trabalhar conhecimentos que nos permitam entender fenômenos que nos cercam e, que também, podem ser subsunções (MOREIRA, 2012) para aprendizagem de novos conceitos futuramente, dentro e fora de sala de aula.

3.1 ELETRIZAÇÃO

Suponhamos que uma barra de plástico, como um canudinho ou uma caneta, seja friccionada com um papel ou com uma pele, e que a partir disso, gere efeitos de interação. Ao usarmos duas barras eletrizadas, uma suspensa por um fio como um pêndulo de torção, podemos inclusive notar efeitos de atração e repulsão, o mesmo pode ser notado se utilizarmos barras de vidro e seda (TIPLER; MOSCA, 2009). É mais comum observarmos efeitos como atrair pequenos papéis utilizando uma caneta ou algum outro objeto que foi eletrizado passando-o no cabelo. É bastante comum que pessoas tenham observado ou realizado alguma experiência dessa natureza em algum momento de sua vida. E foi algo parecido que deu ponta pé inicial a ciência da eletricidade, e são fenômenos como estes que vamos explorar, conceituando e buscando relações com a história.

Os registros mais antigos sobre a física do eletromagnetismo estão relacionados com filósofos da Grécia Antiga, de onde temos, por exemplo, relatos da eletrização do âmbar ao ser atritado e, também, atração entre um tipo de pedra, imã natural, e objetos de ferro. A eletricidade e o magnetismo evoluíram de forma

² Os aspectos teóricos abordados neste Capítulo, são assuntos abordados na dissertação, que é relativa a este Produto Educacional, e foram reproduzidos integralmente no Capítulo 3 da mesma.

independentes por muitos séculos até 1820, quando Hans Christian Oersted descobriu que uma bússola pode sofrer mudança de direção por uma corrente elétrica próxima e surge a nova ciência do eletromagnetismo (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2012).

Aproximadamente 2400 anos atrás, Platão em seu diálogo Timeu, fez menção ao também conhecido como efeito âmbar. Ainda que não cite quem o descobriu, apresenta o fato como se fosse conhecido de seus leitores, o que nos leva a pensar que este experimento havia sido realizado antes. Evidências deste fato estão em registros do biógrafo dos filósofos gregos que viveu por volta do séc. III, chamado Diógenes Laércio, que coloca Tales de Mileto como o executor do famoso experimento. Vale lembrar que Tales de Mileto viveu entre de 625 a 546 a.C. aproximadamente, isto é, anterior a Platão, e que esse o considerou um dos sete sábios da antiga Grécia em seu diálogo Protágoras (ASSIS, 2010, 2018).

Nos livros didáticos, então, é comum atribuir como primeiro registro histórico de experimento de eletrização por atrito a Tales de Mileto. E tal experimento trata do atrito do âmbar, uma resina fóssil, com outros materiais, assim, essa resina assume uma propriedade e é capaz de atrair outros objetos. Na Figura 1a, temos uma ilustração de um canudo, após eletrizado por atrito com guardanapo, atraindo pequenas bolinhas de isopor, fenômeno similar ao histórico efeito âmbar, que está na Figura 1b. A partir desse, podemos relacionar com situações cotidianas atuais, discutindo sobre o que é a eletrização e como ocorre.

Figura 1– Materiais eletrizados por atrito, causando atração: a - Canudinho e bolinhas de isopor, e b - Âmbar báltico atraindo plumas.



Fonte: a - O autor,

Fonte: b - MATTEDE, H. **Quem inventou a eletricidade?**. Mundo da elétrica. 2014. Disponível em: <https://www.mundodaeletrica.com.br/quem-inventou-a-eletricidade/>. Acesso em: 15. maio. 2019.

Muitos dos termos que utilizamos hoje têm origens na palavra *eléktron*, do grego âmbar. Em 1820, Oersted utilizou os equivalentes aos termos eletromagnetismo e eletromagnético e Ampère em 1822 os equivalentes a eletrostático e eletrodinâmico (ASSIS, 2010).

Originalmente, a palavra eletricidade era utilizada para materiais que assumiam a propriedade de atrair objetos como o âmbar ao serem atritadas, Figura 1. O inglês William Gilbert (1544-1603), cita o *eléktron* ou âmbar em seu livro de 1600, destacando a capacidade dele quando atritado, logo, ser capaz de atrair vários objetos e também a água, como haviam registrados os gregos. Para Gilbert, as exceções de atração do âmbar eram apenas o ar e o fogo. Atualmente, classificamos os materiais em condutores e os que não são condutores como isolantes ou dielétricos.

É importante também citarmos que em meados do séc. XVII, não existia o conceito atual de átomo ou partículas atômicas, então, era comum olhar para eletrização como objeto adquirindo uma espécie de fluido. Dessa forma, acreditava-se que o âmbar atritado emitiria um eflúvio, material grudento elástico que causaria a atração dos corpos leves. Ideia que pode ser compartilhada de forma similar por alguns de nossos alunos, principalmente durante a execução dos primeiros experimentos propostos no produto educacional deste trabalho. O que pode fazer parte para alguns da construção do conhecimento (ASSIS, 2010).

Marco importante foi a descoberta da repulsão em si reconhecida como fenômeno procedente de interações elétricas, que veio à tona com os trabalhos de Charles François e Cisternay Du Fay em 1733 e 1734 (ASSIS, 2010).

Devemos a Du Fay o reconhecimento de que objetos se atraem até se tocarem, tocando-se compartilham algo, e tendo compartilhado, em seguida, como se portassem a mesma coisa, se repelem. Foi Du Fay que pela primeira vez propôs a existência de dois tipos de eletricidade, o que chamou de Eletricidade Vítreas e Eletricidade Resinosas, os denominou assim pelo tipo de material (ASSIS, 2010).

Hoje, conhecemos como cargas positivas e cargas negativas. A repulsão por materiais com mesmo tipo de carga, e atração por materiais com tipos diferentes de carga. Tratamos tal efeito como interação elétrica.

Apesar de conhecido que o *eléktron* não foi descoberto de um dia para o outro, mas é fruto de várias pesquisas, atribuímos a Joseph John Thomson (1856-1940) e seu experimento com tubos dos raios catódicos a descoberta do *eléktron* em 1897. A

partícula que possui carga negativa e que é encontrado nos átomos que constituem todas as substâncias.

A carga é uma propriedade intrínseca das partículas que compõem a matéria e apesar de ser intuitivo sugerir que a carga é uma substância, até pela forma como nos referimos a ela, ela é composta de unidades elementares de carga, sendo assim, quantizada. Logo, só podemos encontrar cargas múltiplas inteiras do valor $1,602 \cdot 10^{-19}$ C e esta quantidade de carga elétrica elementar pode ser ou é frequentemente indicada apenas por e . Além disso, a carga não pode ser criada nem destruída. Ela pode se deslocar em determinadas situações, mas a carga total de um sistema isolado permanece sempre a mesma, o que é conhecido como lei da conservação da carga (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2012) Destacamos ainda que:

Na verdade, todos os corpos contêm muitas cargas elétricas. A **carga elétrica** é uma propriedade intrínseca das partículas fundamentais de que é feita a matéria; em outras palavras, é uma propriedade associada à própria existência das partículas (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2012, p. 01).

Então, sendo possível que corpos recebam ou doem cargas elétricas, por vezes, isso pode ser visualizado na forma de fagulhas elétricas. Fagulhas, que em certas situações, podem ser fonte de ignição em atmosferas explosivas ou capazes de incendiar materiais inflamáveis. Esse fenômeno revela a existência das cargas elétricas.

Quando o ar está seco, é possível produzir fagulhas esfregando os pés em um tapete e aproximando a mão de uma maçaneta, de uma torneira ou mesmo de uma pessoa. Também podem surgir centelhas quando você despe um suéter ou remove as roupas de uma secadora. As centelhas e a 'atração eletrostática' (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2012, p. 01, grifo do autor).

A título de exemplificação do mencionado anteriormente, citamos uma simulação interativas chamada John Travoltagem (PHET, 2018), talvez um pouco exagerada, onde um avatar do ator norte-americano John Joseph Travolta, ao atritar seu sapato com o material do tapete acaba eletrizando todo seu corpo, e ao tocar a maçaneta da porta, ele acaba produzindo fagulhas de natureza elétricas. Na figura 2, apresentamos uma ilustração da simulação.

Figura 2 – Ilustração da simulação do Phet – John Travoltage.

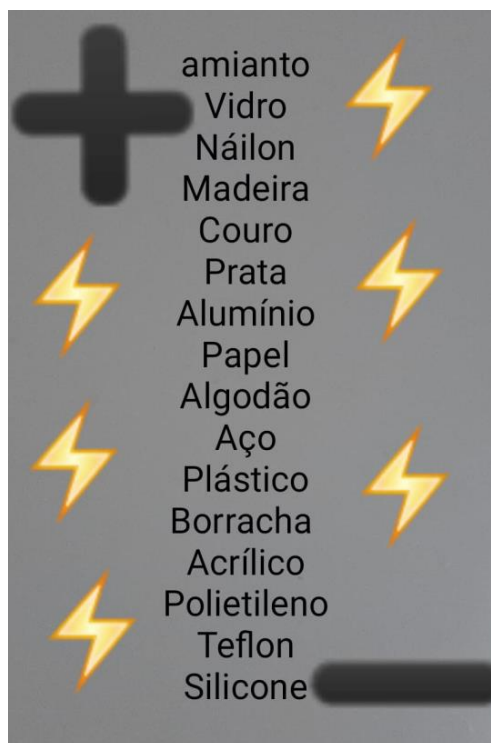


Fonte: PODOLEFSKY, N.; WIEMAN, C.; Reid, S. **Jhon travoltage**. PHET Interactive simulations. Disponível em: https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/john-travoltage. Acesso em: 09 abr. 2018.

Tendo em vista de que existem em grande quantidade e em toda matéria e, é normal que a dúvida sobre o motivo pelo qual só em situações específicas possamos observar as cargas elétricas. Quando um corpo tem mesmo número de cargas positivas, prótons, e cargas negativas, elétrons, bem distribuídas, dizemos que ele está neutro, ou seja, a soma total de suas cargas resulta em zero, e os efeitos elétricos espontâneos são dificilmente observáveis. Porém, quando os dois tipos de cargas elétricas se apresentam em quantidades distintas, dizemos que o corpo está eletrizado. É comum se pensar que um corpo eletrizado positivamente recebeu cargas positivas, porém, isso não deve ser verdade. Para compreender tal questão, é necessário conhecer conceitos sobre as forças fundamentais da natureza e sobre como as partículas estão distribuídas na estrutura dos átomos e moléculas.

Ao atritarmos os materiais, podemos obter dois diferentes tipos de carga, neste processo, cada corpo tem tendência de assumir certa carga elétrica: positiva ou negativa. Chamamos a organização em relação a ordem dos materiais com maior tendência de ficar negativos ou positivos de série triboelétrica. Apresentamos um exemplo desta série na Figura 3, porém, vale ressaltar que há outros mais completos, (TIPLER; MOSCA, 2004; HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2012; ASSIS, 2010, 2018; SAAD *et al.*, 2020).

Figura 3 – Exemplo de séries triboelétrica.



Fonte: O autor

Experimentalmente podemos verificar que existem processos em que a interação entre as cargas elétricas presentes nas substâncias, ao interagirem entre si, acarretam em propriedades físicas e químicas da matéria. Quando temos um número diferente de cargas positivas e negativas em um corpo, ou em uma região de um corpo, o corpo apresenta efeito de interação elétrica.

A mesma situação exemplificada anteriormente, a simulação interativa chamada John Travoltagem (PHET, 2018) arremete, de forma exagerada, a pensarmos que existem diversas situações cotidianas em que ficamos sujeitos a processos que envolvem interação entre as cargas e propriedades dos materiais. Dentre os vários exemplos, podemos citar o fenômeno que ocorre quando usamos uma blusa de lã e o atrito gera acúmulo de cargas, e quando tiramos a blusa os pelos do corpo se arrepiam, as vezes ouvirmos estalos ou vemos minúsculas faíscas.

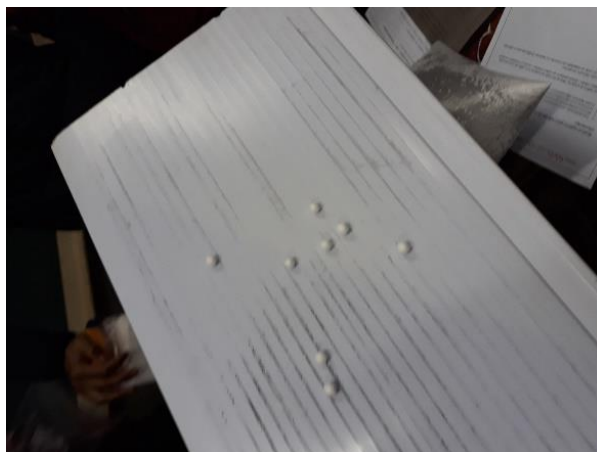
Os três tipos de eletrização são atrito, contato e indução. Nos experimentos propostos a serem desenvolvidos podemos explorar e entender cada uma.

3.1.1 Eletrização por atrito

Ao esfregarmos um canudo em guardanapo de papel ou uma placa de PVC em lã, experimentalmente podemos verificar efeitos de interação elétrica geradas pelas cargas elétricas agora presentes no objeto eletrizado. A placa de PVC, Figura 4, não está neutra, pois passou por um processo de eletrização por atrito, ao ser friccionada, recebeu elétrons da lã, ficando com carga total negativa, de acordo com a série triboelétrica, Figura 3.

Se compararmos duas situações, uma em que a placa passou pelo processo de eletrização por atrito e outra não, notamos que o canudo muda seu estado, gerando interação elétrica com o isopor.

Figura 4 – PVC eletrizado por atrito atraindo Isopor



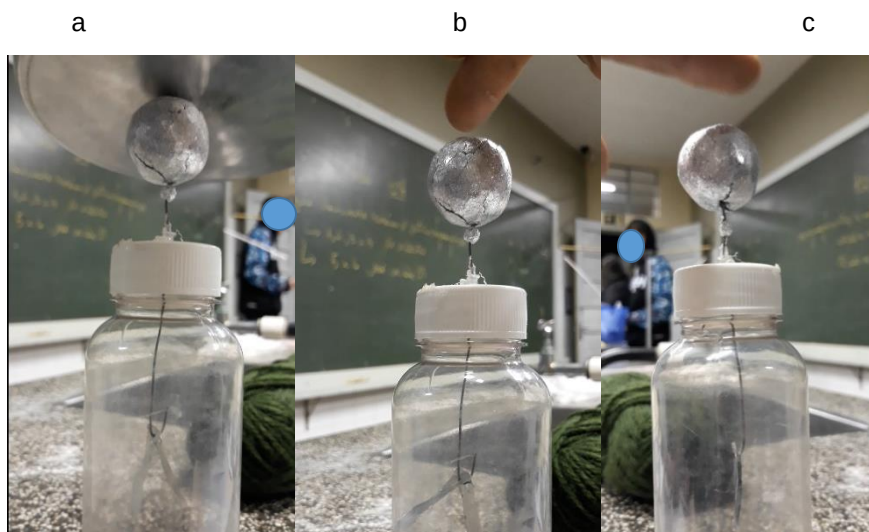
Fonte: O autor

3.1.2 Eletrização por contato

Em alguns casos podemos eletrizar objetos, transferir cargas, colocando-os apenas em contato entre si, fenômeno bem comum nos metais.

Tendo em mãos um aparato chamado eletroscópio de folhas, podemos demonstrar que cargas podem ser transferidas por contato de um objeto carregado, para outro, como na Figura 5.

Figura 5 – sequência eletrização e descarga por contato – eletroscópio de folhas.



Fonte: O autor

Neste caso, ao encostar o disco metálico eletrizado, denominado eletróforo, na esfera de metal do eletroscópio de folhas, ele transfere cargas elétricas pelo contato, Figura 5a. As cargas se distribuem pelo metal, chegando até as folhas de metal, que se repelem entre si, por estarem eletrizadas com mesmo de forma igual.

Ao efetuar o contato do dedo sobre a esfera, Figura 5b, o corpo humano pode receber as cargas do eletroscópio eletrizado, fazendo com que ele fique neutro novamente e as folhas deixe de se repelir entre si, Figura 5c.

3.1.3 Eletrização por indução

Considerando a Figura 5, e que, ao em vez de efetuar o contato do eletróforo com a esfera do eletroscópio, Figura 5, apenas os aproximemos. O que ocorre é que o eletróforo, por estar eletrizado de forma negativa, repele os elétrons da esfera do eletroscópio para as folhas, que ficam eletrizadas negativamente e se afastam.

Suponhamos que efetuamos o contato das folhas com o dedo durante esse processo, como anteriormente citado, o corpo humano pode receber as cargas do eletroscópio eletrizado (neste caso por indução). Tirando o dedo do contato, a esfera do eletroscópio ficou com falta de elétrons (positiva), em seguida, afastamos o eletróforo e todo o eletroscópio fica carregado de forma positiva.

Neste tipo de processo induzimos as cargas a saírem do objeto (eletroscópio) pelo aterramento (dedo humano) apenas aproximando um corpo eletrizado (eletróforo), efetuamos eletrização por indução.

3.2 INTERAÇÃO - FORÇA ELÉTRICA, CONCEITO A PARTIR DE UMA PERSPECTIVA EXPERIMENTAL

A partir do artigo de Cortel (1999) montamos uma adaptação, o qual foi peça chave na estruturação do material educacional, mais precisamente para Momento 2, pois conduziu a modelagem da equação para forças em interações de natureza elétrica, conhecida como Lei de Coulomb. Além disso, explorarmos mais uma forma da existência da carga elétrica experimentalmente com a observação das fagulhas. Assim, possibilitando verificar que carga elétrica e intensidade da interação elétrica como grandezas físicas mensuráveis, e força como ponte entre o estudo das cargas elétricas e do campo elétrico.

3.2.1 A balança

Nesta proposta, usamos uma balança como instrumento para verificar a interação elétrica entre corpos carregados. Por isso, passamos a explorar o funcionamento da balança e como ela foi usada para esse fim.

Figura 6 – Balança eletrônica de mesa



Fonte: O autor

As balanças são dispositivos utilizados para medir a massa de um corpo por meio da força gravitacional exercida sobre elas, logo, são instrumentos de medida,

um dos mais antigos. Existem diversos tipos de balanças, possuindo diversas utilidades, mensurando desde pequenas massas até massas enormes, vamos focar em uma forma mais específica, a de mesa, como a que está ilustrada na Figura 6.

Ao aplicar pressão sobre a balança com o dedo. Podemos nos perguntar o que está ocorrendo, uma das conclusões possíveis é que a balança mede a força aplicada sobre ela com o dedo, e nos dá a intensidade desta força em unidades de massa, quilogramas (kg) por exemplo. Neste momento podemos nos perguntar, mas como assim, força em unidade de massa? Sei que esta colocação pode soar confusa, então para que possamos entender melhor pensemos sobre este processo, sobre o fenômeno físico que ocorre. Para isto, temos que definir força e massa e determinar qual a relação entre estas duas grandezas físicas distintas. Começemos pensando sobre os termos que utilizamos e o que significam.

Muitas palavras são usadas em física, e todas elas têm o significado muito preciso, apesar de não terem tal significado preciso na linguagem diária. [...] Se exercemos um certo empurrão com nossos braços em um objeto que é leve, ele se move facilmente; se empurrarmos na mesma quantidade um outro objeto que é mais pesado no senso comum, então ele se move muito menos rápido. Na verdade, devemos mudar as palavras de 'leve' e 'pesado' para *menos massivo* e *mais massivo*, respectivamente (FEYNMAN, 2008, grifo do autor).

No trecho apresentado, Feynman coloca que existe diferença entre o peso e a inércia, aqui na superfície da Terra, geralmente o valor do peso e da dificuldade de colocar objetos em movimento podem ter valores proporcionais, e ambos são força. Porém, podemos imaginar que em uma região em que a atração gravitacional fosse diferente da que temos na Terra, o peso de um corpo pode ser diferente do que temos aqui, mas a força para mudar a quantidade de movimento, inércia da primeira lei de Newton, seria a mesma (FEYNMAN, 2008).

Mesmo que ambas as forças sejam diretamente proporcionais a massa, a relação é diferente, vamos nos ater na relação para o peso, pois é este que nos permite entender o funcionamento de uma balança de bancada.

Se utilizássemos a mesma balança para medir a massa na Lua, onde a força de atração gravitacional é cerca de 1/6 da força de atração terrestre, não obteríamos o mesmo valor no visor, que aqui no nosso planeta. Portanto, a balança em questão é um aparelho que só indicará o valor correto da massa de objetos em seu visor, nas condições de atrações gravitacionais iguais a superfície do nosso planeta. A massa,

que é uma propriedade do corpo, pode ser medida na Lua, e indicando o valor correto no visor, se utilizássemos uma balança específica que considere a grandeza física aceleração gravitacional $g=1,67 \text{ m/s}^2$ ao em vez de $9,80 \text{ m/s}^2$ como a que utilizamos aqui na Terra. É importante notar que a massa não muda quando um corpo vai de um lugar até outro, apenas devemos utilizar uma forma adequada de medi-la (FEYNMAN, 2008).

Como a balança indica a massa, levando em conta que existe uma relação entre a massa e a força, podemos utilizar a balança para medir força aplicada sobre ela, pois se com um mesmo objeto temos valores diferentes no visor da balança, indica que a força que o objeto exerce sobre a balança mudou por algum outro motivo que não seja mudança da massa, ficou confuso? Vamos discutir mais sobre o assunto.

Precisamos saber e esclarecer a relação entre as grandezas, massa e força. Pensemos assim: A balança mede a força, e converte esta força para massa para casos específicos de atração gravitacional iguais aos da superfície terrestre.

O cálculo realizado pela balança e que podemos fazer para estipular a força sobre os elementos, prato mais dispositivo de compressão, que iremos considerar aqui como balança, é

$$\vec{P} = m \vec{g}, \quad (1)$$

onde:

$\vec{P}$ é o peso do objeto, e por ser uma grandeza vetorial, tem direção vertical e sentido para baixo, dado em N;

m é a massa do objeto, grandeza escalar, dada em Kg;

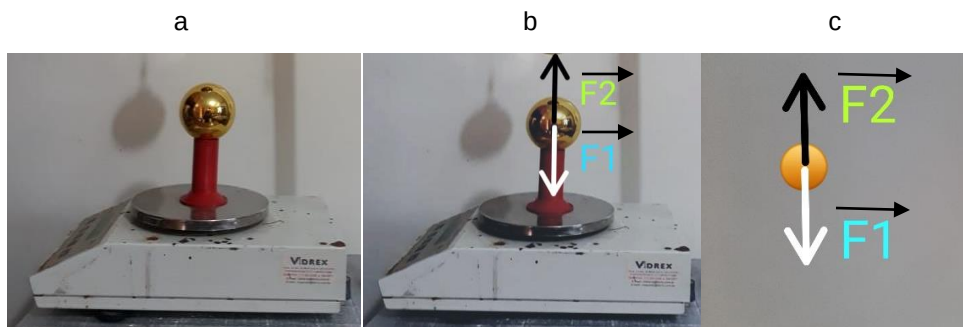
$\vec{g}$ é a aceleração da gravidade, e por ser uma grandeza vetorial, tem direção vertical e sentido para baixo, seu valor, módulo, é de aproximadamente $9,8 \text{ m/s}^2$, aqui na Terra. Valor que citamos no texto como utilizado pelas balanças aqui na Terra (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2012).

Podemos expressar as forças envolvidas em um corpo por meio de uma figura que, de forma simples, nos auxilia a compreensão de um sistema físico. Um diagrama de corpo livre, que é mostrado na Figura 7, é um esquema em que representamos todas as forças atuantes sobre um corpo, levando em consideração o módulo, direção e sentido.

Para desenhar um diagrama de corpo livre, devemos primeiramente identificar o objeto que será representado e todas as forças que atuantes sobre ele. Em seguida, representamos o objeto por meio de um ponto e cada uma das forças por setas, que são os vetores. Devemos ainda indicar o que cada item presente na figura corresponde.

Na Figura 7a podemos ver a foto de um experimento realizado em sala de aula, onde um conjunto, esfera com um suporte, está sobre uma balança, em seguida, a mesma foto, Figura 7b, com os vetores que representam as forças que atuam no conjunto, e podemos representar as forças atuantes no conjunto por meio de um diagrama de corpo livre, Figura 7c.

Figura 7 – Esfera e suporte sobre a balança eletrônica e a representação das forças.



Fonte: O autor

A partir da Figura 7, consideremos os elementos da balança, prato mais dispositivo de compressão, e vamos supor que colocamos um corpo sobre o prato. Nesta situação, após o equilíbrio, a força resultante sobre o conjunto é igual a zero, ou seja, o peso do conjunto, que é a força de compressão $\vec{F}1$, sobre dispositivo de compressão, e a força de restauradora $\vec{F}2$, têm módulos dados por $F1$ e $F2$, respectivamente, e são iguais, têm mesma direção e com sentidos opostos. Temos então que a relação matemática entre os módulos da força restauradora e da força de compressão é dada por $F1 = F2$, onde $\vec{F}1$ é dada pela Equação 1, cujo módulo é P .

Ao usarmos o termo força de compressão, é na acepção de que, consideramos que a balança é um mecanismo transformador de energia potencial acumulada pela força de compressão sobre ela, em um valor referente no visor. Grosso modo, vamos propor que o mecanismo interno é uma espécie de mola, então podemos pensar na energia potencial elástica como sendo a energia acumulada sobre a balança, pelas relações $\vec{F} = -k \vec{x}$ e $E = \frac{1}{2} k x^2$, onde $\vec{F}$ é a força restauradora, k um valor constante

relacionado ao mecanismo da balança, E é a energia potencial acumulada e $\vec{x}$ é um deslocamento do prato na mesma direção e sentido da força de compressão e, portanto, no sentido oposto ao da força restauradora, quanto maior a força de compressão, maior o deslocamento $\vec{x}$, e maior é a força restauradora, ou seja, maior a energia potencial acumulada, que reflete de forma proporcional no valor mostrado no visor da balança.

É importante que ao utilizar a balança não esqueçamos o conceito tara. Tara é desconsiderar; ou medir a partir de; parte da força que é exercida sobre a balança. Então, para medir certa força sobre a balança, consideramos a força exercida sobre a balança existente, antes de aferir a força que se pretende aferir, igual a zero. Por exemplo: O bufê de restaurante, tira a tara de prato. Logo, a massa mostrada no visor da balança é só referente a refeição, pois a massa do prato é desconsiderada pela própria balança, a qual mostra massa zero quando há somente o prato. Isso é um procedimento chamado de programar ou tirar a tara da balança.

Mas, você deve estar se perguntando o porquê estamos tratando do conceito do funcionamento de uma balança. O motivo é que podemos determinar a intensidade da força elétrica a partir da força gravitacional realizando um experimento conforme apresentaremos na sequência.

3.2.2 Demonstrações da lei de coulomb com balança eletrônica

Vamos supor que você disponha de uma balança eletrônica e queira medir a interação entre cargas elétricas, ou seja, o módulo da força elétrica entre as cargas. Consideremos o aparato da Figura 9, onde há o conjunto, composto por uma esfera metalizada sobre suporte de PVC e a balança devidamente tarada, temos um outro suporte em que há outra esfera metalizada suspensa por um fio que é variável, as duas esferas estão carregadas pelo mesmo processo de eletrização, ou seja, com cargas de mesmo sinal, para garantir isto, utilizamos as informações da série triboelétrica, Figura 3. Assumamos que a esfera metalizada sobre suporte de PVC e o prato da balança tem carga elétrica Q_1 e a esfera metalizada suspensa tem carga elétrica Q_2 , e que ambas podem ser consideradas como puntiformes.

Também é necessário entender que precisamos nos valer de dois teoremas importantes porque todos os nossos procedimentos descritos anteriormente são em condições ideais nas quais os teoremas podem ser admitidos.

Uma casca com uma distribuição uniforme de cargas atrai ou repele uma partícula carregada situada do lado de fora da casca como se toda a carga estivesse no centro da casca. Se uma partícula carregada está situada no interior de uma casca com distribuição uniforme de cargas, a casca não exerce nenhuma força eletrostática sobre a partícula. (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2009, p.64)

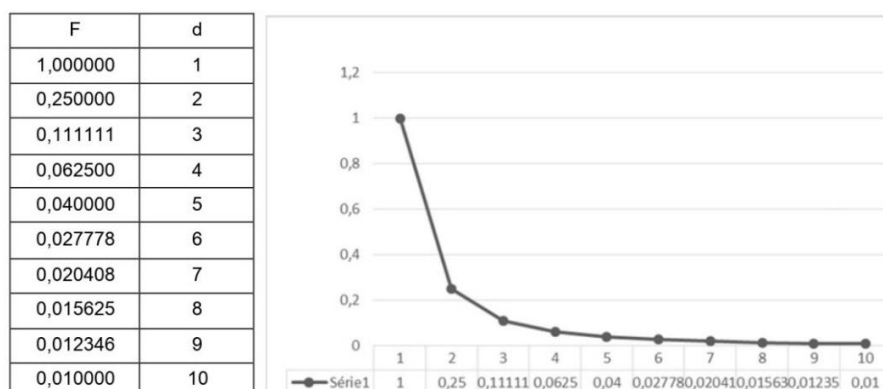
Iniciamos o processo, fazendo com que a esfera de cima se aproxime da esfera de baixo. E à medida que a esfera de cima for aproximada da esfera de baixo, o visor da balança irá fornecer um valor em unidades de massa e que foi calibrada de acordo com o campo gravitacional da Terra e que, como vimos, para encontrar seu valor em unidades de força, devemos multiplicá-la por $9,8 \text{ m/s}^2$.

Nesse caso, como o vetor força elétrica na esfera inferior tem a mesma direção e o mesmo sentido de $\vec{F}_1$, pois as forças envolvidas são de repulsão, conforme apresentamos na Figura 7. Então, consideramos a força elétrica $\vec{F}$ como a força de compressão $\vec{F}_1$, ou seja, $\vec{F}_1 = \vec{F}$ e partir de agora denotaremos o módulo da força elétrica como F .

O visor da balança nos dá um valor, em unidades de massa e como queremos saber a força atuante, ou seja, o vetor soma resultante da aplicação das forças que agem sobre a esfera, devemos determiná-la usando a segunda lei de Newton aplicada a força peso, como vimos anteriormente quando discutimos o funcionamento de uma balança. Podemos admitir que o módulo da aceleração gravitacional terrestre $\vec{g}$ seja $g = 9,8 \text{ m/s}^2$.

Desta forma, à medida que a distância entre as esferas diminui, notamos que o módulo da força elétrica F aumenta. Se utilizarmos os dados para traçarmos um gráfico do módulo da força F por distância d , ou seja, F por d .

Percebemos que ele fornece uma curva, ou mais especificamente, uma hipérbole, e podemos relacioná-lo com a seguinte expressão: $\frac{1}{d^n}$, em que se n for um número positivo maior que 0, à medida que d aumenta, obtemos como resultado da operação, valores cada vez menores, ou seja, obtemos uma função decrescente, o expoente n nos dá o gráfico curvo. Logo, o módulo da força elétrica F será proporcional $\frac{1}{d^n}$, ou seja, $F \propto \frac{1}{d^n}$.

FIGURA 8 - Tabela e gráfico $F \times d$ (Valores para título de ilustração onde utilizamos $n=2$)

Fonte: O autor

Com os dados experimentais, é possível chegar, a partir da relação anterior, que o n deve assumir o valor de 2, portanto,

$$F \propto \frac{1}{d^2} . \quad (2)$$

Assim, a Equação 2 indica que o módulo da força elétrica F depende e diminui com o inverso do quadrado da distância.

Figura 9 – Aparato para medir força de interação elétrica entre as esferas eletrizadas



Fonte: O autor

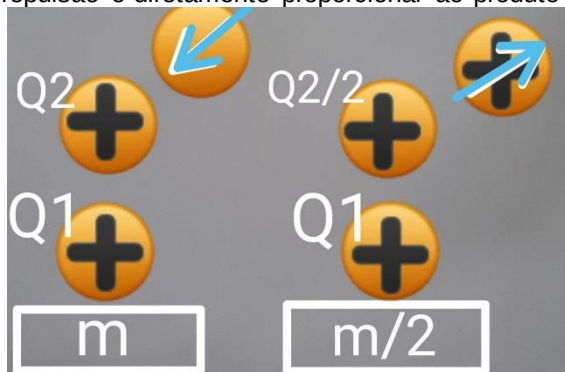
Considerando N um número qualquer, suponhamos agora que a carga elétrica em uma das esferas é diminuída de tal forma que fique com $1/N$ do valor inicial, ou seja, valor inicial da carga elétrica/ N , por isso, obtemos uma leitura diferente para o

módulo da força elétrica F , que é uma indicação de que há uma relação entre estas duas grandezas, ou seja, há uma dependência entre o módulo da força elétrica F e as cargas elétricas.

Para tal feito, façamos o seguinte: carregamos as esferas, colocamos as esferas a distância d entre si, anotamos a leitura da balança durante o distanciamento estabelecido. Em seguida, colocamos uma terceira esfera descarregada em contato com esfera superior, e parte da carga será roubada, ou seja, $(1-1/N)Q_2$ será transferida para essa esfera e a esfera pendurada, ficará com Q_2/N de carga, como representado na Figura 10, para o caso de $N=2$.

Da mesma forma, podemos realizar novamente o procedimento, porém agora colocando a esfera descarregada em contato com a esfera inferior, de tal modo que também parte de sua carga seja roubada, ou seja, $(1-1/N)Q_1$ será transferida e a esfera apoiada ficará com Q_1/N de carga.

Figura10 - Tocando a esfera superior com uma esfera igual e descarregada podemos demonstrar que a força de repulsão é diretamente proporcional ao produto das cargas.



Fonte: O autor.

Novamente, a partir da comparação dos resultados experimentais dos procedimentos descritos anteriormente, obtemos que o decréscimo na carga é proporcional ao decréscimo na intensidade da força elétrica, ou seja, decréscimo no módulo da força elétrica F , isto é, se houver um decréscimo de tal forma que a carga fique com $1/N$ do valor inicial em uma das esferas, ou seja, valor inicial da carga elétrica $/N$, em uma das esferas, a intensidade da força também decai para $1/N$ do valor inicial da intensidade inicial da força elétrica, ou seja, F/N .

Portanto, podemos afirmar que módulo da força elétrica F depende e é proporcional ao produto das cargas envolvidas, ou seja,

$$F \propto Q_1 Q_2. \quad (3)$$

Com base no que descrevemos até aqui, podemos afirmar que o módulo da força elétrica F depende e diminui com o inverso do quadrado da distância, conforme a Equação 2; depende e é proporcional ao produto das cargas envolvidas, conforme Equação 3. Assim, módulo da força elétrica F , a menos de uma constante de proporcionalidade, pode ser expresso pela seguinte relação,

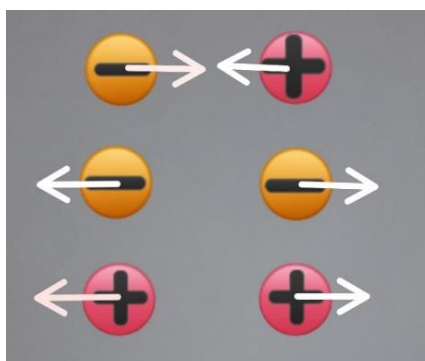
$$F \propto \frac{1}{d^2} Q_1 Q_2. \quad (4)$$

No entanto, para tornar esta expressão, Equação 4, uma igualdade lançamos mão de uma constante de proporcionalidade, K , uma vez que chegamos à relação levando em consideração as dependências citadas anteriormente. Então, admitamos, por hora que módulo da força elétrica F é expresso por

$$F = K_0 \frac{Q_1 Q_2}{d^2}. \quad (5)$$

Lembrando que força é uma grandeza vetorial, então, a força elétrica também é, e não poderia ser diferente. Assim, a força elétrica $\vec{F}$ depende do seu módulo F , dado pela Equação 5, direção e do sentido para que ela fique bem caracterizada. Em suma, esta grandeza é munida de orientação e sentido em sua aplicação.

Figura 11 – Atração e repulsão elétrica em relação aos dois tipos de cargas.



Fonte: O autor

A direção da linha de atuação da força elétrica é definida de centro a centro das cargas e o sentido é dado por conta da interação ser de atração, cargas de sinais diferentes ou de repulsão cargas de sinais iguais, conforme indicado na Figura 11,

onde mostramos as situações de linha de ação, direção de atuação, entre cargas elétricas de mesmo sinal, repulsão, e de sinais diferentes, atração, e os respectivos pares de forças, ação e reação, estão indicados conforme a terceira lei de Newton. em cada situação. E, por fim, podemos expressar a força elétrica $\vec{F}$ como

$$\vec{F} = K_0 \frac{Q_1 Q_2}{d^2} \hat{r}, \quad (6)$$

onde:

$\vec{F}$ é a força elétrica, dada em N;

Q_1 e Q_2 são as cargas elétricas puntiformes, dadas em C;

d é a distância entre as cargas elétricas tomadas de centro a centro, dada em m;

K_0 é a constante eletrostática no vácuo cujo valor é $8,99 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$;

$\hat{r}$ é o versor que indica a direção da linha de atuação da força elétrica $\vec{F}$, direção de uma reta que é definida de centro a centro das cargas.

Imaginemos uma última situação, onde podemos também obter uma relação matemática com o nosso experimento proposto, que é uma variação experimental para os resultados de Coulomb. Em nosso experimento proposto, se antes de tirar os dados do experimento colocássemos as esferas superior e inferior idênticas em contato, podemos admitir que ambas ficariam com a mesma carga elétrica,

$$Q_1 = Q_2 = Q \quad (7)$$

Logo, podemos escrever o módulo da força elétrica F da seguinte forma,

$$F = \frac{K_0 Q^2}{d^2}, \quad (8)$$

ou ainda,

$$Q = \sqrt{\frac{F d^2}{K_0}}. \quad (9)$$

Utilizando a proposta acima, e utilizando uma das linhas de medidas podemos encontrar qual é, aproximadamente, a carga de cada uma das esferas eletrizadas. Sendo assim, nosso experimento é capaz de fornecer a relação entre a força e a

distância, e tendo estes dados podemos obter as quantidades de cargas elétricas nos corpos eletrizados.

Obviamente, todo o aparato: balança, esferas, suportes, condições de eletrização e procedimentos de medição que utilizamos na experiência que propusemos até aqui é bem diferente do aparato utilizado no experimento em que se chega à medida da interação elétrica, ou seja, da força elétrica $\vec{F}$.

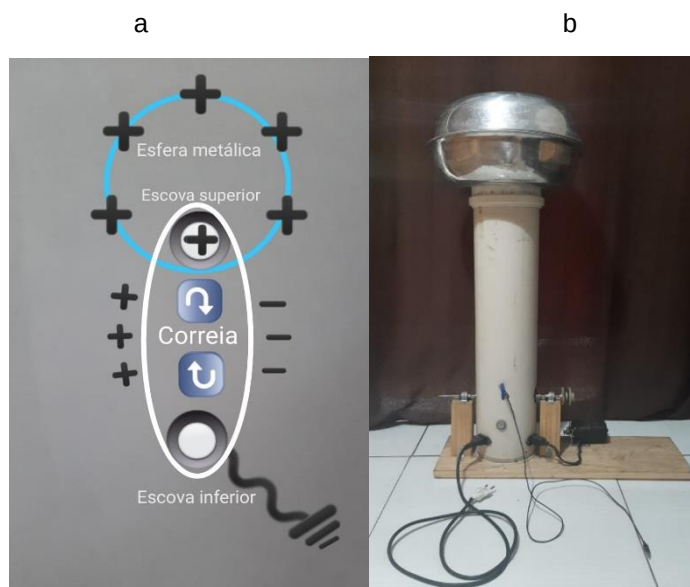
O responsável pelo experimento e, portanto, pelo feito de determinar a força elétrica entre duas cargas elétricas puntiformes, é Charles-Augustin de Coulomb, que nasceu na França em 1736. Coulomb utilizou sua balança de torção para medir a intensidade do par de forças elétricas, ação e reação, atuantes sobre duas cargas elétricas colocadas a uma determinada distância uma da outra, que podemos fazer um paralelo com a Figura 11 para ilustrar o par de forças elétricas. Desta forma, a partir desse processo de investigação experimental ele verificou a Lei de Coulomb, assim denominada em sua homenagem, que determina a força de interação elétrica entre materiais portadores de cargas, ou seja, a força elétrica $\vec{F}$ que é dada pela Equação 6.

3.3 CAMPO ELÉTRICO

Como citado anteriormente, em situações específicas podemos obter eletrização de corpos por atrito. Existem diversas aplicações de tal efeito, uma delas é a construção de um equipamento chamado Gerador de Van de Graaff (Gerador), idealizado pelo engenheiro americano Jemison Van de Graaff, em 1931. Apresentamos na Figura 12 em (a) um esquema e em (b) o Gerador caseiro construído a partir dos trabalhos de Bruniera (2017), Marcondes (2017) e Nunes Filho (2020).

Imagine que você possui um gerador como o apresentado na Figura 12, quando eletrizado, as cargas elétricas nele presentes, geram interação de natureza elétrica em cargas nas imediações. Vamos, por meio de tal fenômeno, buscar entender os conceitos relacionados com o campo elétrico.

Figura 12 – Gerador de Van de Graaff



Fonte: O autor

Para tanto, vamos elencar de forma breve como é e o funcionamento do Gerador.

Ele consiste em dois roletes, uma correia, duas escovas, um motor e a uma esfera metálica. Na figura 12, estas peças são sustentadas por um PVC cilíndrico sobre uma base de madeira.

Levando em conta que o Gerador opera realizando eletrização, segundo os efeitos triboelétricos, Figura 3, a composição dos materiais dos roletes sobre os eixos e da correia tem papel fundamental no funcionamento uma vez que a correia é eletrizada, durante o funcionamento do Gerador, por meio da escova de material condutor, a esfera metálica fica também eletrizada. A eletrização ocorre principalmente pelas cargas presentes no ar, mas também pelo aterramento da escova inferior.

Admitindo ser uma esfera metálica de raio R na parte superior do Gerador, podemos considerar que o potencial elétrico se distribui uniformemente, sendo o mesmo em toda a casca esférica do condutor. A quantidade de carga elétrica armazenada na esfera pode ser dada por:

$$Q = C V \quad (10)$$

e a capacitância por
onde:

$$C = R/K, \quad (11)$$

Q carga elétrica, dada em C;

C capacitância, dada em F

V potencial elétrico, dado em V

R raio da esfera, dado em m

K constante eletrostática do meio, dada em N. m²/C²;

Sabendo a quantidade de carga Q e que a área da superfície S da esfera, em m², é dado por

$$S = 4\pi R^2, \quad (12)$$

podemos obter a densidade superficial de cargas σ , em C/m²,

$$\sigma = \frac{Q}{S}, \quad (13)$$

substituindo Q, Equação 10, e S, Equação 12, na Equação 13, obtemos

$$\sigma = C \frac{V}{4\pi R^2}. \quad (14)$$

E substituindo a capacitância, Equação 11, temos que a Equação 14, pode ser expressa por

$$\sigma = \frac{V}{4\pi R K}. \quad (15)$$

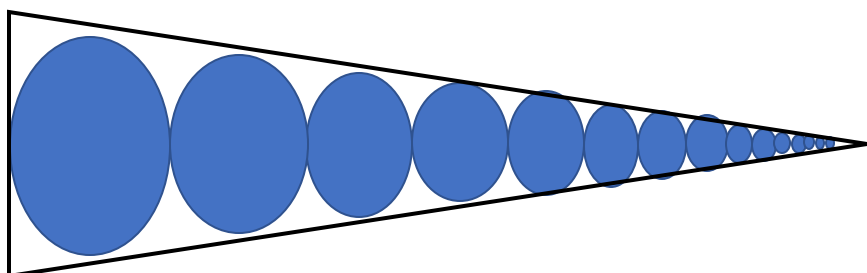
Caso coloquemos uma esfera em contato com a esfera do Gerador, ela irá ficar carregada seguindo a mesma ideia apresentada, como V, π e K são constantes a densidade superficial de de cargas elétricas é inversamente proporcional a R,

$$\sigma \propto 1/R. \quad (16);$$

Quanto menor o raio maior a quantidade de cargas acumuladas, sendo maior a quantidade de cargas acumuladas, maior a intensidade da força de interação com outra suposta carga elétrica que se encontre nas proximidades.

Podemos inclusive, seguindo este raciocínio, pensar no motivo das fagulhas elétricas aparecerem principalmente nas extremidades, o que é conhecido como poder das pontas, ou seja, as cargas elétricas tendem a se concentrar mais nas extremidades mais pontiagudas, conforme mostramos na Figura 13, em que aproximamos a representação de uma ponta metálica a um conjunto de esferas, de raios diferentes, em contato entre si (NUNES FILHO 2020).

Figura 13 – Representação poder das pontas



Fonte: O autor

3.3.1 Rigidez dielétrica do ar

Suponhamos que tenhamos uma grande diversidade de materiais a nossa disposição e vamos experimentá-los atravessando cargas elétricas por eles, logo vamos notar que podemos dividir estes materiais em pelo menos dois grupos conforme a facilidade que as cargas elétricas têm de fluir através deles. É comum na literatura dividirmos os materiais em dois grupos, os condutores e os isolantes.

Os condutores são aqueles em que os elétrons, têm facilidade em fluir através dos materiais. Os elétrons das bandas condução, destes átomos, estão ligados de tal forma que se comportam como livres, não pertencentes a um só átomo do material, mas a todo grupo de átomos, podendo fluir facilmente.

De outra forma, se considerarmos os isolantes, os elétrons estão bem ligados aos átomos, sendo assim, dificilmente vão fluir pelo material.

Mas, se submetemos os materiais isolantes a grandes diferenças de potencial, os elétrons vão acabar fluindo através do material, é o caso das descargas elétricas visíveis no Gerador, onde pequenos raios elétricos atravessam o ar. Isso, no ar, acontece quando temos aproximadamente 3000 Volts de tensão para cada 1 centímetro de coluna de ar, ou como geralmente é proposto pela literatura, ruptura dielétrica do ar: 3×10^6 V/m.

3.3.2 Demonstração do campo elétrico por meio do gerador de van de graff

Pensando que as cargas produzem interação e usando a situação representada na Figura 14, vamos assumir que a carga Q , situada no ponto C , tem uma região de influência elétrica que chamamos de campo elétrico $\vec{E}$, grandeza física que pode ser mensurado em qualquer ponto P da região.

Podemos, então, lembrando do que é carga elétrica e força elétrica, determinar uma grandeza chamada campo elétrico. O vetor campo elétrico $\vec{E}$, em um ponto do espaço, pode ser obtido por meio da razão entre a força elétrica $\vec{F}$, e a carga elétrica q , que interage com a carga geradora Q do campo elétrico $\vec{E}$, Figura 14, representada pela seguinte expressão,

$$\vec{E} = \vec{F}/q, \quad (17)$$

onde:

$\vec{E}$ é o campo elétrico, dado em N/C;

$\vec{F}$ é a força elétrica, dada em N;

q é carga elétrica, carga de prova, situada no ponto P , dada em C;

Q é carga elétrica geradora do campo elétrico $\vec{E}$, dada em C.

Então, podemos expressar a intensidade do campo elétrico no ponto P , ou seja, o módulo do campo elétrico E por

$$E = F/q. \quad (18)$$

E ainda, o campo elétrico $\vec{E}$ criado pela carga Q puntiforme em repouso pode também ter o módulo de campo elétrico E determinado pela expressão,

$$E = \frac{k_0 \cdot Q}{d^2}. \quad (19)$$

onde:

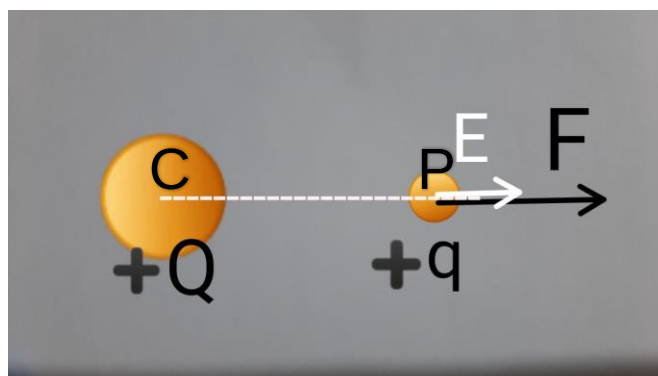
E é o módulo do campo elétrico, dado em N/C;

Q é carga elétrica geradora do campo elétrico $\vec{E}$, dada em C;

K_0 é a constante eletrostática no vácuo cujo valor é $8,99 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$;
 d é a distância entre a carga Q , no ponto C, e o ponto P, Figura 14, onde se deseja determinar a intensidade, módulo do campo elétrico E , em m.

Pelas Equações 17, 18 e 19, e Figura 14, podemos dizer que a direção do vetor campo elétrico $\vec{E}$ é dada pela reta definida pelos pontos P e C, em C se encontra carga Q , e o sentido campo elétrico $\vec{E}$ aponta para C se Q é negativa; e no sentido oposto, se Q é positiva, como apresentado na Figura 14. E também pela Equação 17, vemos que a direção do campo elétrico é a mesma da força elétrica, e o sentido depende do sinal da carga Q .

Figura 14 – interação entre cargas pontuais



Fonte: O autor

A ideia da existência de campo vem do desenvolvimento da teoria da gravitação universal por Isaac Newton no séc. XVII, e surgiu exatamente da dificuldade de aceitar que uma partícula possa afetar outra sem contato entre ambas, ou seja, haja a interação à distância, como uma extensão do efeito de um corpo, ou do próprio corpo. A explicação da física clássica reside no conceito do campo de força. Desta forma, uma vez que interações de cargas elétricas estáticas são dadas pela Lei de Coulomb, Equação 6, ou seja, forças eletrostáticas, e como vimos com interação a distâncias, surge a necessidade de definir um campo de forças eletrostáticas, um campo elétrico.

E por muito tempo, atribui-se o nome de éter, algo hipotético e merecedor de discussão e investigação, a esse campo mediador que transmite as forças eletrostáticas. Escrevendo brevemente, temos na mitologia grega a ideia do éter como o céu de ar puro, respirado pelos deuses, diferente do ar, ar respirado pelos seres na

Terra. E como veremos na sequência de forma breve a sua relevância para o entendimento do conceito de campo elétrico. (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2012).

No século XIX, o eletromagnetismo da física clássica alcançou seu ápice, foi quando, a partir dos conceitos sobre três elementos teóricos e hipotéticos, o éter, as ondas e o átomo, articulados com as novas ideias de campo e energia trouxeram à tona a unificação da ótica, da eletricidade e do magnetismo. Vale lembrar que esses três elementos vinham sendo propostos a algum tempo e foram concebidos como tipos especiais de matéria atomizada.

Essa visão atomística original evoluiu naturalmente a partir da ideia do éter dinâmico de Newton e, no caso da ótica, implicou uma simplificação da teoria dual. De fato, a própria luz assumiu natureza 'etérea' e as forças que mediavam sua interação com a matéria ordinária acabaram por esvaziar a função original do éter newtoniano. Já a visão ondulatória original esteve comprometida com a crença metafísica na existência de uma ou mais entidades contínuas que, além de ocupar todo o espaço, tinham como propriedade essencial a capacidade de sustentar variações locais de suas respectivas densidades. A visão ondulatória operou um deslocamento conceitual de extrema importância: luz, calor, eletricidade e magnetismo não eram mais concebidos A Estrutura Conceitual da Física do Século XIX como diferentes tipos especiais de matéria, mas como movimento que se propagava como perturbação em, eventualmente, diferentes tipos de substrato material. Com isso, a hipótese da existência de vários éteres ressurgiu naturalmente (POLITO, 2016, p. 84, grifo do autor).

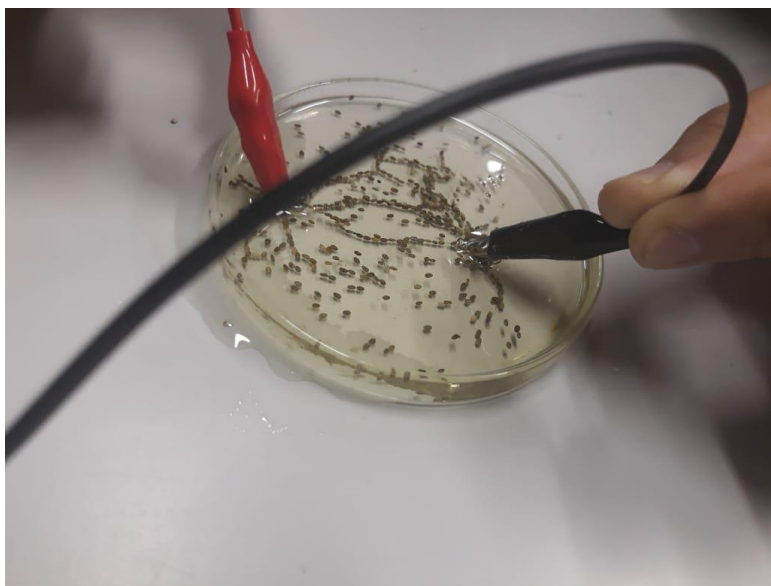
E o éter, por sua vez, deveria ter certo tipo de elasticidade para sustentá-los, em que se fez necessário o uso de diferentes modelos mecânicos para explicar a teoria, o campo é um deles. Neste momento, como a estes fenômenos são de mais difícil compreensão observacional dos fatos, logo, de distinção sobre os modelos sendo ou não descrições fiéis da natureza. Então, tornou-se crescente o interesse por descrições matemáticas mais sofisticadas.

No século XIX e XX, o éter foi cada vez mais perdendo espaço, pois nunca foi comprovado. Por outro lado, o campo elétrico tem existência física, na física quântica o campo elétrico explicado. Porém, em sala de aula, para que possamos bem iniciar o estudo do campo elétrico é mais conveniente que, neste momento, utilizemos a teoria da física clássica.

3.3.3 Linhas de campo

Nosso Gerador descrito anteriormente, estando eletrizado, e supondo que as cargas se distribuem em um condutor a fim de que o potencial elétrico seja constante ao longo do material, é capaz de transmitir este excesso ou falta de cargas através do condutor. Tendo isso, suponha que elaboremos a montagem como a mostrada na Figura15.

Figura 15 – Aparato, pontas carregadas em azeite (isolante) onde flutuam sementes de grama.



Fonte: O autor

Onde os condutores eletrizados, fio vermelho ligado a escova superior, positiva, e o fio preto, a escova inferior, negativa, Figura 12a, que vamos chamar de eletrodos, têm uma distância entre si, ao serem parcialmente submersos em um óleo vegetal, e sobre o óleo vegetal espalhamos sementes de grama, notamos o seguinte efeito, as sementes manifestam o campo elétrico ali presente.

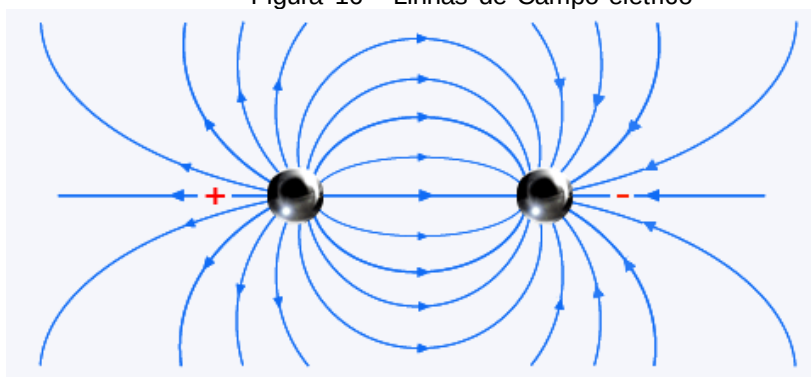
A disposição apresentada pelas sementes de grama nos induz a pensar que o campo elétrico tem uma certa configuração, as linhas apresentadas são conhecidas como linhas de campo elétrico, Figura 16.

Inicialmente, Michael Faraday concebeu o espaço envolto a linhas de força, posteriormente, com o advento do conceito de campo elétrico, campo de forças, atribui-se as linhas de campo elétrico.

As linhas imaginárias servem apenas para fim de exprimir o campo elétrico, pois representam a soma vetorial dos campos elétricos naquele espaço. Cada linha é composta por infinitos pontos e atribuído a cada ponto há um campo elétrico $\vec{E}$ com seu módulo, direção sempre tangente a linha naquele ponto e sentido de acordo com o sinal da carga geradora.

Desta forma, cada uma das linhas imaginárias contém orientação bem definida e nunca se cruzam ou interceptam entre si. Seu sentido em cada ponto tem o mesmo do vetor campo elétrico, formando, assim, uma representação do campo elétrico no espaço. A proximidade entre as linhas representa a intensidade do campo elétrico naquela região do espaço. Uma carga elétrica sobre a linha terá sobre si uma força elétrica atuante, de mesma direção da linha. Se a carga sobre a linha, chamada de carga de prova, for positiva, sente uma força de mesmo sentido da linha de campo elétrico, caso a carga de prova for negativa, sobre ela atua força contrária ao sentido da linha de campo elétrico (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2009).

Figura 16 – Linhas de Campo elétrico



Fonte: LINHA DE FORÇA. In: USP e-Física. 2019 Disponível em: http://efisica.if.usp.br/eletricidade/basico/campo/linha_forca/. Acesso em: 27 out. 2019

4 ORIENTAÇÕES AO PROFESSOR

4.1 O PAPEL DO PROFESSOR APLICADOR

Para aplicação deste produto educacional, acreditamos que o papel do professor está relacionado a formar estudantes que saibam gerenciar seu próprio processo de aprendizagem, que aprendam a aprender, no sentido de que as descobertas e respostas dos próprios alunos têm papel central no desenvolvimento das atividades e de sua aprendizagem.

Então devemos primeiramente estar atentos a tudo que acontece em sala de aula, cabe a você professor a supervisão e prestação de auxílio diante dos encaminhamentos deste produto educacional. Usando a prática dos alunos e equipes como ferramenta qualitativa para avaliar como está ocorrendo o desenvolvimento das aulas propostas, interferindo ao identificar adversidades inconvenientes a situação de aprendizagem, no intuito de manter o propósito da atividade claro. Também, nós professores, devemos sempre conferir as pastas das equipes, auxiliando e solicitando para que sempre estejam organizadas e completas.

4.2 PERSPECTIVAS DE APLICAÇÃO

Em princípio, as novas ideias que o aluno incorpora devem estar vinculadas aos seus conhecimentos prévios em relação ao tema e ou ao assunto abordado e a prática, lembrando que quando citamos aqui o termo Prática, este envolve os experimentos, roteiros, conversas, resolução de problemas e ação no sentido de ser protagonista da aprendizagem. Não só ampliando o conjunto de seus conhecimentos, mas atualizando os previamente concebidos.

A troca de ideias entre os estudantes deve ser identificada, em uma análise qualitativa, como determinante para construção da aprendizagem significativa, no sentido de entender e representar as grandezas da natureza em situações dentro e fora de sala de aula. Os registros, ações e comentários são ferramenta para que o professor do produto educacional possa estipular, o nível de compreensão de cada aluno e equipe.

4.2.1 Perspectiva de avaliação

A avaliação realizada de forma continuada por meio das investigações das situações problema e desenvolvimento da atividade.

4.2.2 Instrumentos de avaliação

Registros dos alunos e registros do professor feitos levando em conta qualitativamente e quantitativamente o desenvolvimento das atividades propostas.

4.2.3 Critérios de avaliação

Participação por parte do educando das atividades propostas, manifestando suas concepções do que é proposto, indicando com sinais ao professor sobre o aprendizado. Além de avaliar as interações dos estudantes com o produto educacional e entre si, inerentes ao processo. Os roteiros realizados e preenchidos pelas equipes, são também ferramentas formais que dão indícios da evolução de cada estudante e equipe. Ainda em tempo, ressaltamos que todas as formas de avaliação não devem ser desconexas entre si, mas sim formativa, correlacionadas e como parte integrante de um todo.

O planejamento é dinâmico, no sentido de que se molda ao grupo de estudos, logo o replanejamento do professor, ou seja, por nossa parte, deve ser contínuo e indispensável, inclusive do processo avaliativo.

4.3 APLICAÇÃO – ROTEIROS DO PROFESSOR

É importante que durante todo o processo o professor tenha consigo uma cópia integral deste produto e um caderno para efetuar os próprios registros, onde além de indicar as relações entre as equipes e organização ambiente também deve elencar conceitos da física que devem constar nos slides, e na síntese integradora, levando em conta as dificuldades, dúvidas, indicativos de aprendizagem e acertos de cada equipe. Você professor, deve ficar atento ao comportamento, comunicação e os registro dos alunos. Por isso, os slides devem ser produzidos de acordo com a necessidade e cada turma e a síntese deve ser direcionada nesta mesma perspectiva,

porém, nunca se esquecendo dos focos de cada um dos três momentos deste produto educacional.

Além de diagnóstico no processo de construção do conhecimento dos alunos, os seus registros também servem para avaliação dos alunos e análise e reflexão da própria prática.

Reforçamos que para a elaboração de cada momento nós tomamos como base trabalhos da literatura, a saber:

Momento 1, Aulas 1 a 5, nós tomamos como base os trabalhos de Assis (2010, 2018) e Saad *et al.* (2020);

Momento 2, Aulas 6 a 9, Cortel (1999)

Momento 3, Aulas de 10 a 12, Bruniera (2017), Marcondes (2017) e Nunes Filho (2020)

No entanto, fizemos adaptações e elaboramos a parte da sequência didática de cada momento.

Aula 1 (início)

Com os alunos em sala, realizamos a apresentação do trabalho a ser desenvolvido, orientamos a formarem equipes de dois a quatro integrantes. Em seguida distribuímos as pastas, uma para cada equipe. Vale ressaltar que a pasta os acompanhou até o fim da aplicação do produto educacional porque continha um campo para identificação de cada integrante da equipe, sendo que ela tinha por finalidade guardar os ROTEIROS EXPERIMENTAIS.

Ainda antes de receber os roteiros experimentais do Momento 1 e começar a realizar os experimentos dispostos em bancadas, foram orientados sobre observar cada detalhe da prática e respectivos efeitos observados, para que fizessem isso sempre levando em conta os seguintes aspectos:

- i. Tente explicar de que forma estas interações acontecem.
- ii. Pensando na composição dos materiais, levante hipóteses sobre os possíveis motivos e como as interações acontecem. E se é diferente para os diferentes materiais.

Aula 1 (continuação) e Aula 2

Para Aula 1 (continuação) e Aula 2 o professor deve dispor em quatro ou mais bancadas distintas os seguintes materiais:

Bancada 1: Canudinho, papeizinhos, bolinhas de isopor, guardanapo e uma cópia do Roteiro Prática 1: Eletrização de isolantes, para cada equipe.

Bancada 2: Canudinho, canudinho suspenso, guardanapo e uma cópia do Roteiro Prática 2: Canudinho suspenso, pêndulo de torção, para cada equipe.

Em um suporte, suspenda um canudinho, com uma linha ligada em seu centro de comprimento.

Bancada 3: Canudinho, guardanapo, frasco de água com torneira. filete de água, e uma cópia do Roteiro Prática 3: Filete de água, para cada equipe.

Deve-se produzir um pequeno filete de água, caso a escola não disponha de torneiras que possam ser utilizadas neste experimento, pode-se produzir um frasco com uma torneira.

Bancada 4: Bolinhas de isopor, pacote plástico inflado com ar e algumas bolinhas de isopor dentro, frasco PET com bolinhas de isopor dentro, placa de PVC, lã e uma cópia do Roteiro Prática 4: Bolinhas de isopor, para cada equipe.

Todos os materiais para este experimento são encontrados geralmente em livrarias, sugerimos que o professor forneça o pacote plástico e o frasco prontos para serem utilizados e se possível bem fechados com ar bem seco no interior, junto com as bolinhas.

Caso tenha grande número de alunos e forme várias equipes, orientamos que o professor disponha de mais bancadas, repetindo os materiais, a fim de que todas as equipes realizem uma prática nesta primeira aula.

Também, no início do roteiro se tem as seguintes questões problematizadoras: levando em levanto em conta os seguintes aspectos:

- i. Tente explicar de que forma estas interações acontecem.
- ii. Pensando na composição dos matéria, levante hipóteses sobre os possíveis motivos e como as interações acontecem. E se é diferente para os diferentes materiais.

A função das perguntas é incrementar a investigação do próprio conhecimento. Diante disto, o papel do professor é mediar esta problematização durante toda a aplicação, fomentando em ambiente de aula a busca pelo

entendimento de forma correta e concreta. O tempo para leitura destas questões que compõem a problematização inicial é de aproximadamente 5 minutos.

Na sequência, cada equipe deve realizar as práticas seguindo e preenchendo o respectivo roteiro. O professor deve ajudar na organização e esclarecimento de dúvidas, antes do final da aula os roteiros devem ser colocados dentro das pastas de cada equipe.

Aula 1 (continuação) e Aula 2. Eletrização de Isolantes

Novamente, serão dispostos os mesmos quatro experimentos da aula 1 nas bancadas, e os grupos devem se revezar entre os três experimentos ainda não realizados, levando aproximadamente 15 minutos por experimento.

Os quatro experimentos devem ser realizados por todas as equipes, nos 15 minutos finais da Aula 2 devem ser respondidas as seguintes questões:

Como cada equipe vai responder com as próprias palavras, as respostas esperadas estão relacionadas com os efeitos observados.

Aula 3

Eletrização de condutores

Nesta aula, da mesma forma que nas Aulas 1 e 2, devem ser dispostos quatro experimentos distintos em número de bancadas igual ao número de equipes formadas.

O esperado é que todas as equipes realizem os quatro experimentos, durante a aula. Seguindo e preenchendo os roteiros experimentais:

Bancada 1: Canudinho, guardanapo, Garrafa de Leyden, Roteiro prática 5: Garrafa de Leyden, para cada equipe.

Bancada 2: Canudinho, Guardanapo, Eletroscópio de folhas, Roteiro prática 6: Eletroscópio de folhas, para cada equipe.

Bancada 3: Canudinho, Guardanapo, Eletróforo, Placa de PVC, lã, Eletroscópio de folhas e Roteiro prática 7: Garrafa de Leyden e eletróforo, para cada equipe.

Bancada 4: Canudinho, Guardanapo, Eletróforo, Placa de pvcPVC, lã, Garrafa de Leyden, Roteiro prática 8: Eletroscópio de folhas e eletróforo, para cada equipe.

É papel do professor prestar auxílio, mediando a organização e respeitando as particularidades de cada turma e aluno, logo, caso seja necessário mais tempo para conclusão desta aula, o professor adapta a prática ao tempo disponível. Sempre levando em conta as questões da problematização.

É esperado que nesta Aula 3 o nível de organização das equipes tenha evoluído e esteja mais avançado em relação as Aulas 1 e 2, a fim de que cada equipe obtenha êxito na realização de cada uma das quatro práticas, seguindo os roteiros, em um tempo de aproximadamente 10 minutos.

Aula 4

Com auxílio de data show ou tv, deve ser especificado com clareza aos alunos, em uma aula, breve história da eletrização, eletricidade estática, a série triboelétrica, grandeza carga elétrica, carga elementar, materiais isolantes e condutores e a relação matemática $Q = n.e$.

Espera-se que neste momento os alunos sejam capazes de relacionar o material exposto com as práticas das aulas anteriores. Recomenda-se, para preparar esta aula o professor busque fazer uma análise prévia dos encaminhamentos das aulas anteriores para elaborar os slides. É indicado que neste momento o professor realize a leitura das referências já indicadas.

Aula 5

Assembleia: Neste momento, a organização tem papel fundamental. Para iniciar a aula todos devem sentar formando um círculo, os integrantes de cada equipe devem estar próximos entre si e com os roteiros preenchidos nas aulas anteriores em mãos.

O professor indica as equipes para realizar leituras de seus roteiros, estabelecendo assim um diálogo sobre tudo que foi desenvolvido, fazendo com que as equipes comparem seus registros e práticas realizadas, aperfeiçoando assim a interpretação dos fenômenos. Relacionando com itens vistos na Aula 4 e com o cotidiano.

É também papel do professor definir os assuntos que são ou não pertinentes, mediando a conversa e auxiliando no esclarecimento de conceitos da física relacionados a eletrização e propriedades dos materiais.

Retomar perguntas:

1. Quais os processos de eletrização observados nos experimentos?
2. Quais são os efeitos da eletrização e como eles se apresentam?
3. Sabemos que a matéria é formada de partículas elétricas. Como se pode conceber que ela, geralmente, se encontra no estado neutro?
4. Como se pode fazer para que as cargas positivas sejam em maior número? E para que o número maior seja de cargas negativas? Como é a interação entre os objetos eletrizados?

Devemos ressaltar que esta Assembleia, por contar com as observações durante o processo de aplicação deste produto educacional até aqui, deve ser construída durante o processo e, por isso, ela não tem um formato final. No entanto, o foco aqui é discutir o conceito de carga elétrica e os processos de eletrização.

Aula 6

No início desta aula devem estar dispostos os seguintes materiais:

Bancada: Balança eletrônica, Prato, Guloseimas e Roteiro Experimental: Prévia momento 2: Dialogo sobre o funcionamento de uma balança.

É importante fazer uma sondagem sobre a existência de alunos que não podem consumir certos tipos guloseimas e realizar uma conversa com os mesmos a fim de adequar a prática utilizando produtos ajustados ao público.

Também em sala, o aluno deve ter a sua disposição um diagrama de corpo livre como o apresentado na Figura 7 do Capítulo 3, seção 3.2;1 deste produto educacional da massa sobre a balança, indicando assim a direção e o sentido das forças presentes na prática. O diagrama pode ser apresentado por meio de uma figura na lousa, data show, tv, ou outro meio em que os alunos sejam capazes de visualizar.

O objetivo, seguindo o roteiro proposto para aula, é entender o funcionamento de uma balança eletrônica, e para isso, sugerimos que o professor consulte o Capítulo 3, seção 3.2.1 do produto educacional.

Aula 7

Nesta etapa desenvolvemos uma adaptação do artigo: Demonstrations of Coulomb's law with an electronic balance (CORTEL, 1999). Seguindo a organização de desenvolvimento da prática proposta no roteiro, e acessando tudo que anteriormente foi desenvolvido, no roteiro se tem a ilustração do experimento proposto. Para iniciar a prática é importante que os materiais estejam dispostos sobre uma bancada bem acessível.

Caso alguma equipe não consiga obter valores, o professor pode intervir e auxiliar, inclusive substituir as esferas por pequenas placas de pvc, como as utilizadas na etapa 1, adequando a explicação a propriedade dos materiais.

Os registros esperados dessa Prática, quando bem sucedida, são de acordo com o que apresentamos na seção 3.2,2 do Capítulo 3 deste produto educacional, onde se espera que a Prática forneça subsídio para que os alunos encontrem que o módulo da força elétrica depende e diminui com o inverso do quadrado da distância, conforme a Equação 1 da referida seção. Sendo que, a partir do obtido, ressaltar a importância da matemática como ferramenta de descrição de fenômenos naturais. Sugerimos que os alunos respondam as seguintes questões: O gráfico é representado por uma reta ou por uma curva? É crescente ou decrescente? E, então, explicando o comportamento: a força elétrica depende e diminui com o inverso do quadrado da distância.

Aula 8

Dando sequência e com o mesmo experimento da Aula 7, aula anterior, disposto sobre a bancada. Agora, com essa Prática, podemos visualizar que quando a carga em um dos corpos eletrizados e que gera interação é diminuída pela metade, obtemos uma leitura diferente para força, obtendo assim a relação entre a grandeza força e a grandeza carga elétrica.

Assim, realizado esta Prática, esperamos que forneça subsídio para que os alunos encontrem que a força elétrica depende e é proporcional ao produto das cargas envolvidas, conforme Equação 2 que apresentamos na seção 3.2,2 do Capítulo 3 deste produto educacional.

Em seguida, apresentar a lei de Coulomb, proposta no roteiro, e esperamos que os alunos notem as relações encontradas nesta e na Prática anterior, Aulas 7 e 8 em acordo com a seção 3.2,2 do Capítulo 3 deste produto educacional.

Aula 9

Seguindo a mesma organização da Aula 5. Para iniciar a aula todos devem sentar formando um círculo, os integrantes de cada equipe devem estar próximos entre si e com os roteiros preenchidos nas Aulas anteriores em mãos.

O professor indica as equipes para realizar leituras de seus roteiros, estabelecendo assim um diálogo sobre tudo que foi desenvolvido, fazendo com que as equipes comparem seus registros e práticas realizadas, aperfeiçoando assim a interpretação dos fenômenos, estes relacionados com itens vistos nas Aulas 6, 7 e 8 e com o cotidiano.

É também papel do professor definir os assuntos que são ou não pertinentes, mediando a conversa e auxiliando no esclarecimento de conceitos da física relacionados com a lei de Coulomb e propriedades dos materiais.

Devemos ressaltar que esta Assembleia, por contar com as observações durante o processo de aplicação deste produto educacional até aqui, deve ser construída durante o processo e, por isso, ela não tem um formato final. No entanto, o foco aqui é discutir a lei de Coulomb.

Aula 10

O campo Elétrico: Prática com Gerador de Van de Graaff

Disponibilizar em sala os materiais a serem utilizados no experimento: Gerador de Van de Graaf, esfera feita de papel alumínio de cabo isolante e fitas de papel alumínio, Placa de Petri 100 x 20 mm com 10mm de óleo vegetal, sementes de grama.

Como este experimento pode apresentar risco de choque, temos mais um motivo além do aprendizado, para que, antes de ligar a máquina todos estejam bem atentos a todas as orientações e durante todo processo.

É importante que os roteiros estejam sempre à mão, seguir Roteiro Experimental: Momento 3 - Gerador de Van de Graaff, primeiramente realiza-se a parte experimental com a esfera com cabo isolante, em seguida, cola-se as fitas de

papel alumínio na esfera do gerador e faz experimento como proposto no roteiro dos alunos. E para finalizar, o professor deve fazer a demonstração para todos, utilizando uma Placa de Petri com 10mm de óleo vegetal, deve-se colocar sementes de grama sobre o fluido e em dois pontos os fios eletrizados, conforme a Figura 15.

Enquanto seguem as propostas nos roteiros façam todos os registros pertinentes, neste momento os registros provavelmente estarão atrelados ao comportamento do grande grupo nas sínteses integradoras anteriores.

- Como podemos imaginar isso no espaço? Explique.
- Agora, observando o experimento proposto pelo professor, tente fazer uma figura que represente os vetores força em cada ponto do espaço

Ao ver as fagulhas elétricas, cabelos arrepiados e fitas se distanciando entre si, espera-se que os alunos naturalmente relembrem tudo que foi estudado no processo, estes que são conhecimentos prévios para que possam pensar sobre campo elétrico. Neste momento, o aluno deve ser desafiado a imaginar como tudo ocorre, pois dentro da proposta, as relações que ele faz entre seus conhecimentos prévios, novas informações teóricas e práticas. São o que lhe pode proporcionar novos conhecimentos.

Assim, esperamos que notem as relações encontradas nesta Prática em acordo com a seção 3.3 do Capítulo 3 deste produto educacional.

Aula 11

Com auxílio de data show ou tv, deve ser especificado com clareza aos alunos, em uma aula, breve história do campo elétrico, teoria e aplicações.

Esperamos que neste momento os alunos sejam capazes de relacionar o material exposto com as Práticas das Aulas anteriores e em acordo com a seção 3.3 do Capítulo 3 deste produto educacional.

Neste momento, é importante destacar o avanço e apogeu da teoria de campo, então, nos primeiros slides resume-se o que é a física mecanicista, resgatando itens estudados pelos alunos e tratando do que propunham estudiosos ao longo da história, como os conceitos de ação por contato e o conceito de campo

relacionado a ação de forças a distância. Assim os alunos podem relacionar os experimentos realizados e uma caracterização mais abstrata de campo, como sendo uma região ou extensão onde existe a ação da força. Orienta-se que a explanação seja abrangente a fim de trabalhar as analogias físicas e das linhas de força postuladas por Faraday.

Deve-se tratar também sobre o éter, e brevemente como sua definição mudou ao longo dos anos. E então, guarda-se para última aula a cereja do bolo, a simples definição de campo, de que ele é a atribuição de quantidade a uma região do espaço, ou do espaço-tempo para aqueles que estudaram, ou ainda vão estudar a relatividade.

Com certa brevidade, há uma explanação acerca dos assuntos comentados nos dois parágrafos anteriores na seção 3.3 do Capítulo 3 deste produto educacional.

Aula 12

Colocando o campo como atribuir quantidade a uma região do espaço, relembando o campo gravitacional e como é análogo ao elétrico, citando várias aplicações de campo elétrico e interações elétricas, inclusive biológicas, e levando em conta todos os registros dos alunos nos roteiros, deve-se motivar a troca de ideias entre os estudantes, a fim de identificar, em uma análise qualitativa, como determinante para construção da aprendizagem significativa, no sentido de entender e representar as grandezas da natureza em situações dentro e fora de sala de aula. Os comentários sobre o conteúdo estudado, feitos dentro das equipes, devem estar presentes na Assembleia, atividade realizada como síntese integradora. Os registros e comentários também são ferramentas para que o professor aplicador do produto possa identificar o nível de compreensão de cada aluno e equipe.

Devemos ressaltar que esta Assembleia final, por contar com as observações durante todo o processo de aplicação deste produto educacional, deve ser construída durante o processo de aplicação, por isso, ela não tem um formato final. No entanto, o foco aqui é discutir o conceito de campo elétrico.

5 ROTEIROS EXPERIMENTAIS APLICADOS AS EQUIPES

Nomes:

n^{os}:

Data:

Realizar registros para cada um dos experimentos seguindo as seguintes orientações:

Leia atentamente roteiro experimental e realize experimento em equipe;

Descreva detalhadamente quais foram os processos realizados;

Descreva quais foram os efeitos observados;

Levante hipóteses sobre os possíveis motivos;

Para realizar as anotações, além da descrição na forma de texto, utilize de cores, gravuras, desenhos, tabelas e demais anotações que achar pertinente;

Levando em levanto em conta os seguintes aspectos:

I. Tente explicar de que forma estas interações acontecem.

II. Pensando na composição dos matéria, levante hipóteses sobre os possíveis motivos e como as interações acontecem. E se é diferente para os diferentes materiais.

Nomes:

n^{os}:

Data:

Perguntas para entregar até o fim da segunda aula:

1- *Quais os processos de eletrização observados nos experimentos?*

2- *Quais são os efeitos da eletrização e como eles se apresentam?*

3- *Sabemos que a matéria é formada de partículas elétricas. Como se pode conceber que ela, geralmente, se encontre no estado neutro?*

4- *Como se pode fazer para que as cargas positivas sejam em maior número? E para que o número maior seja de cargas negativas? Como é a interação entre os objetos eletrizados?*

Momento 1

Experimentos do Momento 1, Aulas 1 a 3, têm como base os trabalhos de Assis (2010, 2018) e Saad *et al.* (2020).

Roteiro Prática 1, Aula 1 - Eletrização de Isolantes.

- Registre os materiais que estão na mesa.
- Aproxime o canudinho dos seguintes objetos:
 - i - Papeizinhos; -Bolinhas de isopor; -Parede e quadro negro, Notou algum efeito? Registre.

- Atrite um canudinho com um guardanapo:
- Aproxime o canudinho dos seguintes objetos:
 - Papeizinhos. Relate detalhadamente todo o processo e os efeitos observados.
 - Bolinhas de isopor. Relate detalhadamente todo o processo e os efeitos observados
 - Parede e/ou quadro negro. Relate detalhadamente todo o processo e os efeitos observados.

- Ao efetuar bastante manuseio com o canudinho, ou seja, contato com a mão, os efeitos gerados mudam. Levante hipóteses sobre os possíveis motivos.

Momento 1**Roteiro Prática 2, Aula 1 - Canudinho suspenso, pendulo de torção**

- Registre os materiais que estão na mesa.
- Aproxime o canudinho do canudinho suspenso. Relate detalhadamente todo o processo e os efeitos observados.
- Atrite um canudinho com um guardanapo. Aproxime o canudinho atritado do canudinho suspenso. Relate detalhadamente todo o processo e os efeitos observados.
- Atrite um canudinho da bancada com um guardanapo:
- Atrite o canudinho suspenso com um guardanapo. Aproxime o canudinho do canudinho suspenso, ambos atritados. Relate detalhadamente todo o processo e os efeitos observados.
- Relate a principal diferença entre os efeitos, e levante hipóteses sobre as possíveis causas.

Momento 1**Roteiro Prática 3, Aula 1 - Filete de água.**

- Registre os materiais que estão na mesa.
- Abra a torneira apenas um pouco, a fim de obter um pequeno fluxo do líquido, formando assim um filete de água. Aproxime o canudinho do filete de água. Relate detalhadamente todo o processo e os efeitos observados
- Atrite um canudinho com um guardanapo. Aproxime o canudinho atritado do filete de água. Relate detalhadamente todo o processo e os efeitos observados.
- Levante hipóteses sobre as possíveis causas.

Momento 1**Roteiro Prática 4, Aula 1- Bolinhas de Isopor**

- Registre os materiais que estão na mesa.
- Agite o pacote plástico inflado com ar e algumas bolinhas de isopor dentro. Relate detalhadamente todo o processo e os efeitos observados.
- Agite o frasco com bolinhas de isopor dentro. Relate detalhadamente todo o processo e os efeitos observados.
- Atrite a placa de PVC com a lã e aproxime de bolinhas de isopor. Relate detalhadamente todo o processo e os efeitos observados.
- Levante hipóteses sobre as possíveis causas.

Momento 1

Roteiro Prática 5, Aula 3 - garrafa de Leyden

- Registre e/ou descreva os materiais que estão na mesa.
- Aproxime o canudinho da bolinha de alumínio sobre a garrafa de Leyden. Relate os efeitos observados.
- Atrite um canudinho com um guardanapo. Aproxime o canudinho da bolinha de alumínio da garrafa de Leyden e relate detalhadamente todo o processo e os efeitos observados.
- Coloque o canudinho atritado em contato com a bolinha de alumínio da garrafa de Leyden e relate detalhadamente todo o processo e os efeitos observados.
- Coloque o dedo sobre a bolinha de papel alumínio da garrafa de Leyden e relate detalhadamente todo o processo e os efeitos observados.
- Ao efetuar bastante manuseio com o canudinho, ou seja, contato com a mão, os efeitos gerados mudam. Levante hipóteses sobre os possíveis motivos.

Momento 1

Roteiro Prática 6, Aula 2 - Eletroscópio de folhas

- Registre e/ou descreva os materiais que estão na mesa.
- Aproxime o canudinho da bolinha de alumínio sobre a eletroscópio de folhas. Relate os efeitos observados.
- Atrite um canudinho com um guardanapo. Aproxime o canudinho da bolinha de alumínio o eletroscópio de folhas e relate detalhadamente todo o processo e os efeitos observados
- Coloque o canudinho atritado em contato com a bolinha de alumínio do eletroscópio de folhas e relate detalhadamente todo o processo e os efeitos observados
- Coloque o dedo sobre a bolinha de papel alumínio do eletroscópio de folhas e relate detalhadamente todo o processo e os efeitos observados
- Ao efetuar bastante manuseio com o canudinho, ou seja, contato com a mão, os efeitos gerados mudam. Levante hipóteses sobre os possíveis motivos.

Momento 1**Roteiro Prática 7, Aula 2 - Eletroscópio de folhas e eletroscópio**

- Registre e/ou descreva os materiais que estão na mesa.
- Segurando a forma pelo cabo (cano de pvc), aproxime da bolinha de alumínio do eletroscópio de folhas. Relate os efeitos observados.
- Atrite a placa de pvc com a lã
- Coloque a forma de metal sobre a placa de pvc:
- Aproxime a forma da bolinha de alumínio o eletroscópio de folhas e relate detalhadamente todo o processo e os efeitos observados
- Coloque a forma atritada em contato com a bolinha de alumínio do eletroscópio de folhas e relate detalhadamente todo o processo e os efeitos observados.
- Coloque o dedo sobre a bolinha de papel alumínio do eletroscópio de folhas e relate detalhadamente todo o processo e os efeitos observados. Ao efetuar bastante manuseio com o canudinho, ou seja, contato com a mão, os efeitos gerados mudam? Se sim, levante hipóteses sobre os possíveis motivos

Momento 1**Roteiro Prática 8, Aula 2 Garrafa de Leyden e eletróforo**

- Registre e/ou descreva os materiais que estão na mesa.
- Segurando a forma pelo cabo (cano de pvc), aproxime da bolinha de alumínio da garrafa de Leyden. Relate os efeitos observados.
- Atrite a placa de pvc com a lã.
- Coloque a forma de metal cobre a placa de pvc:
- Aproxime a forma da bolinha de alumínio da garrafa de Leyden e relate detalhadamente todo o processo e os efeitos observados.
- Coloque a forma atritada em contato com a bolinha de alumínio da garrafa de Leyden e relate detalhadamente todo o processo e os efeitos observados
- Coloque o dedo sobre a bolinha de papel alumínio do da garrafa de Leyden e relate detalhadamente todo o processo e os efeitos observados.
- Ao efetuar bastante manuseio com o canudinho, ou seja, contato com a mão, os efeitos gerados mudam. Levante hipóteses sobre os possíveis motivos?

ROTEIROS EXPERIMENTAIS APLICADOS AS EQUIPES

Nomes:

n^{os}:

Data:

Realizar registros para cada um dos experimentos seguindo as seguintes orientações:

Leia atentamente roteiro experimental e realize experimento em equipe;

Descreva detalhadamente quais foram os processos realizados;

Descreva quais foram os efeitos observados;

Levante hipóteses sobre os possíveis motivos;

Para realizar as anotações, além da descrição na forma de texto, utilize de cores, gravuras, desenhos, tabelas e demais anotações que achar pertinente;

Levando em levando em conta os seguintes aspectos:

- i. Tente explicar de que forma estas interações acontecem.
- ii. Pensando na composição dos matéria, levante hipóteses sobre os possíveis motivos e como as interações acontecem. E se é diferente para os diferentes materiais.

Momento 2

Experimentos do Momento 3, Aulas 10 a 12, têm como base os trabalhos de Cortel (1999).

Roteiro Prática 9, Aula 6 - Prévia momento 2: Dialogo sobre o funcionamento de uma balança.

- Registre os materiais que estão na mesa
- Registre as figuras presentes no quadro.
- Acompanhe o que o professor faz e siga as instruções.
- Observe a medida do prato vazio e registre massa.
- Observe a medida do prato cheio sobre a balança e registre massa (massa bruta).
- Realize o cálculo e encontre a apenas a massa do conteúdo do prato cheio (massa líquida), registre.
- Aplique o conceito de força peso $\vec{P}$: $\vec{P} = m \vec{g}$, ou em seu módulo P : $P = m g$, para descobrir qual a força aplicada, pela força de compressão.
- Registre a força.
- Observe a medida da massa líquida sobre a balança e registre.
- Sem os recipientes sobre a balança, observar o que ocorre quando o colega efetua leve pressão com o dedo sobre o prato da balança, registre.
- Eleja um membro da equipe para aplicar com o dedo sobre a balança uma força equivalente a força peso aplicada pela massa líquida dos passos anteriores. Registre a força aplicada com o dedo sobre a balança:
- A natureza das forças aplicadas sobre a balança é diferente?
() sim () não
- Novamente, acompanhe o que o professor faz e siga as instruções (tarar prato vazio). Agora, um de cada vez e com calma, retirar uma guloseima do prato. Registre o que está acontecendo com a informação no visor da balança.

Momento 2

Neste Momento 2, cada equipe realizar a mesma prática em sua respectiva vez, temos trabalho de estudo para equipe enquanto as demais equipes realizam o experimento.

Roteiro prática 10, aula 7 - Demonstrações da Lei de Coulomb com Balança Eletrônica – Dependência com o inverso do quadrado da distância

Introdução

Ao realizar a prática experimental seguindo o roteiro, e levando em conta o diagrama de corpo livre, podemos perceber como o vetor força elétrica $\vec{F}$ atua na esfera inferior, este sendo igual ao vetor força de compressão, e que o visor da balança traz um valor para intensidade da interação elétrica em unidades de massa, por exemplo, gramas, quilogramas etc. Porém, força elétrica $\vec{F}$ que é exercida sobre o prato da balança é dada em unidades força, por exemplo, newton. Por isso, ao utilizarmos uma balança, o visor vai mostrar um valor para intensidade da interação elétrica, em unidades de massa, ao invés da massa de um determinado corpo se ele estivesse sobre a balança. Porém, para determinarmos o valor da força de elétrica $\vec{F}$ sobre ela, que é equivalente ao peso $\vec{P}$ de um determinado corpo, ou seja, podemos considerar, neste caso, $\vec{F}=\vec{P}$, é necessário utilizarmos da segunda lei de Newton: $\vec{F} = m\vec{a}$, na condição de equilíbrio. E além disso, lembrarmos que o módulo da força de elétrica F é igual ao módulo do peso P , ou seja $F = P$, e $P = mg$, portanto, $F = mg$, onde m é a massa, valor mostrado no visor da balança, valor para intensidade da interação elétrica, e g é o módulo da aceleração da gravidade terrestre local.

Prática: É aconselhável fazer as medições rapidamente, pois as esferas podem descarregar.

- Coloque uma das esferas sobre a balança e tire sua tara.
- Carregue as esferas.
- Mova a esfera superior gradualmente, registrando na Tabela 1 os valores da distância dada em mm, leitura de massa na balança dada em g. Faça a conversão da distância dadas em mm por m e massa dada em g por kg e a força em newtons (N).

Tabela 1: Registro da massa e distância medidas com a variação da esfera superior.

d (mm)	d (m)	m (g)	m (kg)	F(N)
0 mm (encostadas)				

Fonte: O autor

-Com os dados faça um gráfico do módulo da força F pela distância d , ou seja, $F \times d$ no papel milimetrado.

O gráfico:

É representado por uma reta ou por uma curva?_____.

É crescente ou decrescente?_____.

Pensemos na seguinte situação:

$$\frac{1}{d^n}$$

Em que se n for um número positivo maior que 0, à medida que d aumenta, obtemos como resultado da operação, valores cada vez menores, ou seja, obtemos um gráfico decrescente, o expoente n nos dá o gráfico curvo.

Logo, o módulo da força F é proporcional a $\frac{1}{d^n}$, ou seja,

$$F \propto \frac{1}{d^n}$$

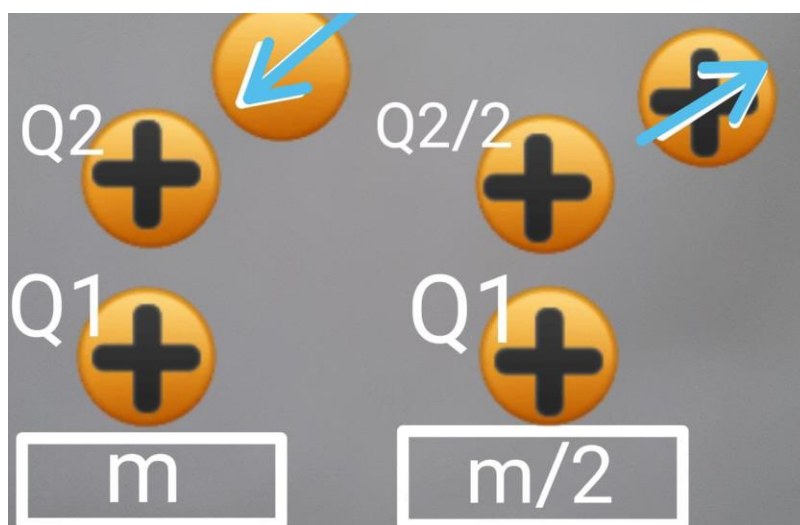
Momento 2

Roteiro prática 11, aula 8 - Demonstrações da Lei de Coulomb com Balança Eletrônica – Dependência com o produto das cargas

Roubando a carga

Agora, podemos mostrar que quando a carga em uma das esferas é diminuída pela metade, obtemos uma leitura diferente para força, obtendo assim a relação entre a grandeza força elétrica e a grandeza carga elétrica. Para tal, carregue as esferas e as distancie, anote a leitura da balança na Tabela 2. Em seguida, coloque uma terceira esfera descarregada em contato com esfera superior, metade de sua carga será roubada, como representado na Figura abaixo.

Figura: Transferência de metade da carga da esfera superior para a carga descarregada.



Fonte: O autor

Registre a leitura na Tabela a seguir. Os valores da distância dada em mm, leitura de massa dada em g na balança. Faça a conversão da distância dadas em mm por m e massa dada em g por kg e a força em newtons (N).

Tabela 2: Registro da massa e distância medidas com a variação da esfera superior.

d (mm)	d.(m)	m (g)	m (kg)	F (N)

Fonte: O autor

Realize novamente o procedimento, agora colocando a esfera descarregada em contato com a esfera inferior, e registre a leitura na Tabela 3. Os valores da distância dada em mm, leitura de massa dada em g na balança. Faça a conversão da distância dadas em mm por m e massa dada em g por kg e a força em newtons.

Tabela 3: Registro da massa e distância medidas com a variação da esfera superior.

d (mm)	D (m)	m (g)	m (kg)	F(N)

Fonte: O autor

Comparando as Tabelas 2 e 3 obtemos que o decréscimo na carga foi de $Q/2$ e o decréscimo na intensidade da força elétrica também foi proporcional, isto é, também decresceu.

A lei de Coulomb

Charles-Augustin de Coulomb nasceu na França em 1736, utilizou uma balança de torção para medir a intensidade da força elétrica atuante sobre duas cargas elétricas colocadas a uma determinada distância uma da outra. A partir desta experiência ele verificou a Lei de Coulomb, assim denominada em sua homenagem. Ela, determina a força elétrica $\vec{F}$ entre materiais portadores de carga elétrica, e pode ser escrita por

$$\vec{F} = K_0 \frac{Q_1 Q_2}{d^2} \hat{r},$$

Observando a Tabela 1, se antes de tirar os dados do experimento colocamos as esferas superior e inferior em contato, ou seja, as esferas encostadas, linha um da Tabela 1, podemos admitir que ambas têm a mesma carga elétrica:

$$Q_1 = Q_2 = Q$$

Logo, podemos escrever pela Lei de Coulomb que o módulo da força elétrica F é dado da seguinte forma

$$F = \frac{K_0 \cdot Q^2}{d^2}, \quad \text{ou ainda,} \quad Q = \sqrt{\frac{F \cdot d^2}{K_0}}.$$

Utilizando a proposta acima, e utilizando uma das linhas de medidas da Tabela 1. Encontre qual é, aproximadamente, a carga de cada uma das esferas eletrizadas.

$$Q = \underline{\hspace{2cm}} \text{ C}$$

Momento 3

Experimentos do Momento 3, Aulas 10 a 12, têm como base os trabalhos de Assis (2010, 2018), Marcondes (2017), Nunes Filho (2020) e Saad *et al.* (2020).

Roteiro prática 12, aula 10 – O campo elétrico – prática com o ferrador de Van der Graff

Nomes:

n^{os}:

Data:

Realizar registros para cada um dos experimentos seguindo as seguintes orientações:

Leia atentamente roteiro experimental e realize experimento em equipe;

Descreva detalhadamente quais foram os processos realizados;

Descreva quais foram os efeitos observados;

Levante hipóteses sobre os possíveis motivos;

Para realizar as anotações, além da descrição na forma de texto, utilize de cores, gravuras, desenhos, tabelas e demais anotações que achar pertinente;

Levando em levando em conta os seguintes aspectos:

I. Tente explicar de que forma estas interações acontecem.

II. Pensando na composição dos matéria, levante hipóteses sobre os possíveis motivos e como as interações acontecem. E se é diferente para os diferentes materiais.

Momento 3

Roteiro prática 12. O campo elétrico – Prática com o gerador de Van der Graaff;

- Registre e/ou descreva os materiais.
- Aproxime a esfera menor da parte metálica superior do gerador de Van der Graaf, descreva o que ocorre.
- Observe o que ocorre quando o professor cola as fitas de papel alumínio com o gerador desligado e descarregado, descreva.
- E com o gerador ligado, descreva.
- Levante hipóteses sobre os possíveis motivos.

- Agora pensemos sobre a atração e/ou repulsão que ocorre sem o contato, ou seja, a distância. Para facilitar consideremos um objeto eletrizado e fixo, em cada ponto do espaço a força é vetorialmente diferente? Explique.
- Como podemos imaginar isso no espaço? Explique.
- Agora, observando o experimento proposto pelo professor, tente fazer uma figura que represente os vetores força em cada ponto do espaço

6 APARATOS UTILIZADOS

A seguir temos um roteiro simplificado de como montar os aparatos utilizados nas práticas propostas. Construídos com materiais acessíveis, por meio dos quais podemos produzir e observar fenômenos básicos da eletricidade.

6.1 MATERIAIS UTILIZADOS NAS PRÁTICAS 1, 2, 3, 4, 5, 6, 9,10 E 11

Na Figura 17 apresentamos os materiais utilizados:

Canudos;

Guardanapo;

Disponibilizado na bancada:

Figura 17: Canudos e Guardanapo



Fonte: O autor

6.2 MATERIAIS UTILIZADOS NAS PRÁTICAS 1, 3, 4, 9, 10 E 11.

Na Figura 18 apresentamos os materiais utilizados:

Papeis;

Bolinhas de isopor;

Disponibilizado na bancada:

Figura 18: Papeis e Bolinhas de isopor



Fonte: O autor

6.3 MATERIAIS UTILIZADOS NAS PRÁTICAS 7, 8, 9, 10 E 11

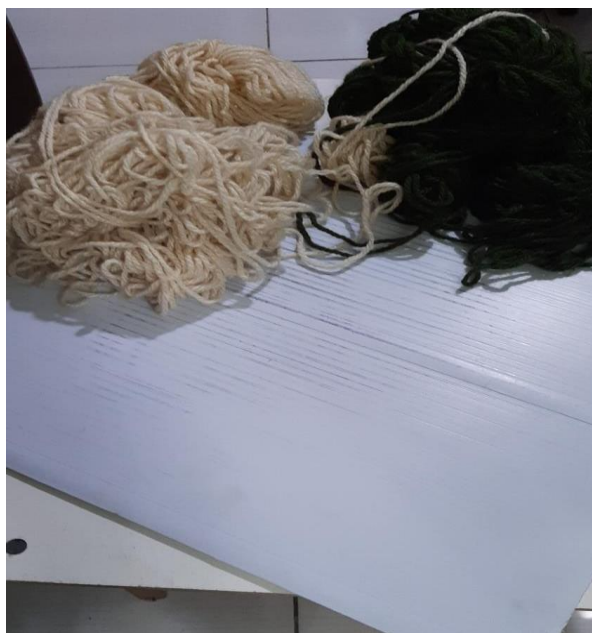
Na Figura 19 apresentamos os materiais utilizados:

Lã;

Placa de PVC frisado branco 4,00x0,20m;

Disponibilizado na bancada:

Figura 19: Lã e placas de PVC



Fonte: O autor

6.4 APARATO PRÁTICA 2. CANUDINHO SUSPENSO, PÊNDULO DE TORÇÃO

Na Figura 20 apresentamos o aparato utilizado:

O suporte cano, gap e cotovelos PVC $\frac{3}{4}$ parafusados em madeira; (1) ;

O fio (2);

E canudo(3);

Disponibilizado na bancada:

Figura 20: Aparato Prática 2. Canudo suspenso, pêndulo de torção



Fonte: O autor

6.5 APARATO PRÁTICA 3. FILETE DE ÁGUA;

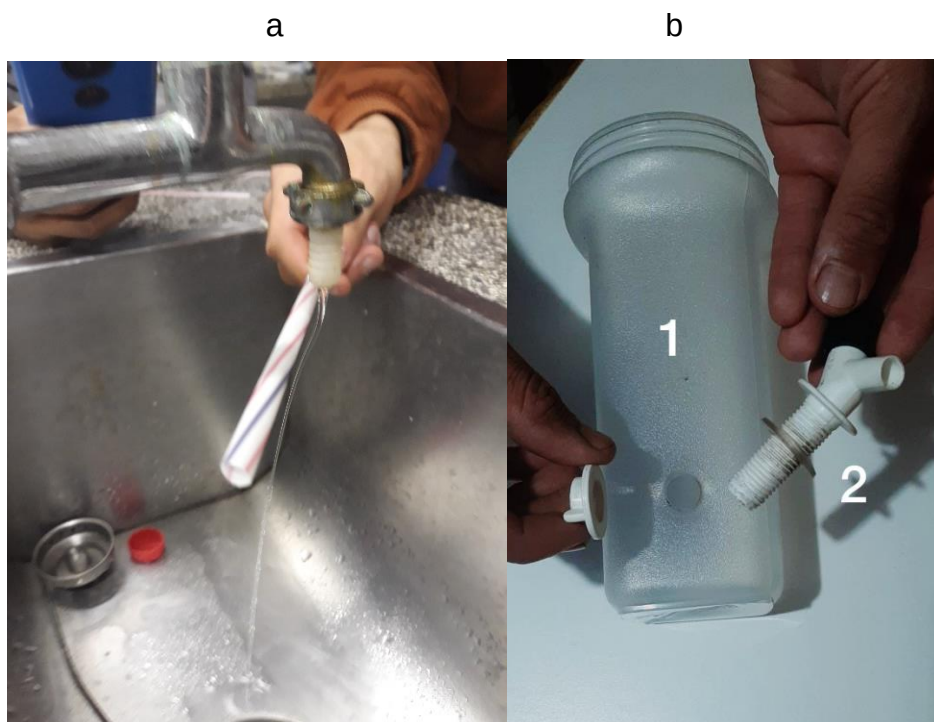
Na Figura 21 apresentamos o aparato utilizado:

Torneira;

Canudinho;

Disponibilizado na bancada:

Figura 21: Filete de água



Fonte: O autor

Caso não se disponibilize de uma torneira para realizar o experimento como na figura 21a, pode-se montar um aparato como na figura 21b em que utiliza-se um frasco(1) e por meio de um furo próximo a base encaixa-se uma torneira de bebedouro (2).

6.6 APARATOS PRÁTICA 4. BOLINHAS DE ISOPOR;

Na Figura 22 apresentamos o aparato utilizado:

Saco plástico transparente, bobina saco plástico picotado (Figura 22a);

Frasco PET com tampa (Figura 22b);

Disponibilizado na bancada:

Figura 22: Recipientes isolantes com isopor no interior
a b



Fonte: O autor

Na figura no interior de um saco plástico inflado colocamos bolinhas de isopor e fechamos, na figura b colocamos bolinhas de isopor no interior de um frasco PET com tampa.

6.7 APARATO PRÁTICAS 5 E 7. GARRAFA DE LEYDEN;

Na Figura 23 apresentamos o aparato utilizado:

- (1) frasco PET
- (2) papel alumínio,
- (3) fio de cobre

Disponibilizado na bancada:

Figura 23: Garrafa de Leyden



Fonte: O autor

A garrafa de Leiden é constituída por um frasco de material dielétrico com dois eletrodos, uma lâmina de metal forra a parte interna e outra a externa;

Ligada na lâmina interna, uma haste condutora que atravessa a tampa isolante do frasco;

6.8 APARATO PRÁTICAS 6 E 8. ELETROSCÓPIO DE FOLHAS;

Na Figura 24 apresentamos o aparato utilizado:

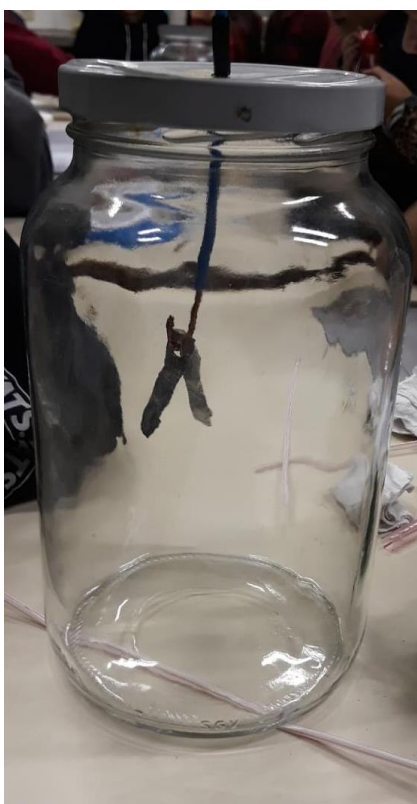
O frasco;

O papel alumínio;

O fio de cobre;

Disponibilizado na bancada:

Figura 24: Eletroscópio de folhas



Fonte: O autor

Gilbert estudou sobre eletrização utilizando o versorium, primeiro eletroscópio. Atribui-se ao britânico Abraham Bennet (1749-1799) o primeiro eletroscópio de folhas. O eletroscópio de folhas é um instrumento que consiste em um frasco que apresenta uma haste condutora com duas folhas metálicas; Em um recipiente isolante, atravessa-se a tampa com um condutor retilíneo, com a parte inferior em forma de gancho, onde coloca-se duas pequenas laminas de papel alumínio.

6.9 APARATO PRÁTICA 7, 8, 9, 10 E 11 ELETRÓFORO;

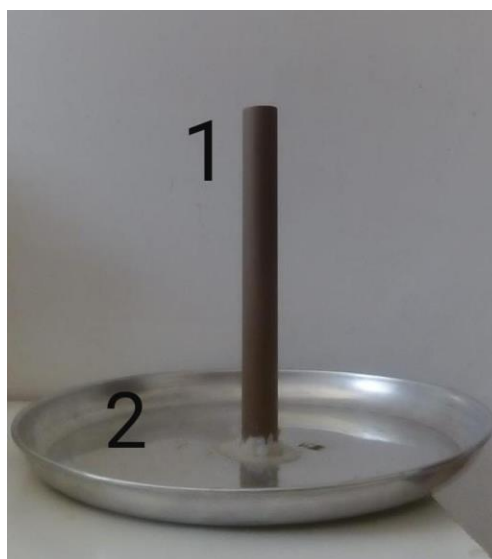
Na Figura 25 apresentamos o aparato utilizado:

Tubo de pvc soldável 25mm (1);

Forma de pizza (2);

Disponibilizado na bancada:

Figura 25: Eletróforo



Fonte: O autor

Proposto pelo sueco Johan Carl Wilcke em 1762, o eletróforo também é creditado a Alessandro Volta. Consiste de um disco metálico munido de um cabo isolante. E é eletrizado por um material isolante previamente eletrizado por atrito.

6.10 APARATO PRÁTICA 9. UM DIÁLOGO SOBRE O FUNCIONAMENTO DE UMA BALANÇA;

Na Figura 26 apresentamos o aparato utilizado:

Balança analítica(1);

Conjunto, bolinha de natal e suporte de PVC(2);

Disponibilizado na bancada:

Figura 26: Balança



Fonte: O autor

6.11 APARATO PRÁTICA 10 E 11. DEMONSTRAÇÕES DA LEI DE COULOMB COM A BALANÇA ELETRÔNICA

Na Figura 27 apresentamos o aparato utilizado:

Balança analítica sobre suporte de madeira(1);

Bolinhas de natal de vidro metalizadas(2);

Bolinhas de natal de vidro metalizadas(3);

Linha, anzol sem ponta(4);

Tubos pvc 25mm, gap 25mm, joelho soldável 25mm, pitão com rosca(5);

Régua de alumínio(6);

Disponibilizado na bancada:

Figura 27: Aparato demonstração da lei de Coulomb



Fonte: O autor

A régua deve ser fixada no suporte, e nela pitões de tal forma que, ao mudar o anzol, que está em uma extremidade da linha, de pitão, a esfera superior, que está na outra extremidade da linha muda sua altura, proporcionalmente, em relação a esfera inferior. Como os pitões estão sobre as medidas da régua, é prático ver a mudança de distância entre as esferas.

6.12 APARATO PRÁTICA 12. O CAMPO ELÉTRICO – PRÁTICA COM O GERADOR DE VAN DER GRAAFF;

Na Figura 28 apresentamos o aparato utilizado:

Suporte de madeira;

dois gap 150mm;

tubo de PVC 150mm;

tubo pvc 25mm;

eixo bike;

cubo de bike com rolamentos;

fios de flexíveis cobre;

porcas;

arruela;

rolamentos de skate;

eixo; polias,

Papel EVA para fabricação da correia;

fita veda rosca (politetrafluoretileno);

motor elétrico (Utilizamos motor doméstico para máquinas de costura: 7000 Rpm 100 W);

papel alumínio;

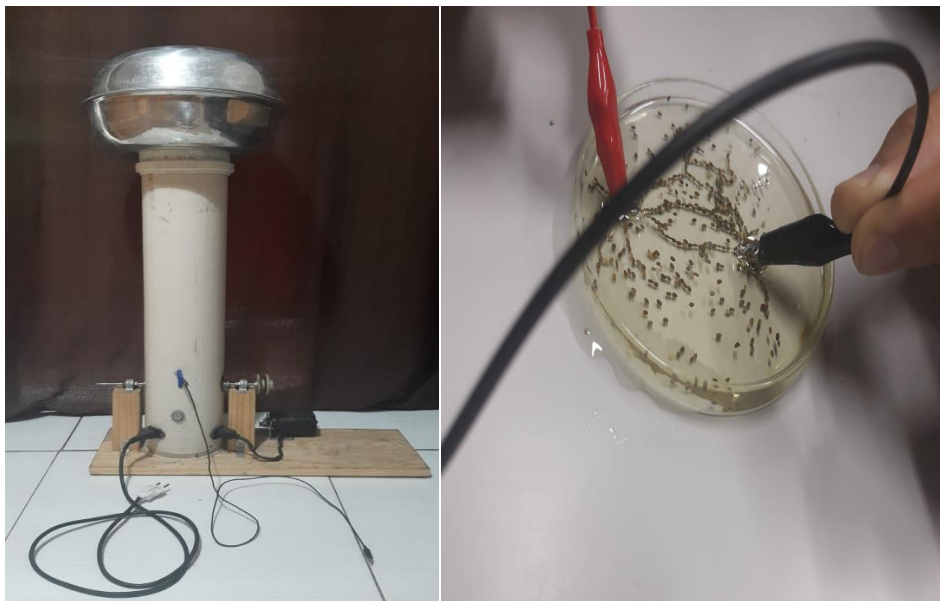
prato vidro;

azeite cozinha;

sementes de grama;

fios ligados as escovas do gerador;

Figura 28: Gerador de Van der Graaff



Fonte: O autor

Uma máquina eletrostática que foi inventada pelo engenheiro americano Robert Jemison van de Graaff em 1931, Gerador de Van de Graaff.

Para construir o Gerador nos embasamos no vídeo de Bruniera (2017) e nos Trabalhos de Marcondes (2017) e Nunes Filho, (2020).

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

.A partir da pesquisa, frequentemente profissionais de ensino tem se deparado com novas alternativas, determinar a melhor escolha diante da realidade pode ser desativo na vida dos estudantes. Por meio deste, oferecemos uma opção, da qual temos expressivos indícios de que pode surtir bons resultados.

Pois nossa intenção ao elaborar as práticas, é permitir que o aluno possa explorar os fatos, e sentir-se motivado pela própria curiosidade, tomando suas responsabilidades diante o próprio aprendizado, buscando elementos dentro de seu conhecimento prévio que o auxiliem nessa jornada, desvendando o processo de dialogo do que ele já sabe com as novas descobertas, tornando assim sua aprendizagem significativa. O disposto produto em sua organização, está dividido em momentos e subdividido em práticas, o professor que assim achar pertinente, pode aplicar apenas parte compátivel com sua realidade.

Tendo que o produto educacional DA ELETRIZAÇÃO À INTERAÇÃO A DISTÂNCIA é fruto de um trabalho de pesquisa em relação ao tema escolhido e também da pesquisa também da própria prática, o objetivo é que a sequência didática apresentada se torne uma alternativa, com grande potencial, para o ensino dos conceitos relacionados aos que foram tratados neste trabalho.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, M. S. T; ABIB, M. L. V. S. Atividades Experimentais no Ensino de Física: diferentes enfoques, diferentes finalidades. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v.25, n.2, p.176-194, 2003.
- ASSIS, A. K. T.: **Os Fundamentos Experimentais e Históricos da Eletricidade**. Montreal: Apeiron, 2010.
- ASSIS, A. K. T.: **Os Fundamentos Experimentais e Históricos da Eletricidade**. V. 2. Montreal: Apeiron, 2018.
- BRASIL. Senado federal. Secretaria especial de editoração e publicações subsecretaria de edições técnicas. **Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional**: Lei número 9394, 20 dez. de 1996, Brasília: Senado Federal, 2005.
- BRASIL, Ministério da Educação. Secretaria de Educação Básica. **Diretrizes Curriculares Nacionais Gerais de Educação Básica**. Brasília, 2013. 565p. Disponível em: http://portal.mec.gov.br/index.php?option=com_docman&view=download&alias=15548-d-c-n-educacao-basica-nova-pdf&Itemid=30192. Acesso em: 19 ago.2018.
- BRASIL, Ministério da Educação. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. **Parâmetros Curriculares Nacionais – Ensino Médio**: orientações educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais. Brasília, 2002. 144p. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/CienciasNatureza.pdf>. Acesso em: 20 ago. 2018.
- BRUNIERA. F. H. R., **Como Fazer Um Gerador Van De Graaff (FICOU DE ARREPIAR)**, [s.l.;s.n.], 2015, 1 vídeo (14 min). Publicado pelo canal Canal XProjetos. Disponível em: <https://youtu.be/XGNsSshWzzA>, Acesso em: 10 dez. 2020
- CORTEL, A. **Demonstrations of Coulombs Law withan Eletronic Balance**. THE PHYSICS THEACHER. Barcelona, Espanha, V. 37. p.447-448, Oct. 1999.
- CRUZ, G. B. da . **A prática docente no contexto da sala de aula frente às reformas curriculares**. Educar em Revista , v. 29, p. 191-205, 2007.
- DOMINGUEZ, M. E. **Significados Atribuídos aos conceitos de Campo elétrico e Potencial Elétrico Por Estudantes de Física Geral**. Maturin, Venezuela, dez. 1988.
- FEYMANN, R. P.; LEIGHTON, R. B.; SANDS, M. **Lições de Física**. 3. ed. Porto Alegre, Bookman, 2008.
- FREIRE, P; SHOR, I. **Medo e ousadia. O cotidiano do professor**. Tradução de Adriana Lopez; revisão técnica de Lólio Lourenço de Oliveira. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1986.
- FREIRE, P. **Pedagogia do oprimido**. 50. ed. São Paulo: Paz e Terra, 2011.

ANNA, C. C. *et al.* **GREF, Grupo de Reelaboração do Ensino de Física: Física 3.** EDUSP-Editora da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1999.

GIANI, Kellen. **A experimentação no ensino de ciências:** possibilidades e limites na busca de uma aprendizagem significativa, 2010.

HALLIDAY, D; RESNICK, R; WALKER, J. **Fundamentos de física.** 8. ed. Rio de Janeiro, RJ: LTC v. 3, c2009;

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de Física.** 9. ed. Rio de Janeiro, LTC. 400p., 2014.

KRAPAS, S.; SILVA, M. C. Controvérsia ação a distância/ação mediada: abordagens didáticas para o ensino das interações físicas. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 29, n. 3, p. 471-479, 2008.

LEIRIA, T.F.; MATARUCO, S.M.C. **O papel das atividades experimentais no processo de ensino-aprendizagem de física.** UNESPAR – PR, 2015.

LINHA de força. USP e-Física, 2019 Disponível em: http://efisica.if.usp.br/eletricidade/basico/campo/linha_forca/. Acesso em: 27 out. 2019.

MOREIRA, M.A. **Aprendizagem significativa.** Brasília: Editora da UnB, 2006a.

MOREIRA, M.A. **Aprendizaje significativa crítica.** Porto Alegre: Instituto de Física da UFRGS, 2005.

MOREIRA, M.A. **A teoria da aprendizagem significativa e sua implementação em sala de aula.** Brasília: Editora da UnB, 2006b.

MOREIRA, M.A; BUCHWEITZ, B. **Novas estratégias de ensino e aprendizagem.** Lisboa: Plátano Edições Técnicas, 1993.

MOREIRA, M.A. **Uma abordagem cognitivista ao ensino da Física.** Porto Alegre: Editora da Universidade, 1983.

MOREIRA, M.A. **Mapas conceituais e diagramas V.** Porto Alegre: Ed. do Autor, 2006c.

MOREIRA, M.A., CABALLERO, C. Y RODRÍGUEZ P., M.L. **Aprendizaje significativo:** interacción personal, progresividad y lenguaje. Burgos: Servicio de Publicaciones de la Universidad de Burgos, 2004.

MOREIRA, M.A; MASINI, E.A.F. **Aprendizagem significativa:** a teoria de David Ausubel. São Paulo: Editora Moraes, 1982.

MOREIRA, M.A. e MASINI, E.A.F. **Aprendizagem significativa:** a teoria de David Ausubel. 2ª ed. São Paulo: Centauro Editora, 2006d

MOREIRA, M. A.; MASSONI, N. T. **Noções básicas de epistemologias e teorias de aprendizagem como subsídios para a organização de sequências de ensino-aprendizagem em ciências/física**. Porto Alegre. 1º versão, 2016.

NUNES FILHO, J. M. A. Guia experimental para o estudo da eletrostática. *In*: NUNES FILHO, J. M. A. **O ensino da eletrostática por meio de atividades experimentais com uso da aprendizagem significativa**. São Luís: UFMA, 2020.

NOVAK, J.D; GOWIN, D.B. **Learning how to learn**. New York: Cambridge University Press, 1984.

NEWTON, I. **Principia - Princípios Matemáticos de Filosofia Natural**. Livro I: O Movimento dos Corpos. Tradução de T. Ricci, L. G. Brunet, S. T. Gehring e M. H. C. Celia. Nova Stella/Edusp, São Paulo, 1990.

NOVAK, J. D. e GOWIN, D. B. **Aprendendo a aprender**. Lisboa: Plátano Edições Técnicas. Tradução do original Learning how to learn, 1995.

PODOLEFSKY, N.; WIEMAN, C.; Reid, S. **John travoltage**. PHET Interactive simulations. Disponível em: https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/john-travoltage. Acesso em: 09 abr. 2018.

POLITO, A. M. M. **A construção da estrutura conceitual da física clássica**. MNPEF, 2016.

ROCHA, M. O. **O Conceito de Campo no Eletromagnetismo**: Uma Unidade de ensino potencialmente significativa. Dissertação (dissertação MNPEF) Espírito Santo. 2015.

ROCHA, J. F. **Origens e Evolução das Idéias da Física**. 5º. ed. [S. l.]: EDUFBA, P.374, 2015.

SEARS, F. W.; ZEMANSKY, M. W.; **Física III: eletromagnetismo**. 12. ed. São Paulo, SP: Pearson Addison Wesley, v. 3, 2008-2009.

TIPLER, P. A.; MOSCA, G., **Física para Cientistas e Engenheiros - V. 2**, 5a ed. Rio de Janeiro: LTC, 2006.

WAGNER FILHO, R. V. L., **Investigação do Conceito de Campo nos Livros Didáticos de Física do PNLD**. Programa Nacional de Desenvolvimento Educacional, Secretaria de Estado da Educação do Paraná, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Dez 2014.