

UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA  
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA – POLO 47

JOSÉ MARIA ALMEIDA NUNES FILHO

**O ENSINO DA ELETROSTÁTICA POR MEIO DE ATIVIDADES EXPERIMENTAIS  
COM USO DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA**

São Luís - MA

2020

**JOSÉ MARIA ALMEIDA NUNES FILHO**

**O ENSINO DA ELETROSTÁTICA POR MEIO DE ATIVIDADES EXPERIMENTAIS  
COM USO DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA**

Dissertação submetida ao Programa de Mestrado Profissional Nacional em Ensino de Física da Universidade Federal do Maranhão, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Linha de Pesquisa: Processos de Ensino e Aprendizagem e Tecnologias de Informação e Comunicação no Ensino de Física

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Moraes Diniz

São Luís – MA

2020



Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).  
Núcleo Integrado de Bibliotecas/UFMA

FILHO, JOSÉ MARIA ALMEIDA NUNES.

O ENSINO DA ELETROSTÁTICA POR MEIO DE ATIVIDADES  
EXPERIMENTAIS COM USO DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA / JOSÉ  
MARIA ALMEIDA NUNES FILHO. - 2020.

164 p.

Orientador(a): EDUARDO MORAES DINIZ.

Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em  
Rede - Ensino de Física em Rede Nacional/ccet,  
Universidade Federal do Maranhão, SÃO LUÍS, 2020.

1. APRENDIZAGEM. 2. ELETROSTÁTICA. 3. EXPERIMENTOS.  
4. MATERIAIS ALTERNATIVOS. I. DINIZ, EDUARDO MORAES. II.  
Título.

**JOSÉ MARIA ALMEIDA NUNES FILHO**

**O ENSINO DA ELETROSTÁTICA POR MEIO DE ATIVIDADES EXPERIMENTAIS  
COM USO DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA**

Dissertação submetida ao Programa de  
Mestrado Profissional Nacional em Ensino  
de Física da Universidade Federal do  
Maranhão, como parte dos requisitos  
necessários à obtenção do título de Mestre  
em Ensino de Física

Aprovada em        /        /

**BANCA EXAMINADORA:**

---

Prof. Dr. Eduardo Moraes Diniz  
Universidade Federal do Maranhão  
Presidente

---

Prof. Dr. Fábio Henrique Silva Sales  
Instituto Federal do Maranhão  
(Examinador Interno)

---

Prof. Dr. Manoel Januário da Silva Neto  
Universidade Federal do Pará  
(Examinador Externo)

*Dedico este trabalho, especialmente ao meu pai José Maria Almeida Nunes (in memoriam), grande incentivador na minha vida profissional. Dedico este trabalho também à minha mãe Maria do Espírito Santo, à minha esposa Carolyne Almeida, e aos meus filhos José Arthur e Milenna Vanessa.*

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus primeiramente, por me fortalecer em todos os momentos de dificuldade e angústia no decorrer da elaboração desse trabalho.

Ao meu orientador, Professor Dr Eduardo Moraes Diniz, pelo empenho e disponibilidade de sempre. `

À Universidade Federal do Maranhão – UFMA.

A todos os professores integrantes do quadro do MNPEF, polo 47 – UFMA

À minha família pelas palavras de fé e incentivo.

Aos meus filhos, por serem minha inspiração diária na tentativa de sempre melhorar.

À minha esposa, pela compreensão nos momentos de ausência, necessários para dedicação inerente a esse trabalho.

Aos colegas de turma do MNPEF, pelo auxílio nos momentos de dificuldades, e pelos momentos de descontração.

Aos meus alunos da Unidade Escolar Marcos Parente, pela contribuição imprescindível para a realização desse trabalho.

A todos, que direta ou indiretamente contribuíram para a conclusão desse trabalho.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), código de financiamento 001, pelo fomento a este programa de Pós-Graduação.

“Eu tentei 99 vezes e falhei, mas na centésima tentativa eu consegui, nunca desista de seus objetivos mesmo que esses pareçam impossíveis, a próxima tentativa pode ser a vitoriosa.”

Albert Einstein

## RESUMO

Este trabalho propõe o estudo de conceitos de eletrostática através do uso de experimentos com materiais alternativos. O produto educacional que alicerça essa proposta é composto por um guia de 18 atividades experimentais, acompanhado das instruções para construção dos instrumentos necessários, além de toda a discussão dos fenômenos físicos que envolvem o funcionamento desses instrumentos. A ideia é que o aluno seja o elemento principal, participando da confecção e manipulação dos experimentos, de forma a produzir o conhecimento necessário para entendimento de alguns dos conceitos principais da eletrostática. O aluno então é sujeito ativo, desenvolve conhecimento, o papel do professor é de orientador e mediador desse processo. Dentro da proposta de avaliação, os alunos foram submetidos a testes de abordagem quantitativa, para avaliar se houve melhora no processo de ensino aprendizagem, como também para verificar a satisfação e envolvimento dos mesmos durante a realização das atividades experimentais. Os resultados prévios analisados através dos questionários, mostraram uma melhora significativa no processo de ensino-aprendizagem dos alunos após a aplicação da proposta do trabalho. O uso dos experimentos com materiais alternativos, mostraram ser um método eficaz comparado ao modelo tradicional de ensino baseado em aulas expositivas.

**Palavras-chave:** Eletrostática, aprendizagem, experimentos, materiais alternativos.

## **ABSTRACT**

This work proposes the study of electrostatic concepts through the use of experiments with alternative materials. The educational product that underlies this proposal consists of a guide of 18 experimental activities, accompanied by instructions for the construction of the necessary instruments, in addition to the entire discussion of the physical phenomena that involve the functioning of these instruments. The idea is that the student is the main element, participating in the making and manipulation of the experiments, in order to produce the necessary knowledge to understand some of the main concepts of electrostatics. The student is then an active subject, develops knowledge, the teacher's role is to guide and mediate this process. Within the assessment proposal, students were subjected to tests of quantitative approach, to assess whether there was improvement in the teaching-learning process, as well as to verify their satisfaction and involvement during the performance of the experimental activities. The previous results analyzed through the questionnaires, showed a significant improvement in the teaching-learning process of the students after the application of the work proposal. The use of experiments with alternative materials, proved to be an effective method compared to the traditional teaching model based on lectures.

**Key words:** Electrostatic, learning, experiments, alternative materials.

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                                                                       |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 – Âmbar atraindo uma pena de ave. ....                                                                                       | 29 |
| Figura 2 – Modelo da bússola chinesa, a mais antiga já conhecida. ....                                                                | 30 |
| Figura 3 – Capa do livro de magnet, de William Gilbert.....                                                                           | 31 |
| Figura 4 – Esfera de enxofre e máquina de fricção elétrica de Otto Von Guericke, 1672.....                                            | 31 |
| Figura 5 – Esquema simplificado da balança de torção de Coulomb.. ....                                                                | 33 |
| Figura 6 – Laboratório de Luigi Galvani .....                                                                                         | 34 |
| Figura 7 – Pilha de Volta.....                                                                                                        | 35 |
| Figura 8 – Experimento de Oersted. ....                                                                                               | 36 |
| Figura 9 – Campo magnético produzido no ponto p.....                                                                                  | 37 |
| Figura 10 – Regra da mão direita para determinação da direção do vetor campo magnético gerado por um fio percorrido por corrente..... | 38 |
| Figura 11 – Sentido da corrente e do campo magnético induzido, ao aproximar e afastar o ímã de uma espira.....                        | 39 |
| Figura 12 – Aplicação do produto educacional.....                                                                                     | 44 |
| Figura 13 – Atividade sendo realizada fora da sala de aula. ....                                                                      | 67 |



## LISTA DE GRÁFICOS

|                                                                                            |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gráfico 1 - Acertos na questão 01 antes e depois da aplicação do produto educacional ..... | 49 |
| Gráfico 2 - Acertos na questão 02 antes e depois da aplicação do produto educacional ..... | 50 |
| Gráfico 3 - Acertos na questão 03 antes e depois da aplicação do produto educacional ..... | 51 |
| Gráfico 4 - Acertos na questão 04 antes e depois da aplicação do produto educacional ..... | 52 |
| Gráfico 5 - Acertos na questão 05 antes e depois da aplicação do produto educacional ..... | 53 |
| Gráfico 6 - Acertos na questão 06 antes e depois da aplicação do produto educacional ..... | 54 |
| Gráfico 7 - Acertos na questão 07 antes e depois da aplicação do produto educacional ..... | 56 |
| Gráfico 8 - Acertos na questão 08 antes e depois da aplicação do produto educacional ..... | 57 |
| Gráfico 9 - Acertos na questão 09 antes e depois da aplicação do produto educacional ..... | 58 |
| Gráfico 10 - Acertos na questão 10 antes e depois da aplicação do produto educacional..... | 60 |
| Gráfico 11 - Quantidade total de acertos de todas as questões .....                        | 61 |
| Gráfico 12 - Panorama geral de acertos das questões.....                                   | 61 |
| Gráfico 13 - Questionamento 01 - Questionário de satisfação .....                          | 62 |
| Gráfico 14 - Questionamento 02 - Questionário de satisfação .....                          | 63 |
| Gráfico 15 - Questionamento 03 - Questionário de satisfação .....                          | 63 |
| Gráfico 16 - Questionamento 04 - Questionário de satisfação .....                          | 64 |
| Gráfico 17 - Questionamento 05 - Questionário de satisfação .....                          | 64 |
| Gráfico 18 - Questionamento 06 - Questionário de satisfação .....                          | 65 |

## **LISTA DE TABELAS**

|                                                                                                  |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1 – Atividades experimentais apresentadas no produto educacional.....                     | 42 |
| Tabela 2 – Conteúdos de eletrostática trabalhados antes da aplicação do produto educacional..... | 46 |
| Tabela 3 – Cronograma de aplicação do produto educacional.....                                   | 47 |

## SUMÁRIO

|     |                                                                                                   |     |
|-----|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 1   | INTRODUÇÃO .....                                                                                  | 14  |
| 2   | REFERENCIAL TEÓRICO .....                                                                         | 18  |
| 2.1 | A teoria da aprendizagem significativa de David Ausubel .....                                     | 18  |
| 2.2 | A experimentação como ferramenta de facilitação da aprendizagem em física .....                   | 22  |
| 3.  | UMA BREVE ABORDAGEM DE FATOS HISTÓRICOS DO ELETROMAGNETISMO .....                                 | 29  |
| 4   | PRODUTO EDUCACIONAL .....                                                                         | 41  |
| 4.1 | Descrição do produto educacional .....                                                            | 41  |
| 4.2 | Local de aplicação.....                                                                           | 43  |
| 4.3 | Método de aplicação .....                                                                         | 43  |
| 4.4 | Sequência didática para a aplicação do produto educacional.....                                   | 44  |
| 4.5 | Análise de resultados.....                                                                        | 48  |
| 5.  | Relato sobre a aplicação do produto educacional.....                                              | 66  |
| 6.  | CONSIDERAÇÕES FINAIS .....                                                                        | 69  |
| 7.  | REFERÊNCIAS.....                                                                                  | 70  |
|     | APÊNDICE A – PRODUTO EDUCACIONAL.....                                                             | 74  |
|     | APÊNDICE B - QUESTIONÁRIO PARA AVALIAÇÃO DA APRENDIZAGEM .....                                    | 155 |
|     | APÊNDICE C - QUESTIONÁRIO PARA AVALIAÇÃO DA SATISFAÇÃO DOS ALUNOS COM O PRODUTO EDUCACIONAL ..... | 159 |

## 1 INTRODUÇÃO

Dados do PISA (Programa internacional de avaliação de estudantes) de 2018, mostraram que o ensino de ciências no Brasil é um dos mais precários do mundo. O Brasil está entre os piores dos 79 países avaliados na disciplina de ciências. Na América Latina, por exemplo, fica à frente apenas de Panamá e República Dominicana. No ranking geral ocupa a posição 67 (BERMÚDEZ, 2019). No ano de 2018, assim como no ano de 2015, foram três as competências avaliadas: explicar fenômenos cientificamente, avaliar e planejar experimentos científicos e interpretar dados e evidências cientificamente. Os temas envolveram sistemas físicos, vivos, Terra e espaço (INEP, 2019). Uma das possíveis causas dessa dificuldade dos estudantes brasileiros é a ausência de laboratórios de Ciências na maior parte das escolas. De acordo com o censo escolar de 2018, apenas 37,5 % das escolas públicas estaduais possuem laboratório de ciências. Na falta de laboratórios para a prática de aulas experimentais, o professor acaba recorrendo aos métodos tradicionais, fazendo uso excessivo de aulas expositivas, onde o professor é transmissor do conhecimento e o aluno um mero receptor. Sobre o método tradicional baseado em aulas expositivas, Lopes (2000), destaca:

[...] um domínio absoluto da situação de aula por parte do professor na aplicação dessa técnica de ensino. Deduz-se dessa caracterização a existência de uma relação unilateral: o professor como único detentor do saber e condutor exclusivo do processo de ensino. O aluno é referido apenas como o sujeito a quem a aula é dirigida (LOPES, 2000, p. 39-40).

O conhecimento prévio do aluno não é considerado. O professor se torna o centro do processo de ensino-aprendizagem. O aluno é passivo, treinado para decorar fórmulas e aplicá-las posteriormente na resolução de exercícios. As informações são repassadas na sua forma final, acabada, dificultando assim questionamentos por parte dos estudantes. É uma aprendizagem mecânica, onde o aluno não consegue relacionar a física com situações do seu cotidiano. Essa falta de conexão, às vezes, acaba desestimulando o aluno, e a consequência disso, muitas vezes, são resultados indesejáveis: baixo rendimento, reprovação e evasão escolar. Lopes (2000), ainda destaca que:

[...] o autoritarismo do professor. Também reduzem a aprendizagem a níveis superficiais considerando que não ressaltam a oportunidade de questionamento por parte dos alunos. Neste aspecto, alguns autores deixam entender que, dependendo do grau de estruturação do conteúdo, questionamentos não são permitidos porque acabam por interferir na ordenação lógica das ideias do professor [...] a ênfase na comunicação verbal, ou seja, o professor tende a falar por mais tempo do que deveria, restringindo assim a participação do aluno. Esse desvio por sua vez, acaba por provocar comodismo ou passividade dos alunos que se limitam a absorver tudo o que o professor fala (LOPES, 2000, p. 40).

Na tentativa de contornar a problemática da falta de laboratórios de ciências nas escolas públicas, oferecendo ao professor do ensino médio uma alternativa em relação à metodologia tradicional baseada em aulas expositivas, buscando ainda um maior envolvimento dos alunos no processo de ensino-aprendizagem, a proposta desse trabalho é a produção de um conjunto de experimentos de eletrostática com materiais alternativos. Esse método, é baseado no modelo da aprendizagem significativa de Ausubel (AUSUBEL, 1963). Na teoria de Ausubel, o conhecimento prévio do aluno, chamado de subsunçor, é o elemento principal (MOREIRA e MASINI, 2006). A partir desse conhecimento prévio é que o aluno irá adquirir novos conhecimentos. Ausubel preconiza que os professores/educadores devem criar situações didáticas com a finalidade de descobrir esses conhecimentos. Os conhecimentos prévios (subsunçores) seriam os suportes em que o novo conhecimento se apoiaria. Esse processo, foi denominado por ele de ancoragem (MOREIRA e MASINI, 2006). Vale lembrar também, que na teoria da aprendizagem significativa de Ausubel, o interesse do aluno em aprender é necessário. Nesse cenário, em que se busca uma aprendizagem significativa, a experimentação possibilita ao professor alternativas para facilitação do processo de ensino-aprendizagem relacionadas aos conteúdos de eletrostática, despertando o interesse do aluno com o tema. Diferente do método tradicional baseado em aulas expositivas, em que o aluno é sujeito passivo, as atividades experimentais representam uma metodologia mais dinâmica e investigativa, que estimula competências e habilidades cognitivas e motoras dos estudantes. A partir do manuseio dos equipamentos e instrumentos, sempre com orientação e supervisão do professor, os alunos colocam em prática as informações vistas na sala de aula, o que facilita e estimula o aprendizado. Além disso, as atividades experimentais ampliam a integração entre os

alunos, e entre eles e o professor. O resultado é a fácil compreensão e assimilação dos conteúdos da disciplina.

As atividades experimentais podem ser utilizadas, por exemplo, para que um subsunçor ausente na estrutura cognitiva do aluno seja alcançado. Esse subsunçor posteriormente é ancorado aos conhecimentos prévios já existentes. Dessa forma, após verificar-se essa relação explícita entre o novo conhecimento e aquele já existente, a atividade experimental passa a ser considerada um material potencialmente significativo. A atividade experimental pode ser utilizada também para que se alcance a outra condição necessária para que a aprendizagem significativa ocorra segundo Ausubel, que é a disponibilidade do indivíduo em aprender. Por ser uma abordagem dinâmica, que foge ao tradicionalismo das aulas expositivas, a atividade experimental tem caráter motivador, despertando assim o interesse do aluno com o tema (GIORDAN, 1999).

O produto educacional, alicerce dessa proposta, é composto por um guia de 18 atividades experimentais, que abordam vários conceitos da eletrostática. Nessas atividades experimentais vários conceitos são trabalhados: carga elétrica, processos de eletrização, condutores e isolantes, potencial elétrico, campo elétrico, configuração de linhas de força, poder das pontas, ruptura dielétrica, condutor em equilíbrio eletrostático, dentre outros. Ao todo são 7 tipos de instrumentos construídos para a realização das atividades experimentais: eletroscópio retangular, eletroscópio de casca cilíndrica, eletroscópio de 2 bases, eletróforo, capacitor cilíndrico, garrada de Leyden e gerador de Van de Graaff. As 18 atividades experimentais apresentadas se enquadram como atividades experimentais de verificação (ARAÚJO; ADIB, 2003). Nesse tipo de atividade experimental, o objetivo principal é a verificação de leis e fenômenos. O papel do professor nesse tipo de atividade é de acompanhamento e orientação, pois o aluno participa ativamente do processo de confecção e manipulação dos experimentos.

A seguir, no capítulo 2, será apresentada a teoria da aprendizagem significativa de Ausubel, assim como uma abordagem de como a experimentação pode ser trabalhada como meio de facilitação na aprendizagem de física, fazendo uma relação com a teoria de Ausubel. No capítulo 3 (capítulo de Física) são apresentados alguns dos mais relevantes fatos históricos do eletromagnetismo, que é o campo da

física trabalhado no produto educacional. No capítulo 4, é feita uma apresentação do produto educacional, com sua descrição, local onde foi aplicado, método de aplicação e análise de resultados. No capítulo 5 é feito um relato breve sobre as situações vivenciadas durante a aplicação do produto educacional, e por fim, no capítulo 6 são apresentadas as considerações finais sobre o trabalho aplicado.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 A teoria da aprendizagem significativa de David Ausubel**

David Paul Ausubel, foi um importante psicólogo estadunidense. Filho de imigrantes judeus, nasceu em 1918 em Nova York, justamente em uma época em que a população judaica sofria com perseguições decorrentes de conflitos e preconceitos religiosos. Ausubel cresceu insatisfeito com a educação que recebera em Nova York. Por conta dos constantes castigos e ameaças que sofreu na escola, Ausubel enxergava a educação como violenta e reacionária. Após forma-se em psicologia em 1939 e medicina em 1943, Ausubel resolve se dedicar ao campo da educação. Crítico da aprendizagem mecânica, seus estudos são voltados para a busca de uma aprendizagem significativa. Antes de falar sobre a sua teoria, é importante falar sobre os três tipos gerais de aprendizagem. A primeira é a aprendizagem cognitiva, que se baseia no armazenamento organizado de informações na mente do indivíduo. As informações são armazenadas e organizadas dentro de um complexo, chamado de estrutura cognitiva. O segundo tipo é a aprendizagem afetiva, que resulta de sinais internos ao indivíduo. Essas experiências podem ser identificadas como “prazer e dor”, “satisfação e descontentamento”, alegria, etc. Vale ressaltar que essas experiências afetivas sempre acompanham as experiências cognitivas. Portanto a aprendizagem afetiva é concomitante à aprendizagem cognitiva. E por fim, a aprendizagem psicomotora, que envolve respostas musculares adquiridas através de treino e prática (tocar violão, por exemplo). A aprendizagem motora também guarda uma relação com a aprendizagem cognitiva. Para aprender a tocar violão, é necessário, por exemplo, ter conhecimento sobre partituras e notas musicais, e esses conceitos são aprendidos de maneira cognitiva (MOREIRA, 1999).

A teoria de Ausubel baseia-se na premissa de que a mente humana possui uma estrutura organizada e hierarquizada de conhecimentos. Essa estrutura é continuamente diferenciada pela assimilação de novos conceitos, novas proposições e ideias (AUSUBEL, 1963). O conteúdo previamente presente na estrutura cognitiva do indivíduo é fator determinante no processo de aprendizagem. Esse conhecimento



prévio funcionará como um “ponto de ancoragem” para as novas informações. A maneira como essas novas informações são recebidas e relacionadas com as informações já existentes, vai determinar o tipo de aprendizagem que irá ocorrer. Essa aprendizagem pode variar do “mecânico” ao significativo. O que seria então uma aprendizagem significativa? A aprendizagem significativa é o processo em que uma nova informação se relaciona com um aspecto relevante da estrutura cognitiva do indivíduo (MOREIRA, 1999). Esse aspecto relevante, Ausubel denomina de subsunçor (MOREIRA e MASINI, 2006). Para Moreira (1999), o subsunçor constitui um conceito, uma ideia ou uma proposição já existente na estrutura cognitiva, capaz de servir de ancoradouro a uma nova informação, de modo que esta adquira, assim, significado para o sujeito.

Essas novas informações devem se relacionar de uma forma não-arbitrária e substantiva com as ideias já existentes na estrutura cognitiva do indivíduo. Essa não-arbitrariedade entre as informações, resulta em uma relação lógica e explícita entre as novas informações e os conceitos subsunçores presentes na estrutura cognitiva do indivíduo.

Uma relação não arbitrária e substantiva significa que as ideias são relacionadas a algum aspecto relevante existente na estrutura cognitiva do aluno, como, por exemplo, uma imagem, um símbolo, um conceito ou uma proposição. (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980, p.34).

Novak (2000) destaca que,

No decurso da aprendizagem significativa, as novas informações são ligadas aos conceitos na estrutura cognitiva. Normalmente, essa ligação ocorre quando se ligam conceitos mais específicos e menos inclusivos a outros mais gerais, existentes na estrutura cognitiva. [...] A justificação para se adicionar esses termos reside no papel fundamental que os subsunçores desempenham na aquisição de novas informações. [...] O papel de um conceito integrador na aprendizagem significativa é interativo, facilitando a passagem de informações relevantes, através das barreiras perceptivas, e fornecendo uma base para a ligação entre as informações recentemente aprendidas e os conhecimentos anteriormente adquiridos.

Além disso, uma vez que um conceito é aprendido de maneira significativa, o indivíduo é capaz de transmitir esse conceito com suas próprias palavras, fazendo uso de linguagem própria, sem necessidade de reproduzir as informações da mesma

maneira que as recebeu. Não é necessário o uso da tão conhecida “decoreba”. Ausubel (1980) diz:

Se eu tivesse de reduzir toda a psicologia educacional a um único princípio, diria isto: o fator singular mais importante que influencia a aprendizagem é aquilo que o aprendiz já conhece. Descubra o que ele sabe e baseie nisso os seus ensinamentos.

Ausubel também faz referência à aprendizagem mecânica. Nela, as novas ideias se relacionam de maneira arbitrária com as informações já existentes na estrutura cognitiva do indivíduo. Não existe, então, uma relação lógica e clara entre as “novas” e as “velhas” informações. Esse tipo de aprendizagem não garante a flexibilidade e a longevidade dos conceitos. Esses conceitos de certa forma encontram-se “jogados” dentro da estrutura cognitiva, sem estarem “ancorados” em um conceito subsunçor. Na prática, essa aprendizagem se baseia na prática da “decoreba”. O aluno, ao aprender de maneira mecanizada, não consegue expressar esses conceitos em contextos diferentes, em linguagem própria. É muito comum essas informações acabarem sendo esquecidas em um curto período de tempo.

É importante destacar que para Ausubel, a aprendizagem significativa e aprendizagem mecânica não são opostas, mas antes fazem parte de um contínuo (MOREIRA e MASSINI, 2006). Hora aprendemos de maneira mecânica, hora aprendemos de maneira significativa. Ausubel ainda destaca em sua teoria, as formas com que as informações são processadas na aprendizagem significativa, ou seja, a maneira como as informações chegam até a estrutura cognitiva do aprendiz. Nesse caso, Ausubel define duas formas diferentes: a aprendizagem por recepção, e a aprendizagem por descoberta (MOREIRA e MASSINI, 2006). Na aprendizagem por recepção, as informações são repassadas ao indivíduo na sua forma final, “acabada”. Essas informações podem ser repassadas por vários meios: livro, aula expositiva, slide, vídeo, jogo, experimento, entre outros. É importante observar que a aprendizagem por descoberta não é sinônimo de “passividade”. Durante uma aula expositiva, por exemplo, é perfeitamente possível a participação do aluno. Na aprendizagem por descoberta, como o próprio nome sugere, o aprendiz busca as informações. Ele pode, por exemplo, assistir um filme e através dele tentar encontrar aquela informação ou conceito e relacioná-la com os subsunçores existentes. Diante

do que foi dito até aqui, os seguintes questionamentos podem ser feitos: De que maneira surgem então os subsunçores? Qual a origem dos subsunçores?

Vimos que a teoria de Ausubel pressupõe a existência dos subsunçores. Uma possibilidade seria dessa nova informação ter origem na aprendizagem mecânica. Se o indivíduo não possui, por exemplo, nenhuma informação ou conceito relacionado a algum conteúdo, assunto ou tema, essa informação precisaria ser buscada. Dessa forma, como o indivíduo não possui nenhum ponto de ancoragem, a aprendizagem se daria inicialmente de maneira mecânica. À medida que forem estabelecidos elementos relevantes, os conceitos subsunçores passariam a existir. A partir daí, a aprendizagem significativa começaria a acontecer. A outra possibilidade sugerida por Ausubel, seria a utilização do que ele chama de “organizadores prévios” (MOREIRA e MASINI, 2006). Esses organizadores prévios serviriam de âncoras para a nova aprendizagem, e levariam ao desenvolvimento de conceitos subsunçores. Os organizadores prévios são materiais introdutórios que são apresentados antes do material geral em si a ser aprendido, funcionando como ponte entre o que o aprendiz já sabe e o que ele deve saber. Os organizadores prévios facilitam o aprendizado de um novo conceito, são como uma espécie de “ancoradouro provisório”. Um exemplo: Um professor de física ao tentar introduzir o conceito de campo gravitacional, pode usar o exemplo de um ímã. O ímã por ser um objeto de propriedade bem conhecida, a de atrair objetos metálicos ou de atrair ou repelir um outro ímã, pode ser utilizado como organizador prévio nessa situação. O aprendiz poderá aprender que, assim como o ímã atrai objetos metálicos à distância, a terra tem a propriedade de atrair corpos que estejam próximos à sua superfície. Nesse caso, a analogia feita tem a intenção de mostrar que tanto o ímã, quanto a terra, modificam o espaço ao seu redor, criando assim um campo magnético e um campo gravitacional respectivamente. Nessa situação, é importante que o professor explique as diferenças entre as naturezas desses campos, já que, diferente da terra que tem a propriedade de apenas atrair outros corpos, a força magnética pode ser tanto atrativa como repulsiva. É importante ressaltar que nessa situação não teria sentido discutir o porquê de o ímã atrair objetos metálicos, pois a ideia de campo ainda precisa ser introduzida. Veja que nesse caso a aprendizagem do conceito de campo é temporariamente mecânica. A partir do momento em que o aprendiz entende as características de um “campo”, seja ele gravitacional ou magnético, ele teria ali o

subsunção “campo” na sua estrutura cognitiva. Seria, então, apenas a presença dos subsunções na estrutura cognitiva do indivíduo, condição suficiente para que a aprendizagem significativa ocorra? Ausubel preconiza as condições necessárias para isso: a não-arbitrariedade do material e a disponibilidade do indivíduo. A não-arbitrariedade do material indica que o material a ser apresentado ao indivíduo, deve ter relação com os conhecimentos prévios existentes na sua estrutura cognitiva. Quando existe essa relação lógica e explícita entre o material apresentado e os conhecimentos prévios do aprendiz, o material é considerado potencialmente significativo. Em relação à disponibilidade do aprendiz, Ausubel reforça que o sujeito deve ter predisposição para que a aprendizagem significativa ocorra, do contrário ela será mecânica. Satisfeitas essas condições, é necessário que o aprendiz tenha clareza e precisão dos conceitos que foram introduzidos em sua estrutura cognitiva. Mais que isso, é necessário que o aprendiz seja capaz de diferenciá-los de outros conceitos, como também de transferi-los em diferentes situações e contextos com suas próprias palavras.

Por fim, cabe ao professor criar meios para facilitar a aprendizagem significativa. O docente deve identificar a estrutura conceitual e proposicional dos conteúdos a serem trabalhados, ou seja, o professor precisa identificar os conceitos e princípios unificadores e inclusivos, e organizá-los de maneira hierárquica, de modo que progressivamente esses conceitos possam abranger os conceitos menos inclusivos. O professor deve também identificar quais subsunções são importantes para que ocorra a aprendizagem significativa de um determinado conteúdo, assim como também, identificar os subsunções que o aluno já possui em sua estrutura cognitiva. Na ausência desses subsunções essenciais, deve buscar meios para que esses subsunções sejam integrados aos já existentes. As atividades experimentais podem constituir uma ferramenta para a busca de uma aprendizagem significativa na disciplina de física.

## **2.2 A experimentação como ferramenta de facilitação da aprendizagem em física**

Os problemas que afetam o desempenho dos alunos na aprendizagem de física não são recentes, dessa forma, a busca de um diagnóstico para o problema e

de uma possível solução, são objetos de estudos a muito tempo (ARAÚJO e ADIB, 2003). É cada vez mais importante que os conceitos físicos vistos em sala de aula devem guardar uma relação com situações vividas no cotidiano dos alunos.

“(...) despertar facilmente o interesse dos estudantes relacionarem-se à ilustração e análise de fenômenos básicos presente em situações típicas do cotidiano. Estas situações são consideradas como fundamentais para a formação das concepções espontâneas dos estudantes, uma vez que estas concepções se originariam a partir da interação do indivíduo com a realidade do mundo que os cerca.”. (ARAÚJO e ADIB, 2003, p. 186).

Essa prática vai no sentido contrário ao ensino tradicional, onde o professor é o detentor do conhecimento, e o aluno um sujeito passivo, que reproduz aquilo que é dito pelo professor em sala de aula. Segundo Nanni (2004):

O que se vê ainda na maioria das escolas são aulas de física, química e biologia meramente expositiva, presa às memorizações, sem laboratório e sem relação com a vida prática cotidiana do aluno. Essa maneira simplista, ultrapassada e, até mesma, autoritária de conceber o processo de ensino, certamente não deixa transparecer a complexidade que caracteriza todo o ato de ensinar (NANNI, 2004, p. 1).

Na área das ciências da natureza, especificamente no ensino de física, a experimentação é quase sempre citada por professores e alunos como uma boa alternativa para driblar a monotonia das aulas expositivas. Mas, infelizmente, ainda existe uma lacuna muito extensa, separando o discurso da prática. Vários são os motivos relatados pelos professores para não adotarem a prática da experimentação nas aulas de física: falta de material e equipamentos, falta de local adequado, número insuficiente de aulas, falta de formação adequada, dúvidas quando aos procedimentos de aplicação. Segundo Araújo e Adib (2003):

[...] o uso de atividades experimentais como estratégia de ensino de Física tem sido apontado por professores e alunos como uma das maneiras mais frutíferas de se minimizar as dificuldades de aprender e de se ensinar Física de modo significativo e consistente (ARAÚJO e ADIB, 2003, p. 02).

Dentre as principais contribuições trazidas pelo uso das atividades experimentais nas aulas de física podemos destacar algumas:

**1) Tem caráter motivador além de despertar a atenção dos alunos:** Nesse aspecto, as aulas experimentais tem papel importante ao alcançar a atenção dos alunos mais dispersos, além de estimular de uma maneira geral o interesse dos alunos com a disciplina (GIORDAN, 1999). É importante destacar que nem todos os alunos terão o mesmo grau de entusiasmo em relação as aulas experimentais, principalmente em atividades experimentais do tipo demonstrativa. A solicitação de registros escritos dos fenômenos observados durante as abordagens experimentais, funciona como uma estratégia para que se consiga uma maior atenção dos alunos durante esse tipo de abordagem.

**2) Desenvolve a capacidade de trabalhar em grupo:** Nas atividades experimentais organizadas em grupos, habilidades como a divisão de tarefas, responsabilidade com o grupo, e negociação de ideias são desenvolvidas. Nesse tipo de atividade é importante a atenção do professor com possíveis desentendimentos. É interessante que previamente, regras de convivência sejam adotadas. Embora na escola os alunos trabalhem geralmente de forma isolada e a principal forma de interação seja aluno-professor, o trabalho em grupo é frequentemente apontado como uma estratégia de ensino que favorece a socialização dos alunos, colocando-os em situações nas quais precisam aprender a ouvir e respeitar a opinião dos colegas, a negociar e/ou renunciar às próprias ideias, ou ainda a colocar os objetivos pessoais em segundo plano (GALIAZZI; GONÇALVES, 2004).

**3) Estimula a criatividade:** Quanto maior é a participação do aluno durante os vários processos das atividades experimentais, mais a sua criatividade é estimulada. Essa participação pode se dar por exemplo, na confecção do experimento, ao permitir que o aluno possa substituir um tipo de material utilizado por outro alternativo. É possível também que o aluno crie seu próprio roteiro de atividade durante uma aula experimental, ou que ele mesmo escolha o experimento a ser trabalhado. (BORGES, 2002; GASPAR, 2003; CARVALHO et al., 2005)

**4) Ajuda o aluno na análise de dados e observação dos fenômenos:** Nesse sentido, as aulas experimentais podem estimular os alunos a observar, refletir, analisar e propor hipóteses para suas observações, bem como rever o que pensam sobre um determinado fenômeno (BIASOTO e CARVALHO, 2007).

**5) Auxilia o aluno no aprendizado de conceitos físicos:** As atividades experimentais podem ser empregadas como estratégia de ensino complementar a aula expositiva – como é o caso das atividades de verificação –, lembrando conceitos, confirmando fatos científicos estudados no plano teórico, o que contribui para a aprendizagem (ARAÚJO e ADIB, 2003). Durante a aula experimental também podem ser identificados erros conceituais, o que geralmente só acontece após a aplicação de testes de verificação de aprendizagem. Para atingir esse objetivo, durante as aulas experimentais o professor pode constantemente solicitar aos alunos explicações (prévias ou posteriores ao experimento) e, com isso, detectar erros conceituais e concepções alternativas (CARVALHO et al., 2005).

**6) Facilita o aluno a enxergar a relação entre ciência, tecnologia e sociedade:** Uma das grandes vantagens das atividades experimentais é a possibilidade de, através delas, discutir como a ciência está relacionada à tecnologia presente no dia-a-dia dos alunos, as relações sociais associadas à produção do conhecimento científico, as implicações ambientais decorrentes da atividade científica, dentre muitas outras formas de se estabelecer uma importante ponte entre os conceitos científicos em destaque e o cotidiano dos alunos (GONÇALVES e MARQUES, 2006). Entender essa relação é essencial para que aluno perceba o quanto que a ciência está presente em seu cotidiano.

As atividades experimentais devem ser aplicadas sempre com um objetivo claro a ser atingido. Essas atividades podem ser organizadas, por exemplo, para a simples demonstração de uma teoria, ou até mesmo com o objetivo de criar condições para que o aluno reflita e reveja a sua concepção em relação a um fenômeno físico. Levando em conta a maneira como as atividades experimentais são organizadas, Araújo e Adib (2003) classificaram as atividades experimentais em três modalidades:

**a) Atividades de demonstração:** Como o próprio nome sugere, nesse tipo de atividade o professor executa o experimento e os alunos observam. O professor tem papel central nesse tipo de abordagem, pois cabe a ele montar o experimento, questionar os alunos, mostrar o que deve ser observado e, principalmente, fornecer as explicações científicas que possibilitam a compreensão do que é observado. São frequentemente integradas às aulas expositivas, sendo realizadas no seu início, como forma de despertar o interesse do aluno para o tema abordado, ou término da aula,

como forma de relembrar os conteúdos apresentados (ARAÚJO e ADIB, 2003). Esse tipo de atividade é recomendado quando os recursos são escassos, ou até mesmo quando o tempo é insuficiente para a confecção dos experimentos em sala de aula. Essa abordagem favorece a relação entre professor e aluno. Na sala de aula, a atividade de demonstração experimental relaciona a experiência vivida pelo aluno ao conteúdo de física, fundamentando-se em conceitos científicos, formais e abstratos. A utilização dessa atividade liga ao pensamento do aluno elementos da realidade e de experiência pessoal, para que adquira conceitos científicos (GASPAR e MONTEIRO, 2005). Ainda na visão de Gaspar e Monteiro (2005): não é necessária uma sala de laboratório, sendo usado um único equipamento para realizar a atividade que contempla todos os alunos; pode ser utilizada em meio à apresentação teórica, sem quebra da abordagem conceitual que está sendo trabalhada, para motivar e despertar o interesse do aluno para a aprendizagem. É importante observar que apesar de as atividades de demonstração seguirem um roteiro definido, esse tipo de atividade deve ser flexível, dando a oportunidade ao aluno de refletir sobre os fenômenos observados, podendo levantar hipóteses e fazer questionamentos, além de poder participar ativamente da confecção dos experimentos.

**b) Atividades de verificação:** Esse tipo de atividade é utilizado para verificar a existência de uma lei ou determinado fenômeno. Essa atividade proporciona aos alunos a capacidade de interpretar parâmetros que determinam o comportamento dos fenômenos observados, articulando-os com os conceitos científicos que conhecem, e de efetuar generalizações, especialmente quando os resultados dos experimentos são extrapolados para novas situações (ARAÚJO; ADIB, 2003). As atividades de verificação favorecem a aprendizagem, pois oportunizam aos alunos verificarem fenômenos trabalhados anteriormente nas aulas expositivas. Nessa metodologia, o aluno participa ativamente do processo de confecção e manipulação dos experimentos.

**c) Atividades de investigação:** O papel do professor neste tipo de atividade é bem diferente das atividades de demonstração e de verificação. A função do professor é necessariamente de auxiliar os alunos na confecção e manipulação dos experimentos, negociar estratégias para busca das soluções para o problema, questionar as ideias dos alunos. Dessa forma, o professor é um mediador dentro do



processo, intervindo nos momentos em que há indecisão, falta de clareza ou consenso. Apesar de demandar mais tempo e exigir mais atenção e auxílio do professor, essa forma de organização da atividade experimental captura a atenção dos alunos e melhora seu envolvimento com a mesma (BORGES, 2002). Para Suart e Marcondes (2008):

[...] se o estudante tiver a oportunidade de acompanhar e interpretar as etapas da investigação, ele possivelmente será capaz de elaborar hipóteses, testá-las e discuti-las, aprendendo sobre os fenômenos químicos estudados e os conceitos que os explicam, alcançando os objetivos de uma aula experimental, a qual privilegia o desenvolvimento de habilidades cognitivas e o raciocínio lógico. (SUART; MARCONDES, 2008, p.2)

Vale ressaltar que diferente das abordagens anteriores, o modelo investigativo não faz uso de um roteiro pré-estabelecido. O aluno tem a liberdade de desenvolver o seu próprio roteiro, assim como decidir pela escolha dos experimentos e dos métodos a serem trabalhados. Independentemente de a atividade ser empregado no início, meio, ou fim de um conteúdo, é preciso que se tenha uma sequência lógica, buscando conceitos cada vez mais específicos. Segundo Delizoicov & Angotti (1991):

[...] a todo e qualquer momento do diálogo didático da sala de aula, a atividade experimental poderá ser solicitada para configurar os conhecimentos prévios dos estudantes, para gerar conflitos de interpretação acerca de uma dada situação ou ainda como decorrência de uma problematização inicial.

Fazendo uma relação com a teoria da aprendizagem significativa de Ausubel, em uma situação de ausência de subsunçores, por exemplo, a atividade experimental pode ser implementada a fim de alcançar um organizador prévio, que futuramente pode ser ancorado na estrutura cognitiva do aluno. Após o processo de ancoragem ter acontecido, esse organizador prévio passa a fazer parte dos subsunçores. Nesse caso, a atividade experimental é realizada antes da introdução do conceito a ser aprendido. Segundo Costa (2018):

Uma das estratégias é de se começar o conteúdo com a experimentação oferecendo ao professor duas possibilidades para contemplar objetivos distintos. A primeira é de garantir um organizador prévio, caso o aprendiz não tenha subsunçores, como material introdutório antes do material de aprendizagem, empregando generalidade e inclusividade. Sua principal função é a de servir de ponte entre o que o aprendiz já sabe e o que ele deve

saber, a fim de que o novo material possa ser aprendido de maneira significativa.

A atividade experimental pode ser utilizada também para a aplicação e contextualização de novos conhecimentos, que seriam ancorados aos já existentes na estrutura cognitiva do aluno. Esse processo onde novas informações são associadas de maneira lógica com outras já existentes, constitui o que Ausubel denominou de aprendizagem significativa. A experimentação tem o papel motivador e o potencial de estimular o interesse dos estudantes sobre a aula, permitindo a ele aprender a observar o fenômeno ou refletir sobre o problema, conceito ou proposição tornando mais provável a aprendizagem significativa (SOUZA, 2011).

### 3 UMA BREVE ABORDAGEM DE FATOS HISTÓRICOS DO ELETROMAGNETISMO

As primeiras observações sobre fenômenos elétricos se deram na antiguidade. O filósofo e astrônomo grego Tales de Mileto (640-550 a.c), observou que ao atritar um pedaço de âmbar (resina fossilizada) com pele de animal, o âmbar adquiria a capacidade de atrair pequenos objetos, como folhas de árvores e grãos de areia. Tales de Mileto, também verificou as propriedades de atração e repulsão que a magnetita exercia sobre pedaços de ferro. Um exemplo da atração de pequenos objetos pelo âmbar é ilustrado na Figura 1.

Figura 1 - Âmbar atraindo uma pena de ave



Fonte: Sampaio e Calçada (2005).

Os chineses já utilizavam no século XI, um pedaço de magnetita que flutuava sobre a água para se orientarem nas viagens marítimas. Uma imagem do primeiro modelo de bússola chinesa é mostrada na Figura 2.

Figura 2 - Modelo da bússola chinesa, a mais antiga já conhecida



Fonte: Sparavigna (2017).

O primeiro estudo conhecido sobre magnetismo foi feito por Pierre de Maricourt em 1269. Pierre utilizou uma esfera de magnetita e uma agulha magnetizada para desenhar o que chamou de “linhas de força”. Ele observou que essas linhas convergiam para duas regiões opostas da esfera, que ele chamou de “polos”, fazendo uma analogia com os polos terrestres (OKA, 2000).

Em 1600, William Gilbert (1540-1603), publicou a obra *De Magnete* (Figura 3). William Gilbert cria o termo eletricidade, que se origina de “elektron”, significado de âmbar em grego. *De Magnet* foi a primeira importante obra criada com o intuito de criar as bases teóricas para o estudo da eletricidade e magnetismo. Em magnetismo, ao aproximar bolas de ferro magnetizadas de agulhas de bússolas, fez uma analogia com a ação da terra sobre a bússola, sugerindo que a terra seria um grande ímã. Gilbert também mostra ser impossível isolar um polo magnético ao dividir um ímã em duas partes.

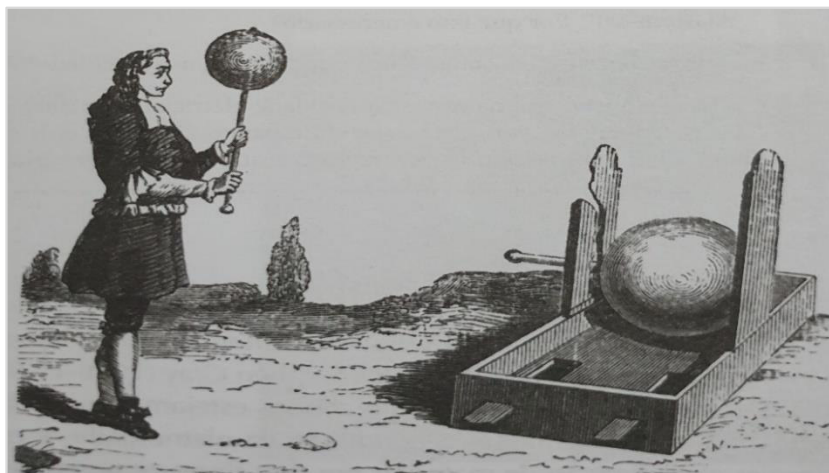
Figura 3 - Capa do livro De Magnet, de William Gilbert



Fonte: Yamamoto e Fuke (2016).

Impulsionado pelas pesquisas de William Gilbert, Otto von Guericke (1602-1686), físico alemão, construiu um gerador eletrostático. Uma ilustração de seu experimento pode ser vista na Figura 4.

Figura 4 - Esfera de enxofre e máquina de fricção elétrica de Otto von Guericke, 1672



Fonte: Bonjorno et al. (2013).

Em suas pesquisas, Guericke observou que partículas de mesma carga se repeliam. Descobriu o fenômeno da indução, onde um corpo descarregado poderia ser eletrizado sem a necessidade de contato com outro corpo eletrizado inicialmente. Em 1729, Stephen Gray (1679-1736), introduz o conceito de condutores e isolantes, ao observar a condução elétrica entre os corpos. Charles Du Fay (1698-1739), em 1733, ao realizar experimentos de eletrização utilizando um bastão de vidro, âmbar, e outros materiais, concluiu que todos os corpos poderiam ser eletrizados. Percebeu que dois corpos eletrizados com o bastão de vidro se repeliam ao serem aproximados, e que a mesma coisa acontecia entre dois corpos eletrizados com o âmbar. Ao mesmo tempo, observou que ao aproximar um corpo eletrizado pelo bastão de vidro de um corpo eletrizado pelo âmbar, eles se atraíam. Dessa forma, propôs que existiam dois tipos de cargas, que chamou de *vítrea* e *resinosa* (carga criada pelo bastão de vidro e carga criada pelo âmbar, respectivamente.). Essa teoria ficou conhecida como a teoria dos fluidos elétricos.

Em 1745, Ewald Georg Von Kleist (1700-1748), religioso alemão, utilizando-se de uma garrafa de vidro, uma tampa de cortiça, um prego atravessado na tampa de cortiça e um gerador eletrostático, constrói um dispositivo para armazenar eletricidade. Após carregá-lo com o gerador eletrostático, Kleist sofre a ação de uma descarga elétrica, ao segurar a garrafa com uma mão, e com a outra tocar a ponta do prego. Seria esse, o primeiro capacitor elétrico construído. Apesar disso, o mérito pela construção do primeiro condensador de cargas ficou para Pieter Van Musschenbroek (1692-1761), professor da Universidade de Leiden, Países Baixos, que divulgou seu experimento para Academia Francesa de Ciências (a invenção ficou conhecida como garrada de Leiden, ou garrada de Leyden).

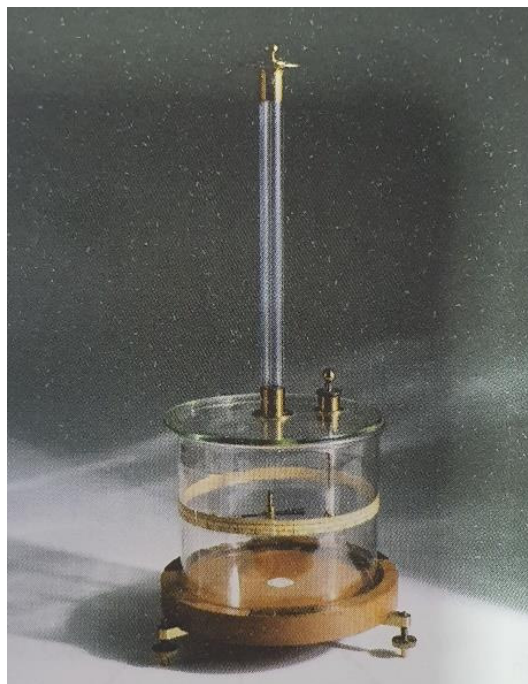
Por volta de 1750, Benjamin Franklin (1707-1790), propõe a teoria do fluido único. Segundo a teoria, todos os corpos possuíam esse tipo de fluido elétrico. Os corpos que tinham esse fluido em excesso, eram corpos positivos, e os corpos que tinham pouca quantidade de fluido, eram negativos. Franklin, ao realizar um experimento em que duas pessoas A e B, carregadas eletricamente (uma carregada ao ser atritada com um bastão de vidro, e a outra carregada ao ser atritada com tecido de seda) entravam em contato, observou que nenhuma faísca era percebida. Mas, ao fazer A e B, tocar separadamente uma terceira pessoa C descarregada, verificou que



uma faísca era produzida. Conclui, então, que as cargas de A e B eram de mesma intensidade, mas de natureza contrária, e ainda afirmou que essas cargas não poderiam ser criadas nem destruídas. Esse seria o Princípio da Conservação das cargas elétricas como conhecemos hoje. Outra contribuição de Franklin, foi verificar em 1752, que os raios eram de natureza elétrica. Ele fez essa observação ao soltar uma pipa com um objeto metálico preso a ela durante uma tempestade, e verificar que o objeto era carregado eletricamente pelos raios durante a tempestade. Atribui-se também a Franklin, a invenção do pára-raios.

Em 1785, Charles Augustin de Coulomb (1736-1806), um engenheiro civil militar aposentado, ao utilizar um instrumento chamado balança de torção (Figura 5), verificou que a força entre as cargas elétricas era inversamente proporcional ao quadrado da distância entre elas, e diretamente proporcional ao produto das cargas. É a tão famosa e conhecida “Lei de Coulomb”.

Figura 5 – Balança de torção apresentada por Coulomb em 1785 à Academia Francesa de Ciências



Fonte: Yamamoto e Fuke (2016).

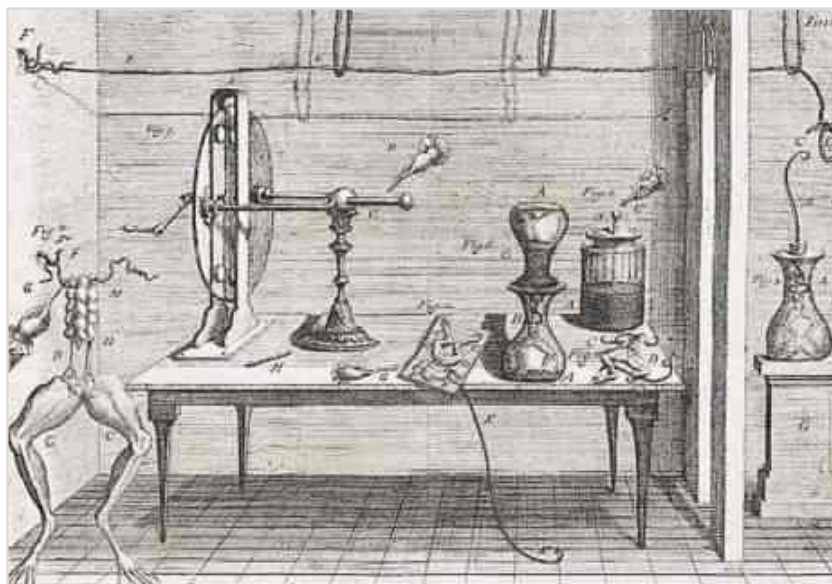
A equação de Coulomb para a força elétrica entre as partículas  $i$  e  $j$ , onde  $q_i$  e  $q_j$  são as cargas das partículas  $i$  e  $j$ , separadas por uma distância  $r_{ij}$ , pode ser escrita da seguinte forma:

$$\vec{F}_{ij} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_i \cdot q_j}{r_{ij}^2} \hat{r}_{ij} \quad (1)$$

Onde  $\epsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12} \text{ C}^2/\text{N.m}^2$  (Permissividade elétrica do vácuo).

Anteriormente a esse fato, o médico italiano Luigi Galvani (1737-1798) descobre a “eletricidade animal”, ao realizar experimentos onde a musculatura da pata de uma rã era estimulada na presença de um gerador eletrostático. Galvani observou esse fato ao tocar acidentalmente com a ponta de uma faca a pata da rã. Galvani repetiria o experimento, conseguindo o mesmo efeito, mas dessa vez sem a presença do gerador eletrostático. Para isso, Galvani prendeu em cada uma das patas da rã, dois fios de materiais diferentes e observou que ao fazer contato entre os fios, a musculatura da rã era estimulada. Galvani, então, supõe que essa manifestação elétrica era de origem animal. A Figura 6 traz uma imagem ilustrativa do laboratório de Galvani.

Figura 6 – Imagem ilustrativa do laboratório de Galvani

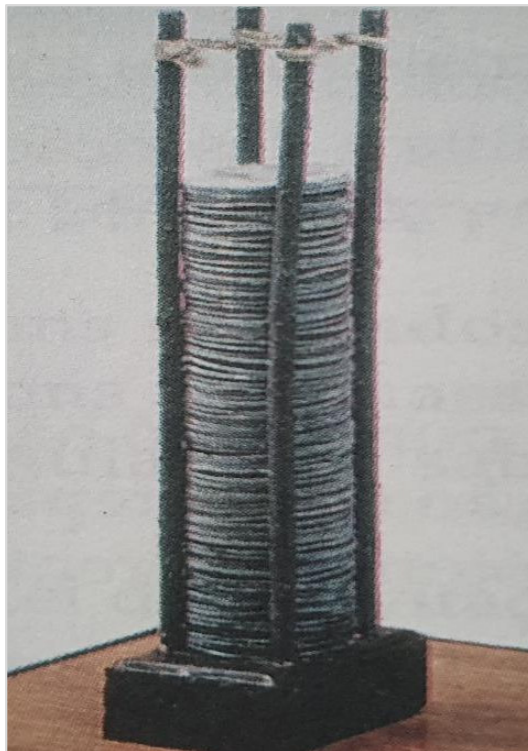


Fonte: Geocities (2020).



Fazendo uso da teoria da “eletricidade animal” de Galvani como ponto de partida, em 1796, Alessandro Count Volta (1745-1827), contraria a teoria de Galvani, ao afirmar que não era necessário um agente biológico para que o fenômeno ocorresse. Essa constatação se deu após Volta empilhar vários discos de zinco e cobre, e entre eles, ao invés de colocar material biológico, Volta utilizou uma solução ácida, e verificou o surgimento de algumas faíscas. Alexandre Volta afirma, então, que o tecido animal seria um mero condutor de eletricidade entre as placas de metais, e que a condição necessária para o surgimento das faíscas dependia apenas do uso de diferentes tipos de metais, e que entre eles existisse um material específico. Baseado nesse princípio, Alexandre Volta, anuncia em 1800 a criação da pilha voltaica. Esse nome se deu por conta desse dispositivo ser formado por uma pilha de discos (Figura 7). Seria então, a primeira fonte de corrente contínua existente, o que facilitaria e muito, o desenvolvimento posterior das teorias do eletromagnetismo.

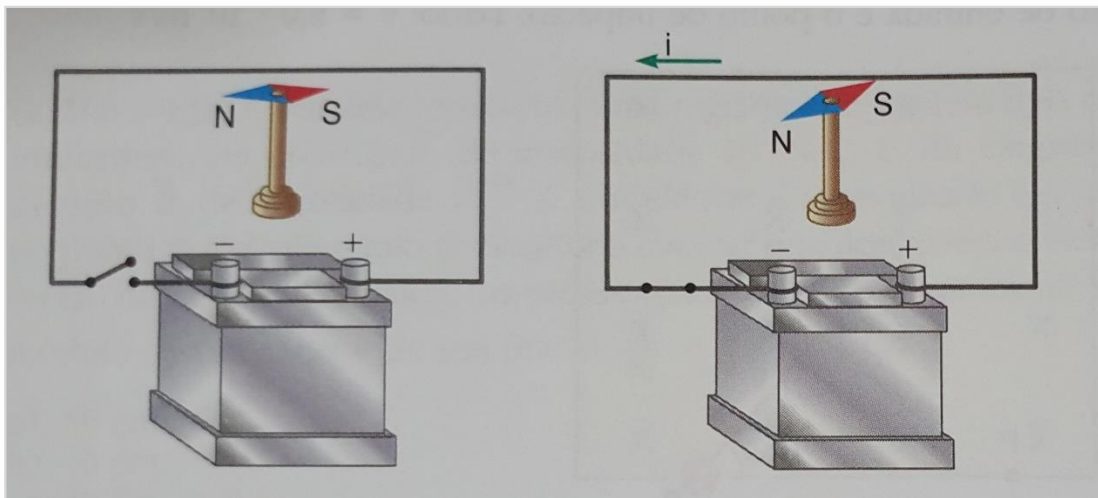
Figura 7 - Pilha de Volta



Fonte: Sampaio e Calçada (2005).

Em 1820, Hans Christian Oersted (1777-1851), observou durante uma aula, que a agulha de uma bússola sofria deflexão quando estava próxima de um condutor percorrido por corrente elétrica, como ilustrado na Figura 8. Ficava evidente então, a conexão entre fenômenos elétricos e magnéticos. Surgia então, o campo do eletromagnetismo.

Figura 8 - Experimento de Oersted. Ao fechar o circuito, Oersted verificou que a passagem da corrente elétrica pelo fio, causava uma deflexão na agulha magnética



Fonte: Adaptado de Sampaio e Calçada (2005).

No mesmo ano, fazendo uso de experimentos, Jean Baptiste Biot (1774-1862) e Félix Savart (1791-1841) formularam a Lei de Biot-Savart, utilizada para calcular a intensidade do campo magnético produzido por uma corrente elétrica. De acordo com a lei de Biot-Savart, a contribuição  $d\vec{B}$  da corrente  $i$  que passa pelo elemento  $d\vec{S}$  para o campo em um ponto P situado a uma distância  $r$  é dada por

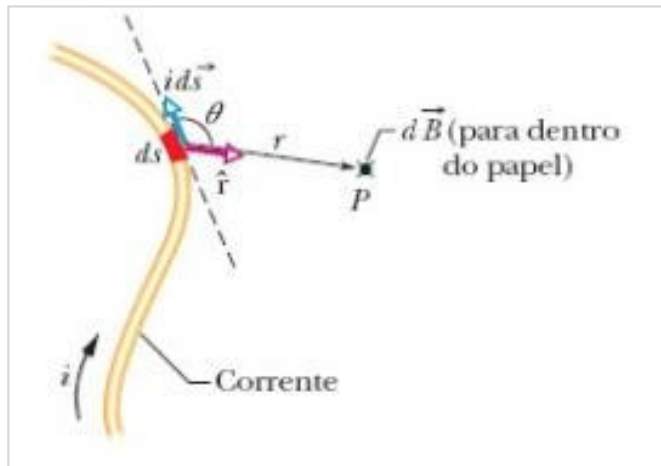
$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{i d\vec{S} \times \hat{r}}{r^2} \quad (2)$$

“ $\hat{r}$ ” é o vetor unitário que liga o elemento de corrente ao ponto P.

$\mu_0$  é a constante de permeabilidade do vácuo:  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ T.m/A}$

Se posicionarmos o polegar na direção de um elemento de corrente e curvamos nossos dedos de forma a envolvê-lo, obteremos a direção do campo magnético naquele ponto. A Figura 9, mostra a direção do campo magnético para “dentro do papel”.

Figura 9 - Campo magnético produzido no ponto P pela carga presente no seguimento do fio

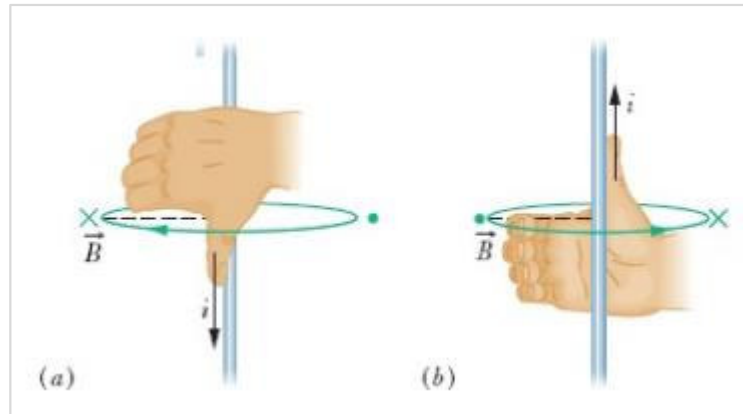


Fonte: Halliday, Resnick e Walker (2016).

Para um fio retilíneo longo, percorrido por uma corrente elétrica  $i$ , a direção do campo magnético é determinada pela regra da mão direita, como ilustrado na Figura 10, onde o polegar é orientado no sentido da corrente elétrica, e os dedos restantes mostram a direção do campo magnético  $\vec{B}$ . A lei de Biot-Savart nos fornece a seguinte função para o cálculo do módulo do campo magnético em um ponto P localizado a uma distância  $r$  do fio:

$$B = \frac{\mu_0 \cdot i}{2\pi \cdot r} \quad (3)$$

Figura 10 - Regra da mão direita para determinação da direção do vetor campo magnético  $\vec{B}$  gerado por um fio percorrido por uma corrente elétrica  $i$ .



Legenda: A regra da mão direita mostra o sentido do campo magnético produzido pela corrente em um fio. (a) Vista lateral do resultado da aplicação da regra da mão direita à corrente no fio retilíneo da Figura 10. O campo magnético em qualquer ponto à esquerda do fio é perpendicular à reta tracejada e aponta para dentro do papel, no sentido da ponta dos dedos, como indica o símbolo  $\times$ . (b) Quando o sentido da corrente é invertido, o campo  $\vec{B}$  em qualquer ponto à esquerda do fio continua a ser perpendicular à reta tracejada, mas passa a apontar para fora do papel, como indica o símbolo  $\bullet$ . Fonte: Halliday, Resnick e Walker (2016).

Em qualquer distribuição de correntes que ofereça simetria, o cálculo do campo magnético devido essa distribuição, se torna mais simples se aplicarmos a lei de Ampère. A lei de Ampère, é dada por:

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{S} = \mu_0 i_{env} \quad (4)$$

O círculo no sinal de integral indica que a integração do produto escalar  $\vec{B} \cdot d\vec{S}$ , deve ser realizada para uma curva fechada, conhecida como amperiana. A corrente  $i_{env}$  é a corrente total envolvida pela curva fechada. Em 1822, André Marie Ampère (1775-1836), divulga a regra para indicar a direção do campo magnético criado por um condutor percorrido por corrente elétrica. Em suas observações, Ampère verificou também que fios paralelos percorridos por corrente no mesmo sentido se repeliam, e que fios paralelos percorridos por corrente em sentidos contrários se atraíam. Além disso, observou que solenóides atuam como ímãs em forma de barra.

Em 1831, Michael Faraday (1791-1867), verificou que ao variar um campo magnético ao redor de um fio condutor, uma corrente elétrica induzida surgia nesse

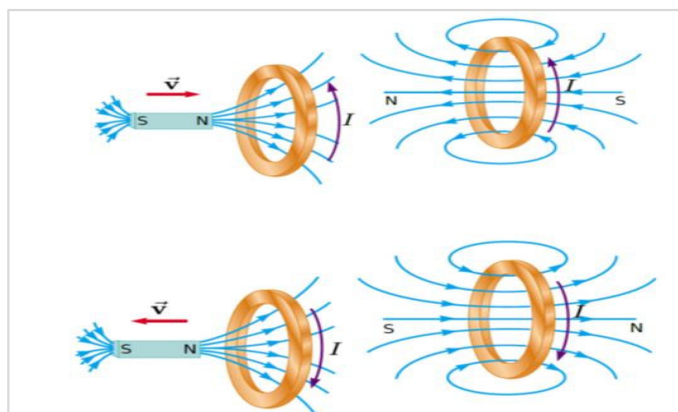
fi. Faraday descobre então o fenômeno da indução magnética. Em sua teoria, Faraday introduz o conceito de linhas de força e de fluxo magnético “ $\Phi_B$ ”. O fluxo magnético calcula a intensidade das linhas de força que atravessam o interior de uma espira de área “ $A$ ”. Seria necessária uma variação do fluxo magnético para que uma força eletromotriz induzida “ $\varepsilon$ ” e uma corrente induzida surgisse na espira.

$$\Phi_B = \int \vec{B}_n \cdot d\vec{A} \quad (5)$$

A Lei de Faraday, define que o módulo da força eletromotriz  $\varepsilon$  induzida em uma espira condutora é igual à taxa de variação com o tempo do fluxo magnético  $\Phi_B$  que atravessa a espira. Coube a Heinrich Friedrich Emil Lenz (1804-1865), em 1833, através de sua teoria (Lei de Lenz), esclarecer como seria o sentido da corrente induzida. Lenz introduziu um sinal negativo na equação de Faraday pois observou que a corrente induzida em uma espira, tem um sentido tal que o campo magnético produzido pela corrente se opõe ao campo magnético que induz a corrente, como ilustra a Figura 11. Assim temos a Lei de Faraday-Lenz:

$$\varepsilon = - \frac{d\Phi_B}{dT} \quad (6)$$

Figura 11 - Sentido da corrente e do campo magnético induzido, ao aproximar e afastar o ímã de uma espira



Fonte: Soares (2014).

Em 1864, James Clerk Maxwell (1831-1879), divulga a “*Teoria dinâmica do campo eletromagnético*”, unificando as leis de Coulomb, Ampère, Faraday e Lenz. Maxwell foi o primeiro cientista a prever que a luz seria uma onda eletromagnética, ao mostrar em 1865 que a luz e as ondas eletromagnéticas possuíam a mesma velocidade. Em 1873 publicou seu “Tratado sobre eletricidade e magnetismo”. Em 1884, Heinrich Rudolf Hertz (1857-1894), rederivou as equações de Maxwell, deixando-as na forma que conhecemos hoje.

## **4 PRODUTO EDUCACIONAL**

### **4.1 Descrição do produto educacional**

O produto educacional proposto, é constituído de um guia de atividades experimentais para o ensino de eletrostática. Para a realização das atividades experimentais, é disponibilizada a lista com os materiais necessários para a confecção dos instrumentos, instruções para a realização das atividades, assim como as teorias físicas que envolvem cada atividade proposta. Nessas atividades experimentais vários conceitos de eletrostática são trabalhados: carga elétrica, processos de eletrização, condutores e isolantes, potencial elétrico, campo elétrico, configuração de linhas de força, poder das pontas, ruptura dielétrica, condutor em equilíbrio eletrostático, dentre outros. Ao todo são 7 tipos de instrumentos construídos para a realização das atividades experimentais: eletroscópio retangular, eletroscópio de casca cilíndrica, eletroscópio de 2 bases, eletróforo, capacitor cilíndrico, garrada de Leyden e gerador de Van de Graaff. As 18 atividades experimentais apresentadas se enquadram como atividades experimentais de verificação (ARAÚJO; ADIB, 2003). Nesse tipo de atividade experimental, o objetivo principal é a verificação de leis e fenômenos. O papel do professor nesse tipo de atividade é de acompanhamento e orientação, pois o aluno participa ativamente do processo de confecção e manipulação dos experimentos.

O ponto de destaque do produto educacional é o gerador de Van de Graaff, um equipamento de custo elevado se adquirido em sites de vendas de produtos de laboratório, mas que na proposta apresentada é confeccionado com materiais de baixo custo. Esse instrumento oferece ao professor uma gama de possibilidades para o trabalho em sala de aula, como demonstrado no produto educacional anexado à essa dissertação. Na Tabela 1, são apresentadas todas as atividades experimentais propostas, o instrumento necessário para as suas realizações, assim como a teoria física envolvida em cada uma dessas atividades.

Tabela 1 - Atividades experimentais apresentadas no produto educacional

| <b>INSTRUMENTO<br/>NECESSÁRIO</b>       | <b>ATIVIDADE<br/>EXPERIMENTAL</b>                                      | <b>CONTEÚDO(S)<br/>PROPOSTO(S)</b>                                                      |
|-----------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Eletroscópio retangular</b>          | Carregando o eletroscópio por contato                                  | Eletrização por atrito, eletrização por contato                                         |
| <b>Eletroscópio retangular</b>          | Comportamento condutor ou isolante em materiais sólidos                | Eletrização por atrito, eletrização por contato, materiais condutores e isolantes       |
| <b>Eletroscópio retangular</b>          | Comportamento condutor ou isolante em líquidos                         | Eletrização por atrito, eletrização por contato, materiais condutores e isolantes       |
| <b>Eletroscópio retangular</b>          | Ruptura dielétrica do ar                                               | Eletrização por atrito, eletrização por contato, rigidez dielétrica, ruptura dielétrica |
| <b>Eletroscópio de casca cilíndrica</b> | Eletrizando o eletroscópio de casca cilíndrica                         | Eletrização por atrito, eletrização por contato.                                        |
| <b>Eletroscópio de casca cilíndrica</b> | Eletrizando a casca cilíndrica por indução.                            | Eletrização por indução.                                                                |
| <b>Eletroscópio de 2 bases</b>          | Eletrizando o eletroscópio de 2 bases                                  | Eletrização por atrito, eletrização por contato.                                        |
| <b>Eletroscópio de 2 bases</b>          | Dobrando um retângulo de papel eletrizado                              | Condutor em equilíbrio eletrostático.                                                   |
| <b>Eletróforo</b>                       | Eletrizando o coletor de carga                                         | Eletrização por atrito, eletrização por indução.                                        |
| <b>Capacitor cilíndrico</b>             | Carregando o capacitor cilíndrico                                      | Capacitores, eletrização por atrito, rigidez dielétrica, ruptura dielétrica.            |
| <b>Capacitor cilíndrico</b>             | Descarregando o capacitor                                              | Rigidez dielétrica, ruptura dielétrica.                                                 |
| <b>Gerador de Van de Graaff</b>         | Cálculo do potencial na superfície externa da cúpula do GVDG           | Campo elétrico, rigidez dielétrica, ruptura dielétrica.                                 |
| <b>Gerador de Van de Graaff</b>         | Cálculo da quantidade de carga acumulada na cúpula de descarga do GVDG | Potencial elétrico, quantidade de carga.                                                |
| <b>Gerador de Van de Graaff</b>         | Testando a extensão da faísca produzida pelo do GVDG                   | Campo elétrico, rigidez dielétrica, ruptura dielétrica.                                 |
| <b>Gerador de Van de Graaff</b>         | Linhas de força em um dipolo elétrico                                  | Linhas de força, dipolo elétrico, polarização.                                          |



|                                 |                                                                  |                                                                       |
|---------------------------------|------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| <b>Gerador de Van de Graaff</b> | Linhas de força entre dois eletrodos com cargas de mesmo sinal   | Linhas de força                                                       |
| <b>Gerador de Van de Graaff</b> | Linhas de força entre dois eletrodos planos e paralelos entre si | Linhas de força, campo elétrico uniforme, superfícies equipotenciais. |
| <b>Gerador de Van de Graaff</b> | Blindagem eletrostática                                          | Blindagem eletrostática, condutor em equilíbrio eletrostático.        |

## 4.2 Local de aplicação

O produto educacional foi aplicado no ano de 2018, em uma turma de 3º ano do ensino médio, do turno vespertino, da Unidade Escolar Marcos Parente, localizada na cidade de União-PI. A escolha por essa unidade de ensino, se dá pelo fato de ser a única turma de 3º ano do ensino médio onde me encontrava lotado, já que o produto educacional proposto, está relacionado exatamente à conteúdos de eletrostática. A turma possui um total de 29 alunos. Um fato a ser destacado é que a maior parte desses alunos vem de localidades distantes, e que dependem de ônibus contratados pelo governo estadual para chegar até a escola. Por conta da constante falta de transporte para esse deslocamento, houve uma certa dificuldade em incluir todos os alunos, em todos os momentos da aplicação do produto educacional, o que, no entanto, não comprometeu o resultado final do trabalho.

## 4.3 Método de aplicação

O método de aplicação do produto educacional é baseado no modelo de atividade experimental de verificação, proposto por Araújo e Adib (2003), descrito anteriormente. Durante as atividades, os alunos foram separados em grupos de 3 ou 4 alunos, a depender da quantidade de presentes nos momentos em que as atividades eram desenvolvidas. É importante ressaltar que as montagens experimentais descritas no produto educacional, foram confeccionadas com materiais alternativos, e que na maior parte deles, o custo é nulo. Os alunos participaram ativamente da

construção e manipulação dos experimentos. Para análise e confrontação de dados e resultados, dois testes de abordagem quantitativa foram aplicados com a intenção de analisar a eficiência do método. O primeiro teste foi composto de 10 questões relacionadas aos fenômenos e conceitos abordados nas atividades experimentais. O segundo teste trouxe questionamentos com a intenção de verificar o grau de satisfação dos alunos com a metodologia aplicada. Na Figura 12, temos uma fotografia de um dos encontros realizados para aplicação do produto educacional.

Figura 12 – Encontro para aplicação do produto educacional



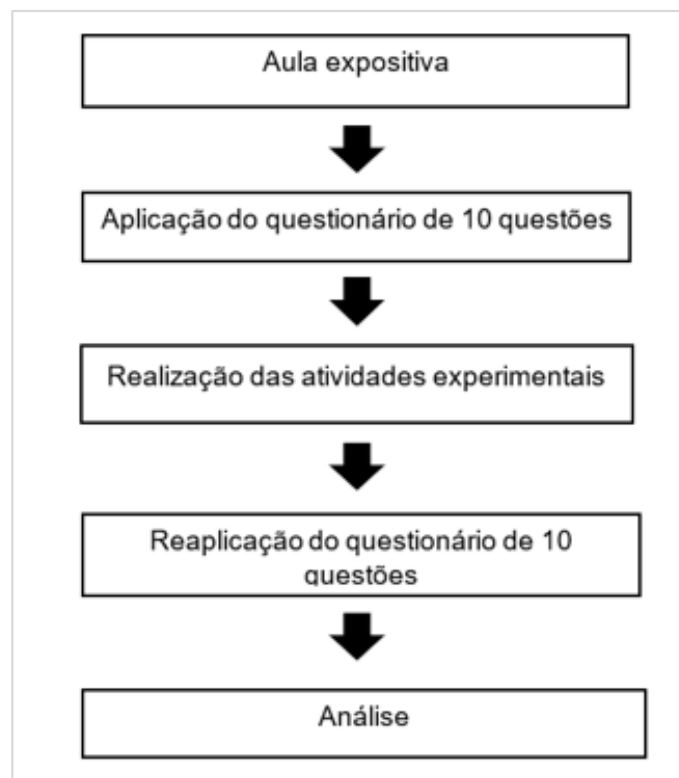
Fonte: Autoria própria, 2020.

#### 4.4 Etapas de aplicação do produto educacional

A aplicação do produto educacional ocorreu entre os meses de março e agosto do ano de 2018. Esse tempo demorado, se deve ao fato de que houve um movimento de greve por parte dos professores da rede estadual do Piauí, que perdurou durante 80 dias. Durante esse tempo, a escola manteve-se com suas atividades paralisadas em sua totalidade, impedindo a aplicação do produto educacional em um tempo menor. A sequência didática iniciou-se com a abordagem

dos conteúdos de eletrostática, que iam desde o conceito de carga elétrica, até o conteúdo de potencial elétrico. Esses conteúdos foram trabalhados com os alunos inicialmente, através de aulas expositivas, com uso do quadro e eventualmente de slides. No final de cada capítulo, uma atividade de fixação era aplicada. Essas atividades continham questões abertas e fechadas que abordavam os conteúdos ministrados. O fluxograma mostrado na Figura 13 demonstra a sequência de etapas de aplicação do produto educacional. A Tabela 2 mostra os conteúdos trabalhados em sala de aula antes da aplicação das atividades experimentais.

Figura 13 - Fluxograma mostrando as etapas de aplicação do produto educacional



Fonte: Autoria própria, 2020.

Tabela 2 - Conteúdos de eletrostática trabalhados antes da aplicação do produto educacional

| CAPÍTULO   | CONTEÚDO GERAL                        | CONTEÚDO ESPECÍFICO                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|------------|---------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| CAPÍTULO 1 | Introdução à Eletrostática            | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Carga elétrica</li> <li>- Condutores e isolantes</li> <li>- Princípios da eletrostática</li> <li>- Processos de eletrização</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                         |
| CAPÍTULO 2 | Lei de Coulomb                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Força elétrica</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| CAPÍTULO 3 | Campo Elétrico                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Vetor campo elétrico</li> <li>- Campo elétrico de uma carga puntiforme</li> <li>- Campo elétrico criado por várias cargas puntiformes</li> <li>- Linhas de força</li> <li>- Campo elétrico uniforme</li> </ul>                                                                                                                                                 |
| CAPÍTULO 4 | Potencial Elétrico                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Potencial elétrico devido a uma carga puntiforme</li> <li>- Potencial elétrico devido a várias cargas puntiformes</li> <li>- Diferença de potencial elétrico</li> <li>- Trabalho da força elétrica</li> <li>- Propriedades do potencial elétrico</li> <li>- Diferença de potencial em campo elétrico uniforme</li> <li>- Superfícies equipotenciais</li> </ul> |
| CAPÍTULO 5 | Condutores e Capacidade Eletrostática | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Condutor em equilíbrio</li> <li>- Propriedades dos condutores</li> <li>- Potencial elétrico de um condutor esférico</li> <li>- Capacidade eletrostática ou capacitância</li> <li>- Capacitores</li> </ul>                                                                                                                                                      |

Ao final dos conteúdos trabalhados, um questionário com 10 questões (Apêndice B), que abordavam os conteúdos trabalhados anteriormente, foi aplicado. Nas aulas seguintes, iniciamos a aplicação do produto educacional em si (Apêndice A), com a confecção dos experimentos propostos e por conseguinte, com a aplicação

das atividades experimentais. Após a confecção dos experimentos e aplicação das atividades experimentais, o mesmo questionário aplicado antes dos experimentos, foi aplicado novamente, com a intenção de verificar se houve melhora no processo de ensino-aprendizagem dos alunos. Um segundo questionário foi aplicado posteriormente a esse (Apêndice C). Esse questionário, continha questionamentos acerca do grau de satisfação e envolvimento dos alunos com a aplicação do produto educacional. A Tabela 3, mostra a quantidade de aulas necessárias para a aplicação do produto educacional.

Tabela 3: Cronograma de aplicação do produto educacional

| <b>CRONOGRAMA DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA A APLICAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL</b> |                                                    |
|---------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| Abordagem dos conteúdos em sala de aula e aplicação das atividades de fixação   | Tempo necessário: 8 horas-aula de 50 minutos cada. |
| Aplicação do questionário de 10 questões                                        | Tempo necessário: 1 hora-aula de 50 minutos.       |
| Confecção dos experimentos                                                      | Tempo necessário: 4 horas-aula de 50 minutos cada. |
| Realização das atividades experimentais                                         | Tempo necessário: 6 horas-aula de 50 minutos cada. |
| Reaplicação do questionário de 10 questões                                      | Tempo necessário: 1 hora-aula de 50 minutos.       |
| Aplicação do questionário de satisfação com o método                            | Tempo necessário: 1 hora-aula de 50 minutos.       |
| <b>Tempo total</b>                                                              | <b>21 horas-aula de 50 minutos cada</b>            |

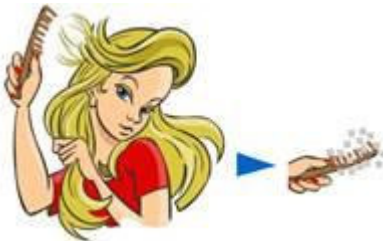
É importante ressaltar que, idealmente, essas atividades experimentais sejam trabalhadas durante a abordagem dos conteúdos em sala de aula. O método utilizado pelo autor, em aplicar essas atividades somente após os conteúdos trabalhados, teve como objetivo comparar a aprendizagem dos alunos, antes e depois das atividades

experimentais, verificando assim se houve melhoria no processo de ensino-aprendizagem.

#### 4.5 Análise de resultados

Neste capítulo é feita uma análise dos resultados da aplicação do produto educacional. Os gráficos mostrados abaixo mostram um comparativo entre a porcentagem de acerto das questões antes e depois da aplicação do produto educacional, ressaltando que os conteúdos de eletrostática abordados (Tabela 2), foram trabalhados inicialmente em aulas expositivas, e posteriormente trabalhados nas atividades experimentais. Considerando que o questionário de 10 questões foi aplicado para todos os 29 alunos da turma, teremos em cada questão a possibilidade de 29 acertos possíveis. No geral teremos então a possibilidade de 290 acertos possíveis. Abaixo será feita essa análise individualmente para cada questão.

QUESTÃO 01 - Uma aluna de cabelos compridos, num dia bastante seco, percebe que depois de penteá-los o pente utilizado



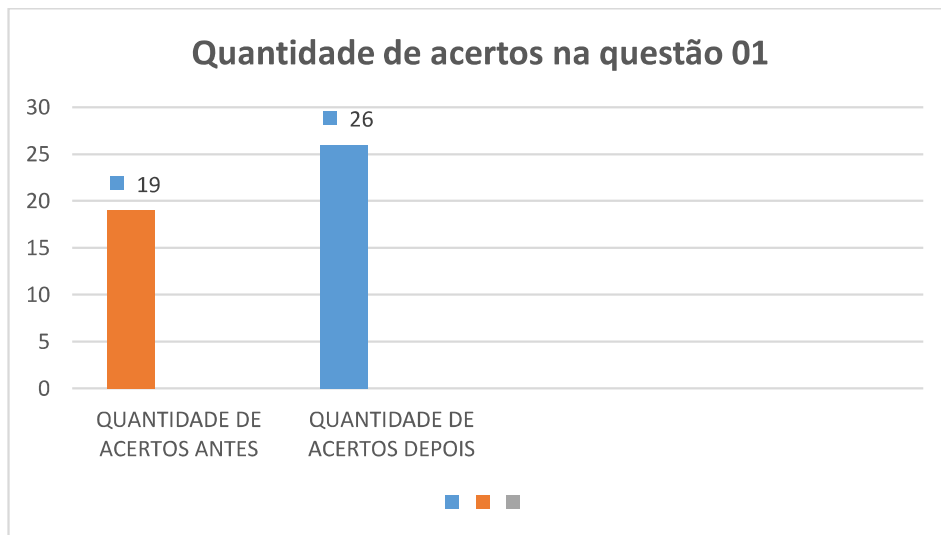
atrai pedaços de papel. Isto ocorre porque:

- a) o pente se eletrizou por atrito.
- b) os pedaços de papel estavam eletrizados.
- c) o papel é um bom condutor elétrico.
- d) há atração gravitacional entre o pente e os pedaços de papel.
- e) o pente é um bom condutor elétrico.

Na questão 01, aborda-se o processo de eletrização por atrito. Espera-se que o aluno consiga identificar que o fato de o pente atrair os pedaços de papel, se deve

ao fato do pente ter sido eletrizado por atrito com o cabelo, e além disso, entender que o corpo eletrizado atrai um corpo neutro por indução. Esse processo foi abordado durante as atividades experimentais com o uso do eletroscópio. Alternativa correta para essa questão: letra A. Durante a correção da questão, feita posteriormente, foi observado que os alunos de forma geral, entendiam o processo de eletrização por atrito, mas ao mesmo tempo mostraram uma pequena dificuldade no entendimento do processo de indução. O Gráfico 1, apresenta a quantidade de acertos dessa questão antes e depois da aplicação do produto educacional.

Gráfico 1 - Acertos na questão 01 antes e depois da aplicação do produto educacional



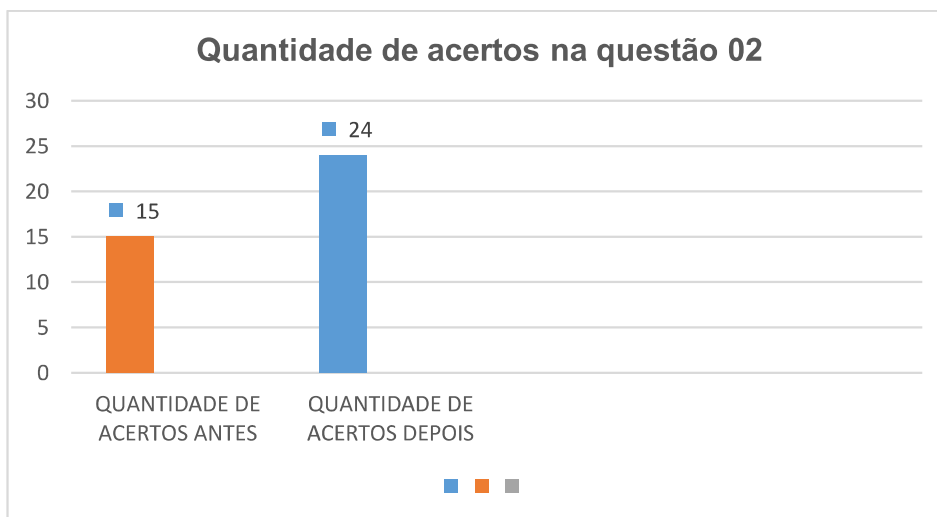
QUESTÃO 02 - Atritando vidro com lã, o vidro se eletriza com carga positiva e a lã com carga negativa. Atritando algodão com enxofre, o algodão adquire carga positiva e o enxofre, negativa. Porém, se o algodão for atritado com lã, o algodão adquire carga negativa e a lã, positiva. Quando atritado com algodão e quando atritado com enxofre, o vidro adquire, respectivamente, carga elétrica:

- a) positiva e positiva.
- b) positiva e negativa.
- c) negativa e positiva.
- d) negativa e negativa.
- e) negativa e nula.



Na questão 2, espera-se que o aluno compreenda além do processo de eletrização por atrito, o fato de o mesmo corpo se eletrizar com cargas de sinais diferentes, a depender do material do outro corpo ao qual é atritado, tomando como base a série triboelétrica. Esse conceito foi discutido nas atividades experimentais envolvendo o eletroscópio, como também nas atividades experimentais envolvendo o gerador de Van der Graaff. Alternativa correta para essa questão: letra A. Após a correção da questão, observou-se que os alunos compreendiam o processo de eletrização por atrito, mas tinham dificuldade em entender a série triboelétrica. O Gráfico 2, apresenta a quantidade de acertos dessa questão antes e depois da aplicação do produto educacional.

Gráfico 2 - Acertos na questão 02 antes e depois da aplicação do produto educacional



QUESTÃO 03 - Em certos dias do ano, frequentemente tomamos pequenos "choques" ao fecharmos a porta do carro ou ao cumprimentarmos um colega com um simples aperto de mãos. Em quais circunstâncias é mais provável que ocorram essas descargas elétricas?

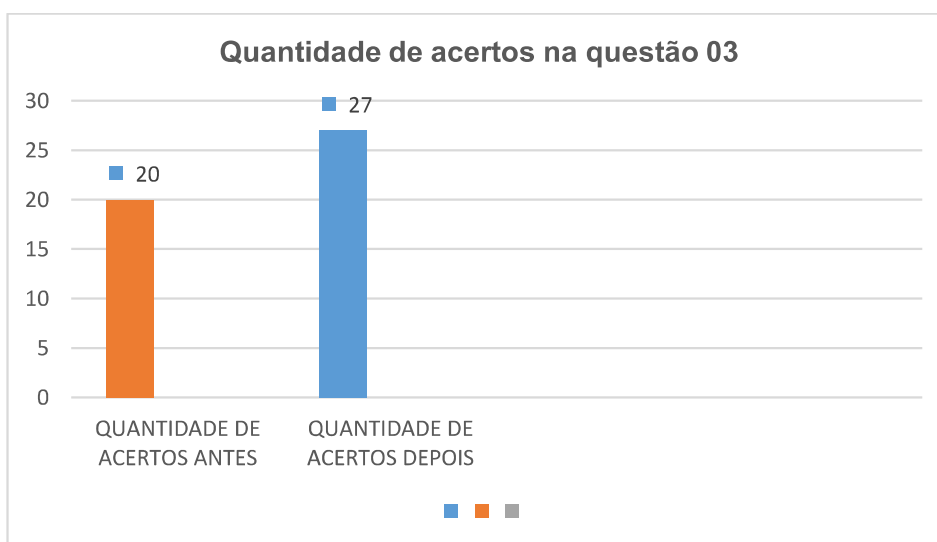
- a) Em dias muito quentes e úmidos, porque o ar se torna condutor.
- b) Em dias secos, pois o ar seco é bom isolante e os corpos se eletrizam mais facilmente.
- c) Em dias frios e chuvosos, pois a água da chuva é ótima condutora de eletricidade.



d) A umidade do ar não influi nos fenômenos da eletrostática, logo essas descargas poderão ocorrer a qualquer momento.

Na questão 03, espera-se que o aluno consiga identificar quais fatores influenciam durante os processos de eletrização. Além disso, essa questão aborda os conceitos de condutores e isolantes, assim como o conceito campo elétrico e de rigidez dielétrica. Essas situações envolvendo a eletricidade estática, assim como os conceitos listados acima, foram abordados durante as atividades experimentais envolvendo o eletroscópio e o gerador de Van de Graaff. Alternativa correta para essa questão: letra B. Nessa questão, foi observado durante a correção uma certa dificuldade em entender o significado da expressão “quente e úmido”. Os alunos de uma forma geral, no seu senso comum, entendiam que o tempo “quente” era o contrário do tempo “úmido”, ou seja, relacionavam o tempo úmido ao tempo chuvoso. Mas, ao mesmo tempo, demonstraram compreender que as condições climáticas interferiam em fenômenos eletrostáticos. O Gráfico 3, apresenta a quantidade de acertos dessa questão antes e depois da aplicação do produto educacional.

Gráfico 3 - Acertos na questão 03 antes e depois da aplicação do produto educacional

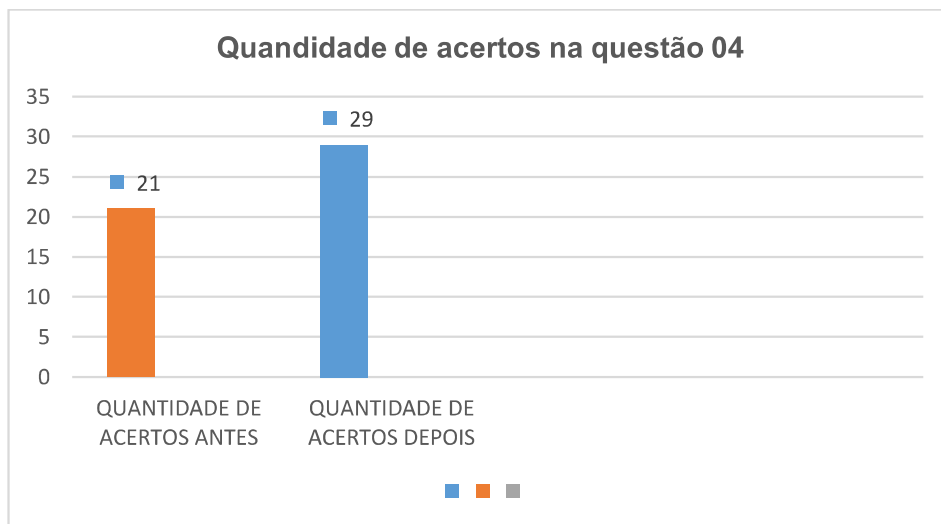


**QUESTÃO 04** - Considere dois corpos sólidos envolvidos em processos de eletrização. Um dos fatores que pode ser observado tanto na eletrização por contato quanto por indução é o fato de que, em ambas:

- a) torna-se necessário manter um contato direto entre os corpos.
- b) deve-se ter um dos corpos ligado temporariamente a um aterramento.
- c) ao fim do processo de eletrização, os corpos adquirem cargas elétricas de sinais opostos.
- d) um dos corpos deve, inicialmente, estar carregado eletricamente.
- e) para ocorrer, os corpos devem ser bons condutores elétricos.

Espera-se na questão 04, que os alunos consigam identificar os processos de eletrização por contato e indução, entendendo que, diferente da eletrização por atrito onde dois corpos neutros são eletrizados, por contato e indução é necessário que um dos corpos esteja previamente eletrizado. Alternativa correta para essa questão: letra D. Nessa questão foi observado que os alunos de uma forma geral compreendiam os processos de eletrização por contato e por indução, mas ao mesmo tempo, demonstraram ter uma dificuldade em identificar a semelhança entre os dois processos. O Gráfico 4, apresenta a quantidade de acertos dessa questão antes e depois da aplicação do produto educacional.

Gráfico 4 - Acertos na questão 04 antes e depois da aplicação do produto educacional



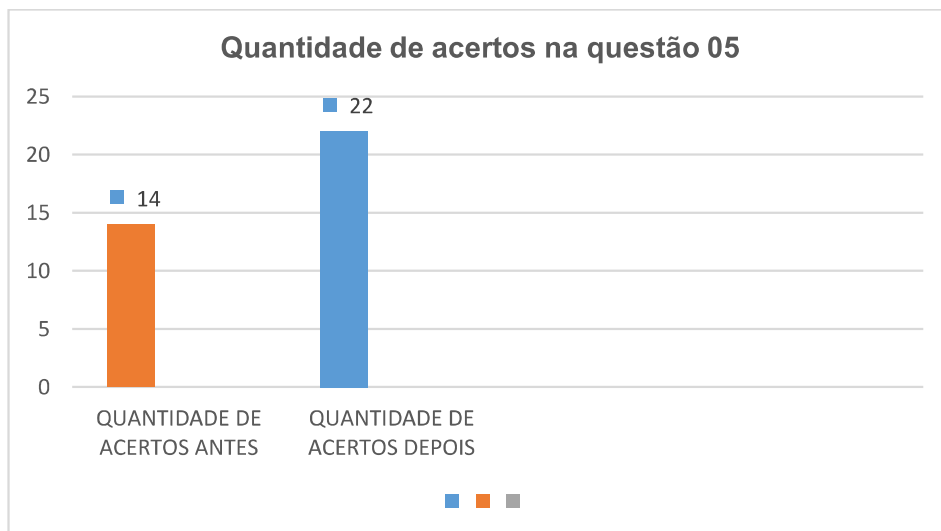
QUESTÃO 05 - A capacidade eletrostática (ou capacitância) de um capacitor plano depende, entre outros, do(s) seguinte(s) parâmetro(s):

- A) Da carga armazenada.
- B) Da diferença de potencial entre as placas do capacitor.

- C) Da carga e da diferença de potencial.
- D) Da distância entre as placas do capacitor.
- E) Da carga e da distância entre as placas do capacitor.

Espera-se na questão 05 que o aluno consiga identificar a estrutura do capacitor, o seu princípio de funcionamento, e principalmente os fatores que influenciam na sua capacidade de armazenar cargas elétricas. Um modelo alternativo de capacitor cilíndrico foi construído no produto educacional, a fim de identificar a sua estrutura e o seu funcionamento. Alternativa correta para essa questão: letra D. Nessa questão foi observado que os alunos compreendiam de uma forma geral a função de um capacitor, que é a de armazenar cargas elétricas, mas ao mesmo tempo, demonstraram uma grande dificuldade em identificar os fatores que determinavam a capacitância do capacitor. O Gráfico 5, apresenta a quantidade de acertos dessa questão antes e depois da aplicação do produto educacional.

Gráfico 5 - Acertos na questão 05 antes e depois da aplicação do produto educacional



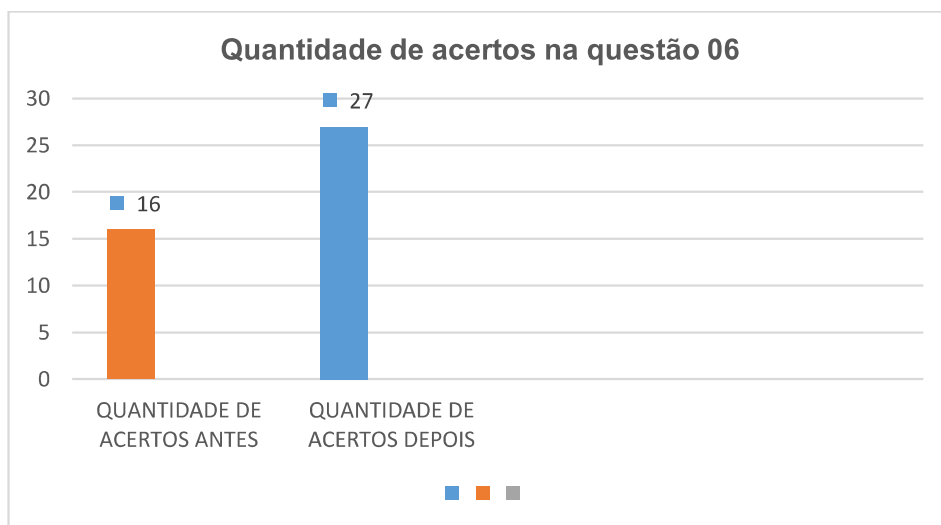
**QUESTÃO 06** - As linhas de força de um campo elétrico são um modo conveniente de visualizar o campo elétrico e indicam a direção do campo em qualquer ponto. Leia as opções abaixo e assinale a afirmativa **INCORRETA**.

- a) O número de linhas que saem ou que entram numa carga puntiforme é proporcional ao valor da carga elétrica.

- b) As linhas de força saem da carga negativa e entram na carga positiva.
- c) As linhas de força saem da carga positiva e entram na carga negativa.
- d) O número de linhas por unidade de área perpendicular às linhas é proporcional à intensidade do campo.

Na questão 06, espera-se que o aluno tenha a compreensão de que as linhas de força representam uma maneira simples e objetiva de identificar o campo elétrico em uma região do espaço, identificando as diferentes configurações dessas linhas de força. Esse conceito foi abordado com muito sucesso nos experimentos de linhas de força, fazendo uso do gerador de Van der Graaff. Alternativa correta para essa questão: letra B. Nessa questão verificou-se um bom entendimento da relação entre a concentração de linhas de força e a intensidade da carga que gera o campo elétrico. O Gráfico 6, apresenta a quantidade de acertos dessa questão antes e depois da aplicação do produto educacional.

Gráfico 6 - Acertos na questão 06 antes e depois da aplicação do produto educacional

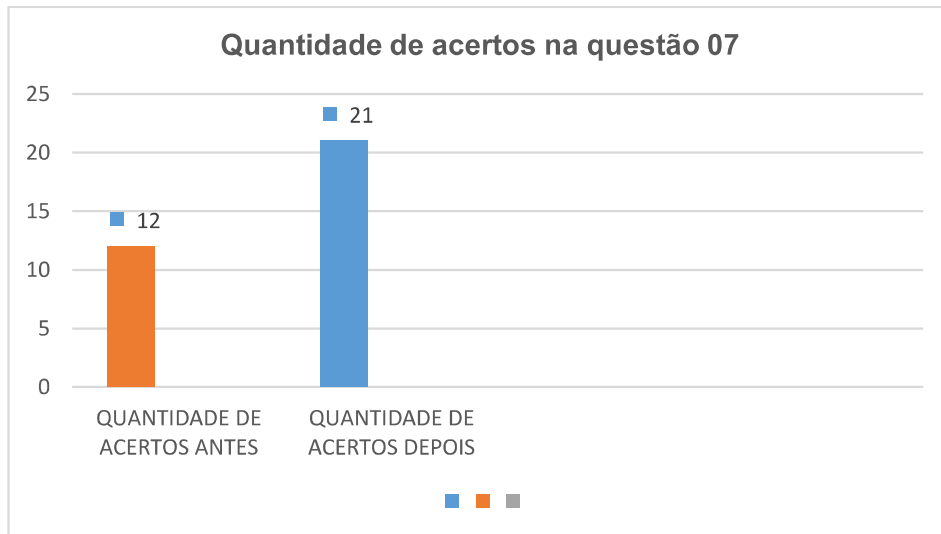


**QUESTÃO 07** - As linhas de força foram idealizadas pelo físico inglês Michael Faraday com o objetivo de visualizar o campo elétrico numa região do espaço. Em cada ponto de uma linha de força, a direção do campo elétrico é tangente à linha. Qual das afirmações abaixo NÃO corresponde a uma propriedade das linhas de força?

- a) As linhas de força de um campo elétrico uniforme são paralelas e equidistantes entre si.
- b) Para uma carga puntiforme positiva, as linhas de força apontam “para fora” da carga.
- c) As linhas de força “convergem” para cargas puntiformes negativas.
- d) Nas vizinhanças da superfície de um condutor isolado e carregado, as linhas de força são perpendiculares à superfície.
- e) As linhas de força do campo elétrico são sempre fechadas.

Na questão 07, aborda-se mais uma vez o conceito de linhas de força, mas dessa vez trazendo situações diferentes. A expectativa é que aluno reconheça que as linhas de força em um campo elétrico uniforme são paralelas entre si, assim como são sempre perpendiculares à superfície de um condutor em equilíbrio eletrostático. Espera-se também, que o aluno tenha assimilado que as linhas de força são sempre abertas e por isso jamais se cruzam. Essas situações foram discutidas durante as atividades experimentais realizadas com o gerador de Van der Graaff. Alternativa correta para essa questão: letra E. Observou-se nessa questão uma dificuldade geral dos alunos em entender o comportamento das linhas de força. Eles demonstraram entender o objetivo das linhas, mas ao mesmo tempo, demonstraram dificuldade no entendimento das disposições das linhas no espaço. O Gráfico 7, apresenta a quantidade de acertos dessa questão antes e depois da aplicação do produto educacional.

Gráfico 7 - Acertos na questão 07 antes e depois da aplicação do produto educacional

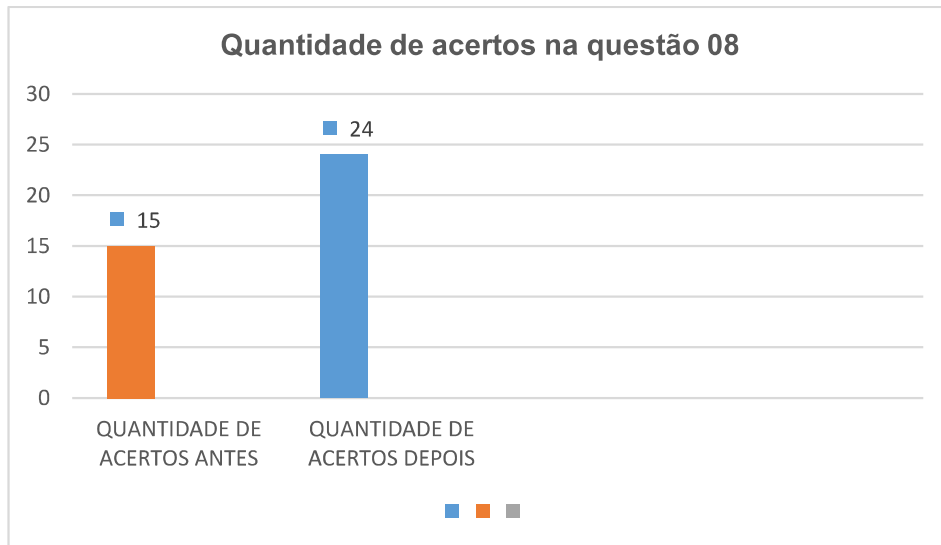


QUESTÃO 08 - A ausência de cargas eletrostáticas no interior de condutores elétricos, quaisquer que sejam as suas formas, está relacionada ao fato de que:

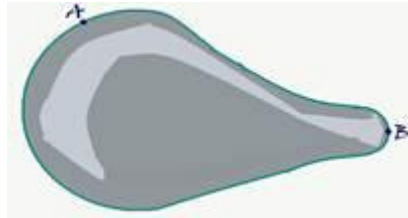
- a) o potencial elétrico é nulo no interior de condutores.
- b) a densidade superficial de cargas é constante.
- c) o campo elétrico é nulo no interior de condutores.
- d) as cargas elétricas não se deslocam facilmente em condutores.
- e) não é possível isolar completamente um condutor

O conceito de condutor em equilíbrio eletrostático foi amplamente trabalhado na aplicação do produto educacional, especialmente na discussão sobre as teorias que envolvem o funcionamento do gerador de Van der Graaff. Espera-se na questão 08, que o aluno reconheça que a ausência de cargas elétricas no interior dos condutores em equilíbrio é uma exigência da lei de Gauss. Alternativa correta para essa questão: letra C. Nessa questão, os alunos demonstraram ter entendimento da definição de condutor em equilíbrio eletrostático, no entanto, foi observado uma certa dificuldade em diferenciar os conceitos de campo elétrico e potencial elétrico relacionados ao condutor em equilíbrio eletrostático. O Gráfico 8, apresenta a quantidade de acertos dessa questão antes e depois da aplicação do produto educacional.

Gráfico 8 - Acertos na questão 08 antes e depois da aplicação do produto educacional



**QUESTÃO 09** - A seção transversal de um condutor em equilíbrio eletrostático carregado positivamente tem uma forma de pêra, conforme mostra a figura. Considere dois pontos A e B em sua superfície e as seguintes informações a seu respeito:



- I. A e B estão submetidos ao mesmo potencial.
- II. O vetor campo elétrico  $\vec{E}$  tem a mesma intensidade em A e B.
- III. O vetor campo elétrico  $\vec{E}$  resultante no interior do condutor é nulo.

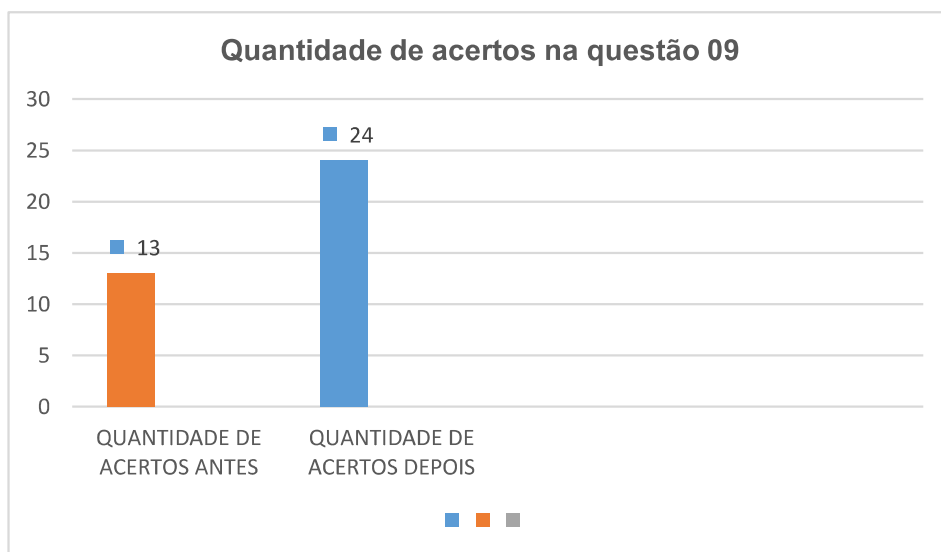
Das afirmativas acima:

- a) Apenas II está correta.
- b) Apenas II e III estão corretas.
- c) Apenas I e II estão corretas.
- d) Apenas I e III estão corretas.
- e) I, II e III estão corretas.

Espera-se na questão 9, que o aluno consiga visualizar o conceito de poder das pontas. Segundo esse princípio, em regiões mais pontiagudas do condutor, a concentração de cargas elétricas é maior, por consequência, o campo elétrico nas

regiões próximas às das pontas é mais intenso. Além disso o aluno deve reconhecer que a superfície de um condutor em equilíbrio eletrostático, é uma superfície equipotencial. Esses conceitos foram abordados tanto nas atividades experimentais com o uso do eletroscópio, como também nas abordagens conceituais do gerador de Van der Graaff e nas respectivas atividades experimentais com seu uso. Alternativa correta para essa questão: letra D. Nessa questão os alunos demonstraram entendimento sobre o conceito de poder das pontas, identificando que nessas regiões pontiagudas o campo elétrico é mais intenso devido à maior concentração de cargas nessa região. Ao mesmo tempo demonstraram dificuldade em diferenciar os conceitos de campo elétrico e potencial elétrico relacionados ao condutor em equilíbrio eletrostático. O Gráfico 9, apresenta a quantidade de acertos dessa questão antes e depois da aplicação do produto educacional.

Gráfico 9 - Acertos na questão 09 antes e depois da aplicação do produto educacional



**QUESTÃO 10** - A rigidez dielétrica corresponde ao maior valor de intensidade do campo elétrico aplicado a um isolante, sem que ele se torne um condutor e varia de um material isolante para outro. No caso do ar, a rigidez dielétrica depende de diversos fatores, dentre eles a pressão, a temperatura, a taxa de crescimento da tensão, a umidade relativa do ar, etc., mas seu valor típico é de aproximadamente 30000V/cm. Assim, quando a intensidade do campo elétrico no ar ultrapassar esse valor, ele deixa



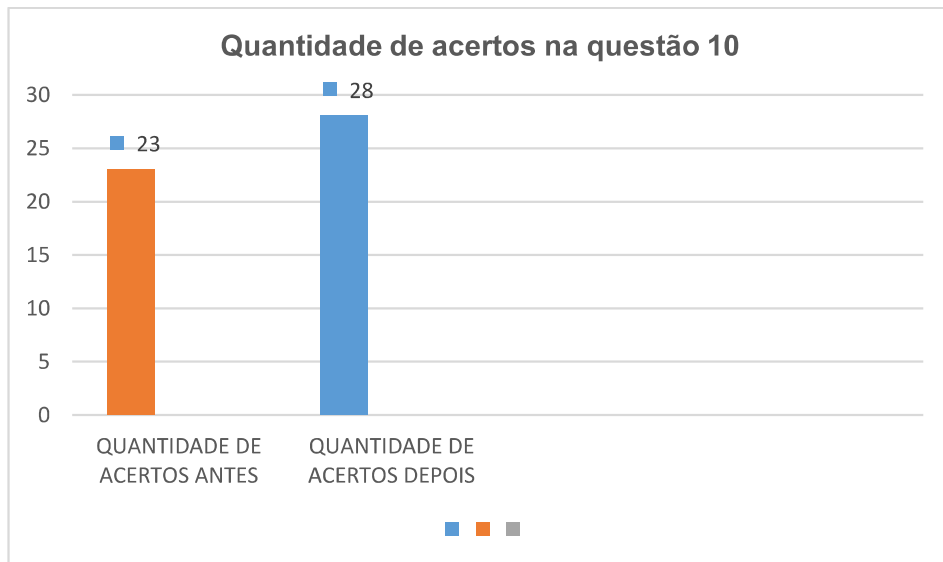
de ser isolante e torna-se condutor. Sabe-se que durante a formação de uma tempestade ocorre separação de cargas elétricas, ficando as nuvens mais baixas eletrizadas negativamente, enquanto as nuvens mais altas se eletrizam positivamente. À medida que a quantidade de cargas elétricas nas nuvens aumenta, a intensidade destes campos vai aumentando, podendo ultrapassar o valor de quebra da rigidez dielétrica do ar. Quando isso acontece, o ar torna-se condutor e uma enorme centelha elétrica (relâmpago) irá saltar de uma nuvem para outra ou de uma nuvem para a Terra. Durante uma tempestade, um raio atinge um ônibus que trafega por uma rodovia. Pode-se afirmar que os passageiros:

- a) não sofrerão dano físico em decorrência desse fato, pois os pneus de borracha asseguram o isolamento elétrico do ônibus.
- b) serão atingidos pela descarga elétrica, em virtude de a carroceria metálica ser boa condutora de eletricidade.
- c) serão parcialmente atingidos, pois a carga será homogeneamente distribuída na superfície interna do ônibus.
- d) não sofrerão dano físico em decorrência desse fato, pois a carroceria metálica do ônibus atua como blindagem.
- e) não serão atingidos, pois os ônibus interurbanos são obrigados a portar um pára-raios em sua carroceria.

A questão 10, aborda dois conceitos importantes da eletrostática: rigidez dielétrica dos materiais e blindagem eletrostática. Espera-se nessa questão que os alunos sejam capazes de compreender que quando o material é submetido a um campo elétrico acima do valor da sua rigidez dielétrica, ele deixa de ser um isolante e passa a ser um condutor, como acontece, por exemplo, com o ar atmosférico durante as tempestades. Além disso, tem-se a expectativa que o aluno reconheça o fenômeno da blindagem eletrostática, que está relacionado ao conceito de condutor em equilíbrio eletrostático. Esses conceitos foram trabalhados tanto nas atividades experimentais envolvendo o eletroscópio, quanto nas atividades experimentais que utilizam o gerador de Van der Graaff. Alternativa correta para essa questão: letra D. Nessa questão os alunos demonstraram facilidade em entender os conceitos de rigidez dielétrica e blindagem eletrostática. Foi observado que os alunos tiveram facilidade no

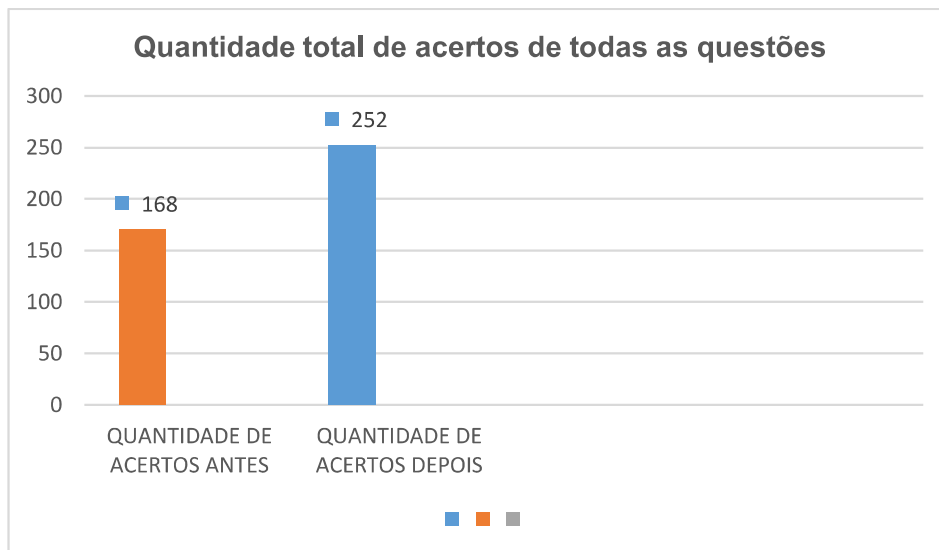
entendimento desses conceitos pelo fato de relacioná-los com situações do seu cotidiano, como por exemplo, o fenômeno dos raios. O Gráfico 10 apresenta a quantidade de acertos dessa questão antes e depois da aplicação do produto educacional.

Gráfico 10 - Acertos na questão 10 antes e depois da aplicação do produto educacional



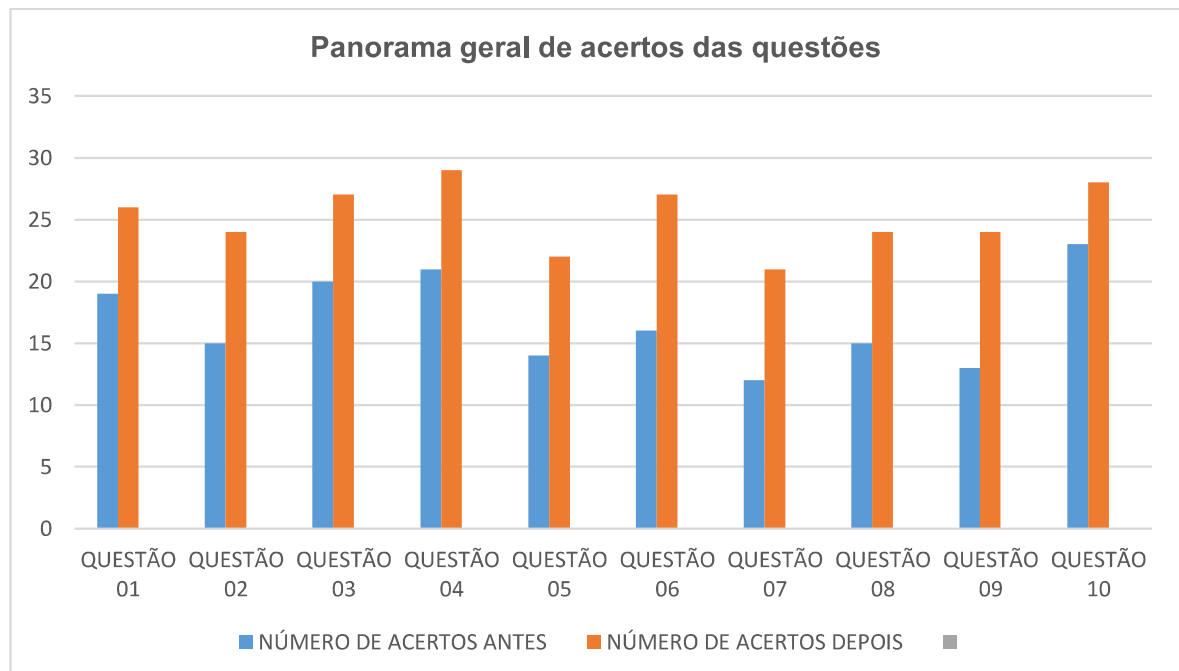
O Gráfico 11, mostra a quantidade total de acertos antes e depois da aplicação do produto educacional, considerando todas as 10 questões.

Gráfico 11 - Quantidade total de acertos de todas as questões



O Gráfico 12 mostra um panorama geral de acertos das questões, antes e depois da aplicação do produto educacional.

Gráfico 12 - Panorama geral de acertos das questões

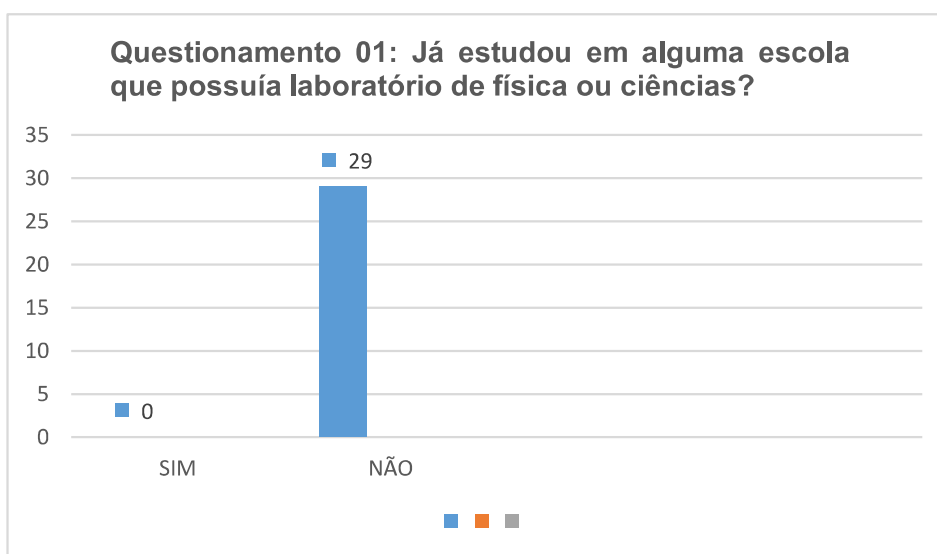


Tomando como base o Gráfico 12, é possível observar uma evolução significativa em relação ao processo de ensino-aprendizagem dos conteúdos de

eletrostática. Antes da aplicação do produto educacional, de um total de 290 questões respondidas, houveram 168 acertos. Após a aplicação do produto educacional e a reaplicação do questionário, o número de acertos aumentou para 252. Em termos percentuais, isso significa uma melhora de 50% em relação à média de acertos das questões antes da aplicação do produto educacional. Após a aplicação do questionário para avaliação da aprendizagem, foi aplicado o questionário qualitativo, com o objetivo de verificar o grau de satisfação dos alunos com a metodologia aplicada. Foram 6 questionamentos no total. Esses questionamentos eram fechados, com opção de marcação em “SIM” ou “NÃO”.

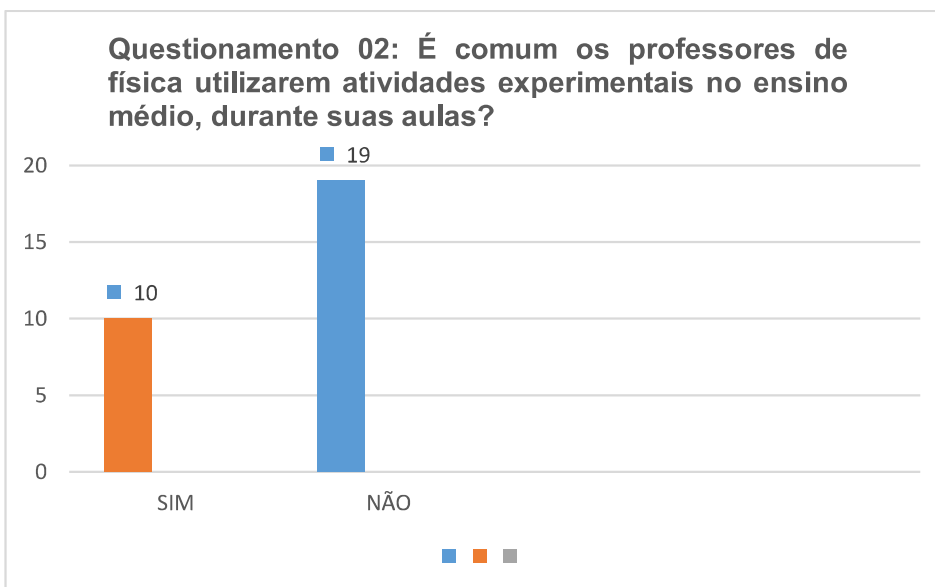
O questionamento 1, buscava saber se eles haviam estudado anteriormente em alguma escola que possuía laboratório de física ou ciências. O Gráfico 13 mostra que nenhum dos 29 alunos havia tido essa oportunidade.

Gráfico 13 - Questionamento 01 - Questionário de satisfação



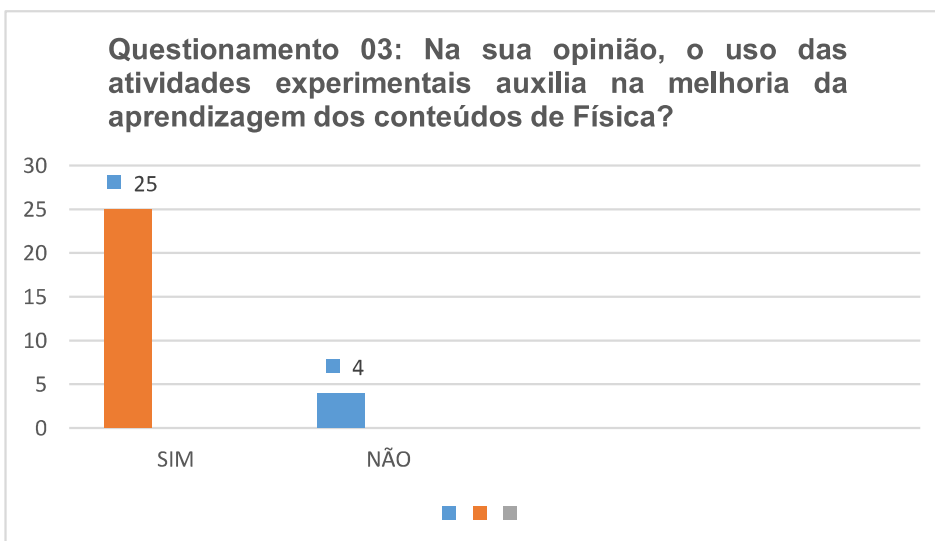
O questionamento 02, buscava saber se as práticas experimentais eram práticas corriqueiras durante as aulas de física no ensino médio. O Gráfico 14 mostra a quantidade de respostas positivas e negativas para esse quesito.

Gráfico 14 - Questionamento 02 - Questionário de satisfação



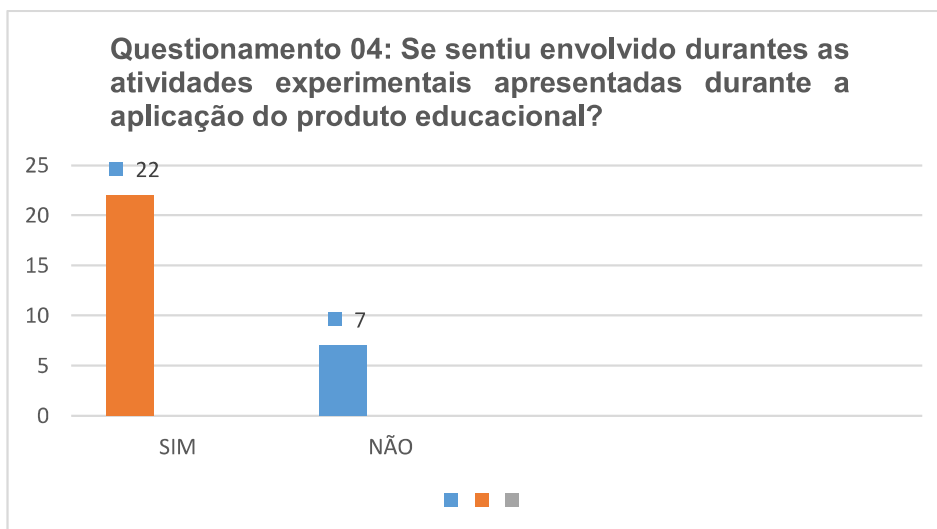
No terceiro questionamento, pede-se ao aluno a opinião sobre a melhoria do processo de ensino-aprendizagem dos conteúdos de Física, com o uso das atividades experimentais. O Gráfico 15 mostra os dados coletados.

Gráfico 15 - Questionamento 03 - Questionário de satisfação



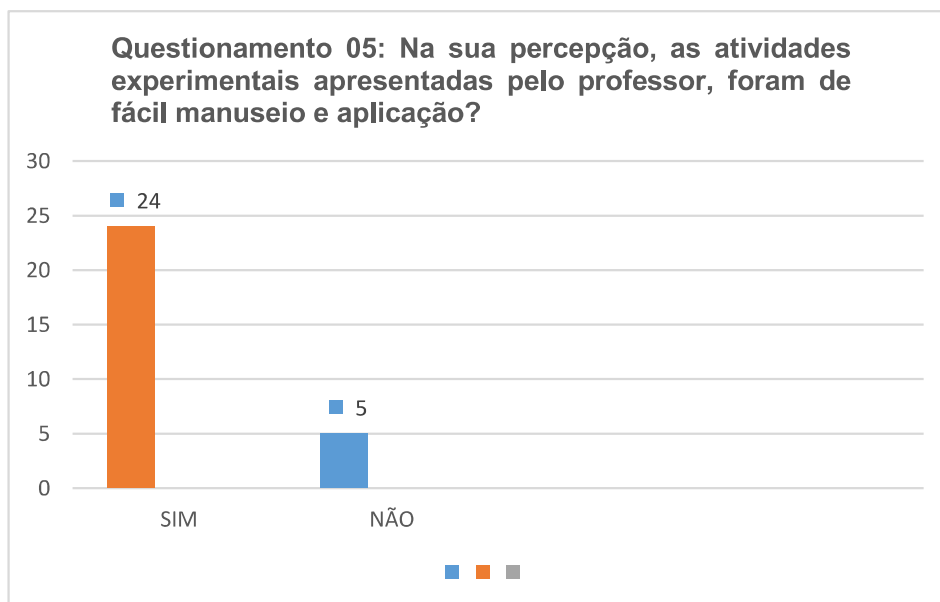
No questionamento 04, busca-se saber se os alunos se envolveram de fato, na realização das atividades experimentais. O Gráfico 16 mostra os resultados encontrados.

Gráfico 16 - Questionamento 04 - Questionário de satisfação



O item 05, questiona se as atividades experimentais apresentadas pelo professor, eram de fácil manuseio e aplicação. O Gráfico 17 ilustra os resultados encontrados.

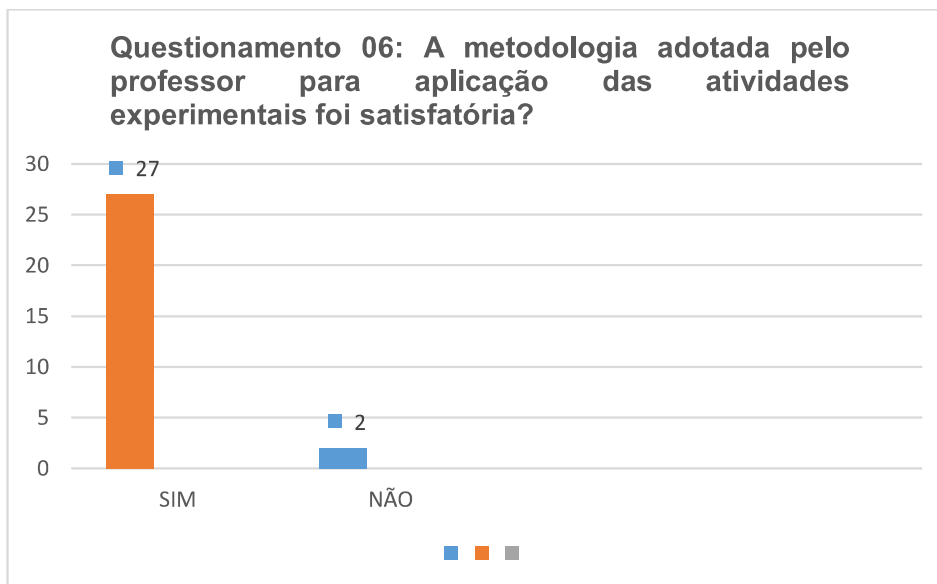
Gráfico 17 - Questionamento 05 - Questionário de satisfação



O questionamento 06, por fim, busca medir o quanto os alunos ficaram satisfeitos com aplicação do método. O Gráfico 18 mostra que dos 29 alunos, 27

mostraram-se satisfeitos, o que representa em termos percentuais um total de aproximadamente 93% dos alunos satisfeitos com a metodologia aplicada.

Gráfico 18 - Questionamento 06 - Questionário de satisfação



No capítulo seguinte, é feito um breve relato sobre as experiências vividas durante a aplicação do produto educacional.

## 5 RELATO SOBRE A APLICAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL

O primeiro relato trazido, se refere aos desafios enfrentados durante a aplicação do produto educacional. O maior deles, sem dúvidas, diz respeito à dificuldade em reunir os alunos para a realização das atividades necessárias para a aplicação do produto. Como dito anteriormente, os alunos do turno vespertino da Unidade Escolar Marcos Parente, vem em sua maioria de localidades afastadas da zona urbana da cidade, dependendo assim, de transporte contratado pelo governo do estado. São constantes as paralizações desse serviço, por conta do atraso no pagamento dos motoristas contratados. Além disso, a paralização grevista dos professores no ano de 2018 da rede estadual de educação do Piauí, teve adesão em massa dos professores da unidade, que em sua grande maioria são professores efetivos, forçando a escola a paralisar totalmente as aulas durante um período de 80 dias. Além disso, devido ao clima quente da cidade, e da falta de ventiladores, por vezes as atividades eram realizadas na biblioteca da escola, que é climatizada. Nos dias de muito calor, e quando a biblioteca estava ocupada, a solução encontrada era realizar as atividades fora da sala de aula, em uma espécie de “pracinha” que se localizava em frente à sala de aula (Figura 14).



Figura 14 - Atividade sendo realizada fora da sala de aula



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Outro desafio a ser superado, diz respeito à falta de experiência dos alunos com práticas experimentais. A grande maioria dos alunos, relatou nunca ter tido qualquer experiência com esse tipo de atividade, ou seja, estavam acostumados com o formalismo corriqueiro dos métodos tradicionais, com aulas estritamente expositivas, ocupando papel de mero receptor no processo de ensino-aprendizagem. As dificuldades encontradas nesse aspecto, dizem respeito principalmente a seguir o roteiro das atividades e à manipulação dos experimentos. Era necessário a minha supervisão constante, para auxiliá-los nesses quesitos.

Por outro lado, a alguns pontos positivos a se destacar. A mudança para uma postura mais participativa durante essas atividades, a melhoria da receptividade com os mesmos conteúdos abordados anteriormente de forma expositiva, a maior integração entre os alunos e a melhoria da aprendizagem, foram fatores que de fato evidenciaram a satisfação e o contentamento com as atividades experimentais propostas no produto educacional. Abordar os conteúdos vistos anteriormente através dos métodos tradicionais, através da experimentação, fez com que os alunos demonstrassem de forma clara o quanto essas atividades experimentais os agradava. Vários eram os questionamentos feitos durante a abordagem conceitual dos experimentos, questionamentos esses que não eram feitos durante as aulas expositivas. A sensação que se tinha no momento da montagem dos experimentos e

da realização das atividades, era de um envolvimento muito grande dos alunos, mostrando-se sempre dispostos a realizarem as atividades, na busca constante por mais descobertas.

As montagens dos eletroscópios, eletróforo, capacitor cilíndrico e garrafa de Leyden foram feitas sem maiores problemas, por conta principalmente da facilidade em realizar essas montagens. No caso do Gerador de Van der Graaff, todas as peças foram levadas já confeccionadas, sendo realizada apenas a montagem simples dos seus componentes na biblioteca da escola. As atividades experimentais feitas com o uso do gerador de Van der Graaff, apresentaram um certo grau de dificuldade em serem realizadas, por conta do alto índice de umidade relativa do ar naquela época. É importante observar, que esse “imprevisto”, foi importante para levantar as situações que influenciam nos experimentos de eletrostática.

Após o término de todas as atividades propostas e da reaplicação do questionário de 10 questões, foi aplicado o questionário que buscava analisar a satisfação dos alunos com o método aplicado. Todas os experimentos construídos, inclusive o gerador de Van der Graaff, foi deixado à disposição da escola, com o intuito de possibilitar que outras turmas pudessem utilizá-los posteriormente.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na falta de laboratório de física da escola, o uso desses experimentos se mostrou ser uma alternativa bastante viável, por conta do baixo custo para sua confecção, facilidade em encontrar os materiais necessários, além do baixo grau de dificuldade para confecção dos mesmos.

É importante ressaltar, que as atividades experimentais por si só, não constituem um método infalível para que a aprendizagem significativa ocorra. À luz da teoria da aprendizagem significativa de David Ausubel, esses materiais devem ser potencialmente significativos, ou seja, devem guardar uma relação substancial com os conhecimentos prévios dos alunos. Ainda assim, as atividades experimentais podem ser utilizadas para que se produza organizadores prévios, nos casos em que o aluno não possui o subsunçor necessário para que a nova informação seja ancorada. É necessário também que haja o interesse do aluno em aprender, pois do contrário a aprendizagem ocorrerá de forma mecânica. A mudança de postura dos alunos, foi sem dúvidas, a maior mudança percebida com a aplicação do produto educacional. Quase sempre, os alunos das turmas em que o produto estava sendo aplicado, adotavam uma postura de passividade durante as aulas expositivas. Eram raras as situações em que eles levantavam questionamentos em relação aos conteúdos abordados. Durante a aplicação do produto eram vários os questionamentos feitos, demonstrando um alto grau de envolvimento do aluno com o método aplicado.

Por fim, as atividades experimentais de baixo custo, demonstraram ser uma excelente alternativa para despertar a atenção e o interesse do aluno para a disciplina de física, na medida em que estimula a sua criatividade e contribui para uma melhoria do trabalho em grupo. O resultado final, apresentado na análise de dados, mostrou que houve uma melhora significativa no processo de ensino-aprendizagem.

## REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, Mauro Sérgio Teixeira de; ABIB, Maria Lúcia dos Santos. **“Atividades experimentais no ensino de Física: Diferentes enfoques, diferentes finalidades”**. In: Revista Brasileira de Ensino de Física, São Paulo, vol. 25, n. 02, pp.176-194, jun. 2003.
- ARTUSO, Alysson Ramos; WRUBLEWSKI, Marlon. **Física**: vol 3. Curitiba: Positivo, 2013.
- AUSUBEL, David Paul. **The psychology of meaningful verbal learning: an introduction to school learning**. New York: Grune & Stratton, 1963.
- AUSUBEL, D.P.; NOVAK, J.D. e HANESIAN, H. **Psicologia educacional**. Rio de Janeiro, Interamericana, 1980. Tradução para português, de Eva Nick et al., da segunda edição de Educational psychology: a cognitive view.
- BERMÚDEZ, Ana Carla. Pisa: Brasil fica entre piores, mas à frente da Argentina; veja ranking. 2019. Disponível em: <https://www.bol.uol.com.br/noticias/2019/12/03/pisa-brasil-fica-entre-piores-mas-a-frente-da-argentina-veja-ranking>.htm. Acesso em: 05 dez. 2019.
- BIASOTO, J. D.; CARVALHO, A. M. P. **Análise de uma atividade experimental que desenvolva a argumentação dos alunos**. In.: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 6, Florianópolis, 2007. Anais... Florianópolis, 2007.
- BONJORNO, José Roberto *et al.* **Física**: vol 3. 2. ed. São Paulo: Ftd, 2013.
- BORGES, A. T. Novos rumos para o laboratório escolar de ciências. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v.19, n.13, p.291-313, 2002.
- CARVALHO, A. M. P. et al. **Ciências no Ensino Fundamental**: o conhecimento físico. São Paulo: Scipione, 199p, 2005.
- COSTA, Farley William da. **A experimentação no ensino de Física: proposta de aplicação para temas do ensino médio**. 2018. 187 f. Dissertação (Mestrado) -

Curso de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, Centro de Ciências e Tecnologia Para A Sustentabilidade, Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba, 2018. Cap. 3. Disponível em:

<[https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/9528/Diss%20Mestrado\\_Farley%20Costa\\_PROFIS%20So.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/9528/Diss%20Mestrado_Farley%20Costa_PROFIS%20So.pdf?sequence=1&isAllowed=y)>. Acesso em: 02 ago. 2020.

DELIZOICOV, Demétrio; ANGOTTI, José André Perez. **Física**. São Paulo/BRA: Cortez, 1991.

GALIAZZI, M. C.; GONÇALVES, F. P. A natureza pedagógica da experimentação: uma pesquisa na licenciatura em Química. **Química Nova**, v.27, n.2, p.326-331, 2004.

GASPAR, A. **Experiências de ciências para o ensino fundamental**. São Paulo: Ática, 2003.

GASPAR, A.; MONTEIRO, I. C. C. Atividades experimentais de demonstração em sala de aula: uma análise segundo a referência da teoria de Vigotsky. **Investigações em Ensino de Ciências**, v.10, n.2, p. 227-254, 2005.

GIORDAN, M. O papel da experimentação no ensino de ciências. **Química Nova na Escola**, n.10, p.43-49, 1999.

GONÇALVES, F. P.; MARQUES, C. A. Contribuições pedagógicas e epistemológicas em textos de experimentação no ensino de química. **Investigações em Ensino de Ciências**, v.11, n.2, p.219-238, 2006.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de Física**. vol 3. 10. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2016.

INEP. DADOS DO CENSO ESCOLAR – Noventa e cinco por cento das escolas de ensino médio têm acesso à internet, mas apenas 44% têm laboratório de ciências. 2019. Disponível em: <[http://portal.inep.gov.br/artigo/-/asset\\_publisher/B4AQV9zFY7Bv/content/dados-do-censo-escolar-noventa-e-cinco-por-cento-das-escolas-de-ensino-medio-tem-acesso-a-internet-mas-apenas-44-tem-laboratorio-de-ciencias/21206](http://portal.inep.gov.br/artigo/-/asset_publisher/B4AQV9zFY7Bv/content/dados-do-censo-escolar-noventa-e-cinco-por-cento-das-escolas-de-ensino-medio-tem-acesso-a-internet-mas-apenas-44-tem-laboratorio-de-ciencias/21206)>. Acesso em: 05 dez. 2019.

INEP. RELATÓRIO BRASIL NO PISA 2018: versão preliminar. 2019. Disponível em: <[http://download.inep.gov.br/acoes\\_internacionais/pisa/documentos/2019/relatorio\\_PISA\\_2018\\_preliminar.pdf](http://download.inep.gov.br/acoes_internacionais/pisa/documentos/2019/relatorio_PISA_2018_preliminar.pdf)>. Acesso em: 05 dez. 2019.

LOPES, Antonia Osima et al. **Técnicas de ensino: por que não?** 11. ed. Campinas: Papirus, 2000.

MOREIRA, Marco Antônio. **Aprendizagem significativa**. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 1999.

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

NANNI, R. A natureza do conhecimento científico e a experimentação no ensino de ciência. **Revista Eletrônica de Ciências**. São Carlos. v.26, maio 2004.

NOVAK, J.D. **Aprender, criar e utilizar o conhecimento. Mapas conceituais como ferramentas de facilitação nas escolas e empresas**. Lisboa, Plátano Edições Técnicas, 2000.

OKA, Mauricio Massazumi. História da Eletricidade. 2000. Disponível em: <<http://www.lsi.usp.br/~dmi/manuais/HistoriaDaEletricidade.pdf>>. Acesso em: 06 ago. 2019.

SAMPAIO, José Luiz; CALÇADA, Caio Sérgio. **Universo da física**. vol 3. 2. ed. São Paulo: Atual, 2005.

SITES.GOOGLE. Eletricidade e Magnetismo. Disponível em: <<https://sites.google.com/site/ndcm2014grupo07/nascimento-e-desenvolvimento-da-ciencia-moderna/4--eletricidade-e-magnetismo>>. Acesso em: 08 jul. 2020.

SOARES, Elvis. **Cap. 8 - Indução eletromagnética**. 2014. Disponível em: <[http://sites.if.ufrj.br/esoares/wp-content/uploads/sites/50/2014/08/8-Inducao\\_Eletromagnetica.pdf](http://sites.if.ufrj.br/esoares/wp-content/uploads/sites/50/2014/08/8-Inducao_Eletromagnetica.pdf)>. Acesso em: 05 ago. 2020.

SOUZA, J. R. T. **Instrumentação para o ensino de química**. Ed. UFPA, Belém-PA, 2011.

SPARAVIGNA, Amelia Carolina. **Magnetic Compasses and Chinese Architectures**. 2017. Disponível em: <<https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1709/1709.07056.pdf>>. Acesso em: 08 jul. 2020.

SUART, R. C.; MARCONDES, M. E. R. **Atividades experimentais investigativas: habilidades cognitivas manifestadas por alunos do Ensino Médio**. Em: ENCONTRO NACIONAL DE ENSINO DE QUÍMICA, 14, Curitiba, 2008. Resumos... Curitiba, 2008.

YAMAMOTO, Kazuhito; FUKU, Luiz Felipe. **Física para o ensino médio**. vol 3. 1. ed. São Paulo: Saraiva, 2010.

YAMAMOTO, Kazuhito; FUKU, Luiz Felipe. **Física para o ensino médio**. vol 3. 4. ed. São Paulo: Saraiva, 2016.

**APÊNDICE A – PRODUTO EDUCACIONAL**

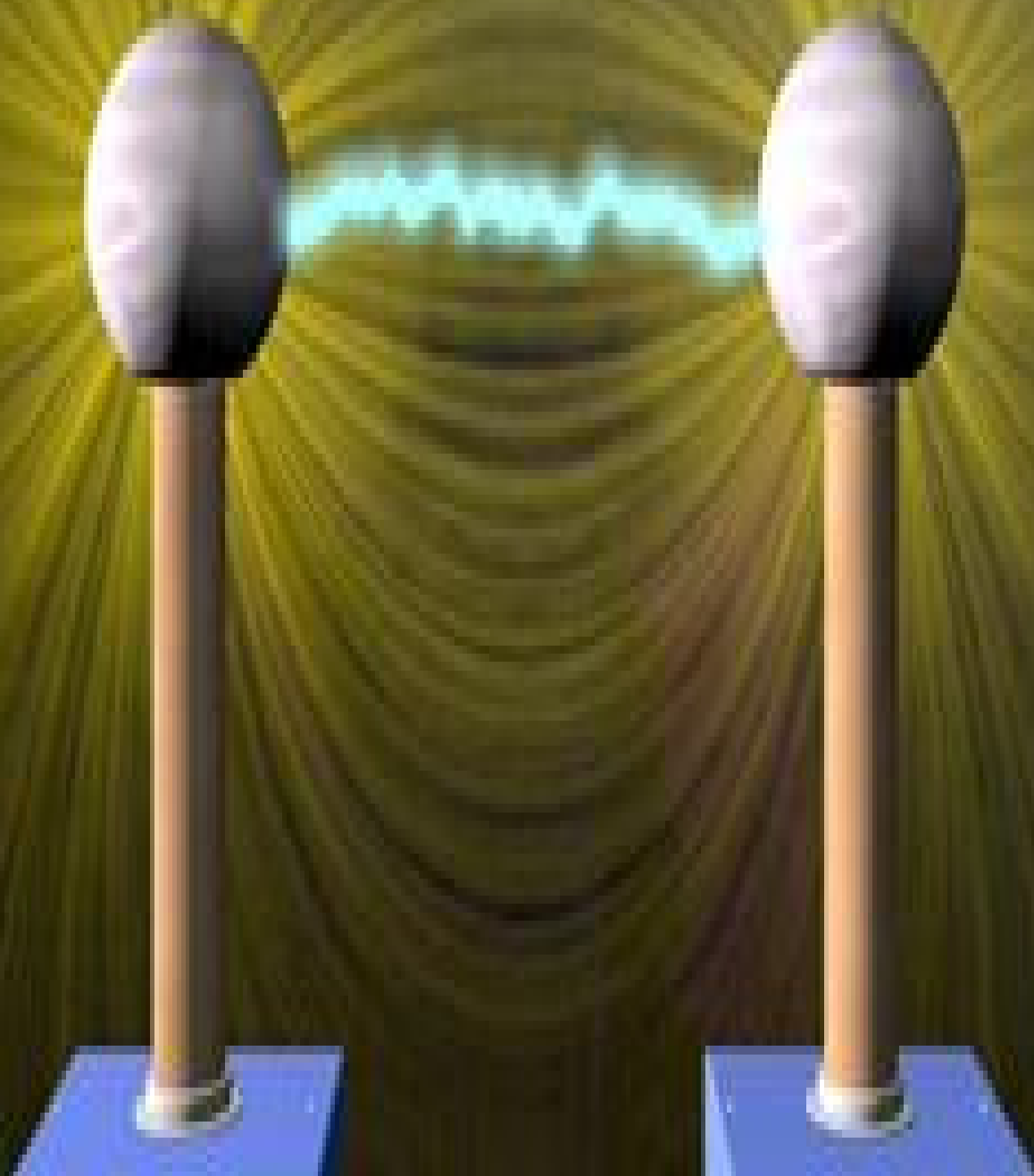


# **PRODUTO EDUCACIONAL**

## **MANUAL INSTRUCIONAL PARA O ESTUDO**

### **DA ELETROSTÁTICA**

**José Maria Almeida Nunes Filho**



UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO – UFMA  
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL NO ENSINO DE FÍSICA – MNPEF  
POLO – 47

PRODUTO EDUCACIONAL

GUIA EXPERIMENTAL PARA O ESTUDO DA ELETROSTÁTICA



ELETROSCÓPIO



ELETRÓFORO



CAPACITOR CILÍNDRICO



GARRADA DE LEYDEN



GERADOR DE VAN DE GRAAFF

Autor: José Maria Almeida Nunes Filho  
Orientador: Prof. Dr Eduardo Moraes Diniz

SÃO LUÍS - MA

2020

@ José Maria Almeida Nunes Filho e Eduardo Moraes Diniz – 2020.

Este documento possui o livre acesso à leitura e produção desde que citada a sua fonte de produção. As imagens apresentadas são de propriedade do autor e utilizadas para fins didáticos. Este documento é veiculado gratuitamente, sem nenhum tipo de retorno comercial, e visa somente a divulgação do conhecimento científico.

## APRESENTAÇÃO

Caro professor (a)

Na tentativa de contornar a problemática da falta de laboratórios de ciências nas escolas públicas e buscando um maior envolvimento dos alunos no processo de ensino-aprendizagem, a proposta desse produto educacional, é a produção de um conjunto de experimentos potencialmente significativos de eletrostática com materiais de baixo custo. Nesse produto educacional são apresentados 5 tipos de instrumentos para realização das atividades: eletroscópio, eletróforo, capacitor cilíndrico, garrada de Leyden e o gerador de Van de Graaff.

Trata-se de um guia de experimental de eletrostática, com todas as orientações necessárias para a confecção dos instrumentos, além da abordagem dos conceitos físicos que envolvem o funcionamento de cada um desses instrumentos, e claro, uma série de propostas de atividades experimentais, onde são abordados conceitos da eletrostática como: carga elétrica, processos de eletrização, condutores e isolantes, potencial elétrico, campo elétrico, configuração de linhas de força, poder das pontas, ruptura dielétrica, condutor em equilíbrio eletrostático, dentre outros. Essas atividades experimentais são do tipo de verificação, baseadas no modelo de classificação de Araújo e Adib (2003). A atividade experimental de verificação é utilizada para verificar a existência de uma lei ou determinado fenômeno. Nessa metodologia, o aluno participa ativamente do processo de confecção e manipulação dos experimentos.

## SUMÁRIO

|       |                                                                               |           |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 1     | INTRODUÇÃO.....                                                               | 7         |
| 2     | ELETROSCÓPIOS.....                                                            | 8         |
| 2.1   | <b>Construção de um eletroscópio retangular Materiais necessários .....</b>   | <b>8</b>  |
| 2.2   | <b>Experiências com o uso do eletroscópio retangular .....</b>                | <b>9</b>  |
| 2.2.1 | Carregando o eletroscópio por contato.....                                    | 10        |
| 2.2.2 | Comportamento condutor ou isolante em materiais sólidos.....                  | 10        |
| 2.2.3 | Comportamento condutor ou isolante em líquidos .....                          | 11        |
| 2.2.4 | Ruptura dielétrica do ar .....                                                | 12        |
| 2.3   | <b>Construção de um eletroscópio de casca cilíndrica.....</b>                 | <b>13</b> |
| 2.4   | <b>Experiências com o uso do eletroscópio de casca cilíndrica .....</b>       | <b>15</b> |
| 2.4.1 | Eletrizando o eletroscópio de casca cilíndrica .....                          | 15        |
| 2.4.2 | Eletrizando a casca cilíndrica por indução .....                              | 15        |
| 2.5   | <b>Construção de um eletroscópio retangular de 2 bases.....</b>               | <b>17</b> |
| 2.6   | <b>Experiências com o uso do eletroscópio de 2 bases .....</b>                | <b>18</b> |
| 2.6.1 | Eletrizando o eletroscópio de 2 bases .....                                   | 18        |
| 2.6.2 | Dobrando um retângulo de papel eletrizado .....                               | 19        |
| 2.7   | <b>Construção de um eletroscópio de ponta .....</b>                           | <b>20</b> |
| 2.8   | <b>Atração entre um corpo carregado e filetes de líquidos diferentes.....</b> | <b>21</b> |
| 3     | ELETROFÓRO.....                                                               | 23        |
| 3.1   | <b>Experimentos com o uso do eletróforo .....</b>                             | <b>24</b> |
| 3.1.1 | Eletrizando o coletor de cargas .....                                         | 24        |
| 4     | CONDENSADORES OU CAPACITORES.....                                             | 25        |
| 4.1   | <b>Construindo um capacitor cilíndrico .....</b>                              | <b>26</b> |
| 4.2   | <b>Experimentos com o capacitor cilíndrico .....</b>                          | <b>27</b> |
| 4.2.1 | Carregando o capacitor cilíndrico .....                                       | 27        |

|       |                                                                                    |           |
|-------|------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 4.2.2 | Descarregando o capacitor.....                                                     | 28        |
| 5     | CONSTRUINDO UMA GARRADA DE LEYDEN .....                                            | 28        |
| 6     | O GERADOR DE VAN DE GRAAFF .....                                                   | 30        |
| 6.1   | <b>A estrutura do GVDG.....</b>                                                    | <b>31</b> |
| 6.2   | <b>Montagem do gerador de Van de Graaff .....</b>                                  | <b>39</b> |
| 6.3   | <b>Síntese do funcionamento do GVDG .....</b>                                      | <b>50</b> |
| 7     | TEORIAS QUE ENVOLVEM O FUNCIONAMENTO DO GVDG .....                                 | 51        |
| 7.1   | <b>Poder das pontas .....</b>                                                      | <b>51</b> |
| 7.2   | <b>Ruptura dielétrica .....</b>                                                    | <b>54</b> |
| 7.3   | <b>Processos de eletrização .....</b>                                              | <b>54</b> |
| 7.4   | <b>Condutor em equilíbrio eletrostático – Lei de Gauss .....</b>                   | <b>58</b> |
| 7.5   | <b>O balde de gelo de Faraday e a cúpula de descarga do GVDG.....</b>              | <b>60</b> |
| 8     | PROPOSTAS DE ATIVIDADES EXPERIMENTAIS COM O USO DO GVDG .....                      | 63        |
| 8.1   | <b>Calculo do potencial na superfície externa da cúpula do GVDG .....</b>          | <b>63</b> |
| 8.2   | <b>Cálculo da quantidade de carga acumulada na cúpula de descarga do GVDG.....</b> | <b>64</b> |
| 8.3   | <b>O poder das pontas – torniquete elétrico .....</b>                              | <b>66</b> |
| 8.4   | <b>Testando a extensão da faísca produzida pelo do GVDG .....</b>                  | <b>68</b> |
| 8.5   | <b>Linhas de força em um dipolo elétrico .....</b>                                 | <b>69</b> |
| 8.6   | <b>Linhas de força entre dois eletrodos com cargas de mesmo sinal .....</b>        | <b>71</b> |
| 8.7   | <b>Linhas de força entre dois eletrodos planos e paralelos entre si .....</b>      | <b>74</b> |
| 8.8   | <b>Blindagem eletrostática .....</b>                                               | <b>77</b> |
| 9     | CONSIDERAÇÕES FINAIS .....                                                         | 79        |
|       | REFERÊNCIAS .....                                                                  | 80        |

## 1 INTRODUÇÃO

A proposta didática que norteia esse produto educacional, é baseado no modelo da aprendizagem significativa de Ausubel. Na teoria de Ausubel, o conhecimento prévio do aluno, chamado de subsunçor, é o elemento principal (MOREIRA e MASINI, 2006). A partir desse conhecimento prévio é que o aluno irá adquirir novos conhecimentos. Os conhecimentos prévios (subsunçores) seriam os suportes em que o novo conhecimento se apoiaria (MOREIRA e MASSINI, 2006). Além dos subsunçores, Ausubel preconiza outras duas condições para que a aprendizagem significativa ocorra: a não-arbitrariedade do material e a disponibilidade do indivíduo. A não-arbitrariedade do material indica que o material a ser apresentado ao indivíduo, deve ter relação com os conhecimentos prévios existentes na sua estrutura cognitiva (MOREIRA e MASSINI, 2006). Quando existe essa relação lógica e explícita entre o material apresentado e os conhecimentos prévios do aprendiz, o material é considerado potencialmente significativo. Nesse contexto, as atividades experimentais propostas nesse produto educacional, vão de encontro às ideias de Ausubel.

Fazendo uma relação com a teoria da aprendizagem significativa de Ausubel, em uma situação de ausência de subsunçores, por exemplo, a atividade experimental pode ser implementada a fim de alcançar um organizador prévio, que futuramente pode ser ancorado na estrutura cognitiva do aluno. Após o processo de ancoragem ter acontecido, esse organizador prévio passa a fazer parte dos subsunçores (MOREIRA e MASSINI, 2006). Nesse caso, a atividade experimental é realizada antes da introdução do conceito a ser aprendido. Se as atividades experimentais forem realizadas após a abordagem inicial dos conteúdos, os alunos já teriam os subsunçores necessários para a aquisição de novos conhecimentos. Dessa forma, as atividades experimentais constituem um material potencialmente significativo.

Em relação à disponibilidade do indivíduo em aprender, outro pilar da teoria de Ausubel (MOREIRA e MASSINI, 2006), a experimentação possibilita ao professor alternativas para facilitação do processo de ensino-aprendizagem relacionadas aos conteúdos de eletrostática, despertando o interesse do aluno com o tema. As

atividades experimentais representam uma metodologia mais dinâmica e investigativa, que estimula competências e habilidades cognitivas e motoras dos estudantes. A partir do manuseio dos equipamentos e instrumentos, sempre com orientação e supervisão do professor, os alunos colocam em prática as informações vistas na sala de aula, o que facilita e estimula o aprendizado. Além disso, as atividades experimentais ampliam a integração entre os alunos, e entre eles e o professor. O resultado é a fácil compreensão e assimilação dos conteúdos da disciplina. Nos capítulos e sessões seguintes, são apresentados todos os instrumentos a serem confeccionados, as atividades experimentais propostas, assim como as teorias que envolvem essas atividades.

## **2 ELETROSCÓPIOS**

O eletroscópio, sem dúvidas, é um dos instrumentos mais importantes da eletrostática. O eletroscópio nos permite, entre outras coisas, verificar se um material é condutor ou isolante. Sobre esse conceito, é importante observar que alguns materiais, que no senso comum da maioria das pessoas são materiais isolantes, em experimentos de eletrostática eles se comportam como condutores. Podemos citar como exemplos desses materiais, alguns tipos de borracha, assim como a madeira crua. O eletroscópio também nos permite verificar se um corpo está ou não eletrizado. Usaremos o eletroscópio para discussão de outros conceitos, como poder das pontas e distribuição de cargas em um condutor. Como em toda a extensão desse trabalho, partimos de um ponto crucial: o uso de materiais de baixo custo e de fácil acesso.

### **2.1 Construção de um eletroscópio retangular Materiais necessários**

- 1 pedaço de cartolina de 10 cm x 7 cm;
- 1 copinho de café de plástico;
- Gesso mole;
- Fita adesiva ou cola para fixação dos elementos do eletroscópio;
- 1 canudo de plástico;



- 1 tira de papel de seda de 2mm de largura e 7 cm de comprimento.

### Montagem:

O eletroscópio que construímos, é um modelo bastante simples. Optamos por esse modelo por conta da facilidade de acesso aos materiais necessários. Para esse modelo utilizamos o pedaço de cartolina com 10 cm de altura e 7 cm de comprimento. Para a base, foi utilizado um copinho plástico de café, que foi preenchido com gesso mole. Para a base também poderá ser utilizado uma base de plástico ou de madeira. Introduzimos o canudo plástico no gesso ainda mole, pois ele irá endurecer. Esse canudo irá sustentar a cartolina. Para fixar a cartolina no canudo plástico, utilizamos os dois pedaços de fita adesiva, mas poderá ser usado cola para a fixação. Por fim, utilizamos a tira fina de papel de seda de 2 mm de largura e aproximadamente 7 cm de comprimento, que foi colada na parte da frente do eletroscópio. A Figura 1 mostra a ilustração do eletroscópio montado.

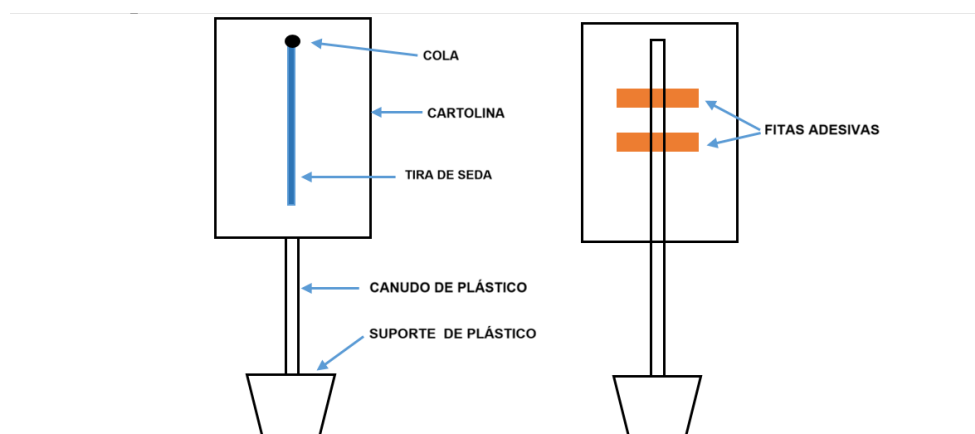


Figura 1: À esquerda a parte da frente do eletroscópio, e à direita a parte de trás.

Nesse eletroscópio, o papel de seda e a cartolina funcionam como condutores. Já o canudo de plástico e a base feita com copo plástico são isolantes, evitando a fuga das cargas elétricas do eletroscópio para a terra.

## 2.2 Experiências com o uso do eletroscópio retangular

### 2.2.1 Carregando o eletroscópio por contato

**Subsunções necessários para a realização dessa atividade: eletrização por atrito, eletrização por contato.**

Para eletrizar o eletroscópio por contato, utilizamos uma régua de acrílico, que ao ser atritada com o cabelo de uma pessoa ou com um guardanapo de papel se eletriza por atrito. Podemos também utilizar um canudo de plástico. O importante é que esse material seja um bom isolante. Em seguida, raspamos a régua na parte de cima do eletroscópio. Dessa forma o eletroscópio ficará eletrizado com carga de mesmo sinal da régua ou canudo. Dizemos que o eletroscópio foi eletrizado por contato. A Figura 2 ilustra esse experimento.

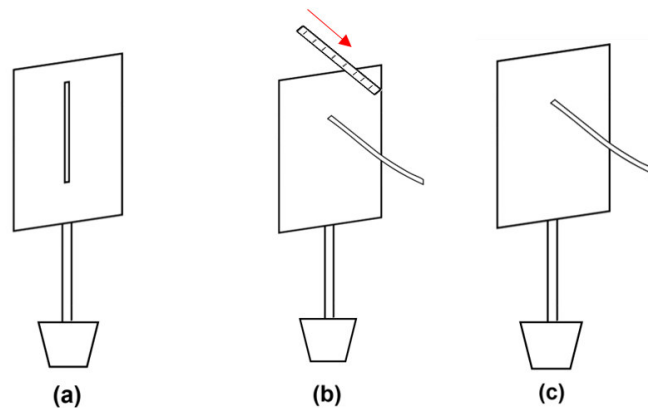


Figura 2: Eletrização do eletroscópio. (a) o eletroscópio está neutro; (b) eletroscópio sendo eletrizado por contato com a régua eletrizada; (c) o eletroscópio continua eletrizado após a régua ser afastada.

### 2.2.2 Comportamento condutor ou isolante em materiais sólidos

**Subsunção necessária para a realização dessa atividade: definição de material condutor e isolante.**

Nessa experiência o objetivo é observar se um material é condutor ou isolante. Para isso tocamos na superfície do eletroscópio com materiais diferentes. Se o material for um bom isolante e estiver neutro, o eletroscópio não será descarregado, já no caso de tocarmos o eletroscópio com um material condutor, ele será descarregado. Inicialmente tocamos o eletroscópio com o dedo, depois com uma régua de acrílico neutra, e por último com um arame de metal. Observando a Figura 3, vemos que tanto ao tocar o eletroscópio com o dedo (a) e com o pedaço de arame (b), a fita de papel desce, indicando que o eletroscópio foi descarregado. Já ao

tocar o eletroscópio com a régua de acrílico neutra(c), a fita se mantém levantada, o que indica que o eletroscópio continua eletrizado. Concluimos então que tanto o corpo humano quando o arame de metal são bons condutores, enquanto a régua de acrílico neutra se mostra um material isolante. Por questões práticas, utilizaremos o símbolo de aterramento para representar o toque com o dedo no eletroscópio, já que ao tocá-lo estamos de fato, ligando o eletroscópio à terra.

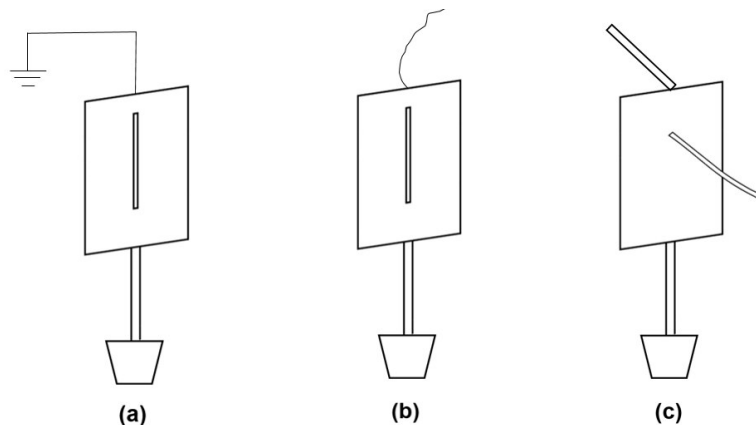


Figura 3: Tocando o eletroscópio carregado com diferentes tipos de materiais.

### 2.2.3 Comportamento condutor ou isolante em líquidos

**Subsunçor necessário para a realização dessa atividade: definição de material condutor e isolante.**

Nesta proposta de experimento usaremos dois tipos de líquido na tentativa de descarregar o eletroscópio. Inicialmente vamos utilizar a água. O procedimento é simples: Mergulhe um dos cantos do eletroscópio eletrizado em um recipiente com água. Observa-se que a tirinha abaixa, e ao retirar o eletroscópio da água, a tira de papel continua abaixada, demonstrando que ao entrar em contato com a água o eletroscópio é descarregado. Logo, conclui-se que a água se comporta como um material condutor. A Figura 4 ilustra esse experimento.

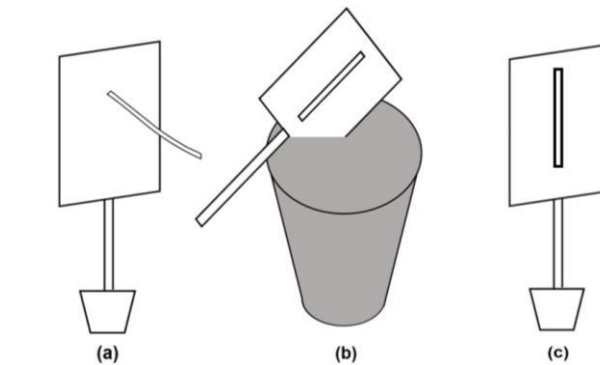


Figura 4: (a) Eletroscópio inicialmente carregado, ao entrar em contato com a água, descarrega-se (b). Ao ser retirado da água o eletroscópio se mantém descarregado (c).

Repetimos o experimento, mas dessa vez mergulhamos o eletroscópio carregado em um recipiente com óleo de cozinha. Verificamos que ao entrar em contato com o óleo a tirinha do eletroscópio permanece levantada, demonstrando assim que o eletroscópio não foi descarregado. Conclui-se então que o óleo de cozinha se comporta como material isolante. A Figura 5 ilustra esse experimento.

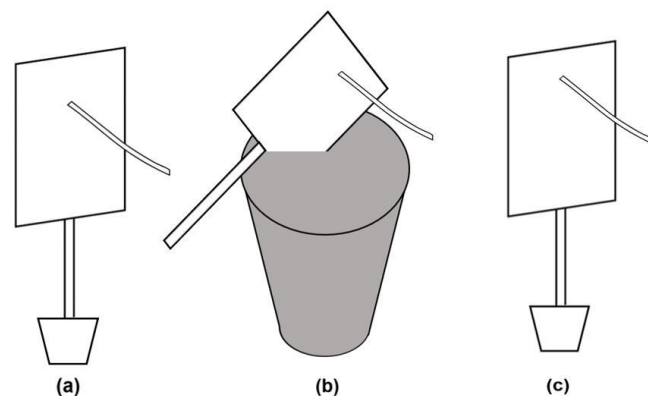


Figura 5: (a) Eletroscópio inicialmente carregado, ao entrar em contato com o recipiente com óleo vegetal, continua carregado (b). Ao retirar o eletroscópio do recipiente com óleo vegetal, ele se mantém carregado.

#### 2.2.4 Ruptura dielétrica do ar

**Subsunçor necessário para a realização dessa atividade: rigidez dielétrica do ar.**

Nessa experiência, uma agulha deve ser colocada na parte de trás do eletroscópio, utilizando duas fitas adesivas para fixá-la. Após fixar a agulha, aproximamos um canudo eletrizado por atrito. O canudo deve ser aproximado a uma distância de aproximadamente 1 cm da ponta da agulha. Observa-se que a tirinha de

seda levanta-se com a aproximação do canudo, mas volta para a posição de origem quando o canudo é afastado. Na sequência aproximamos o canudo a uma distância menor, de aproximadamente 2 mm. É recomendável aproximar o canudo fazendo movimentos de ida e volta na direção horizontal, tomando cuidado para não tocar a ponta da agulha. Após repetir esse movimento algumas vezes e afastando o canudo eletrizado na sequência, percebemos que a tirinha do eletroscópio se mantém levantada. Podemos observar a ilustração dessa sequência na Figura 6.

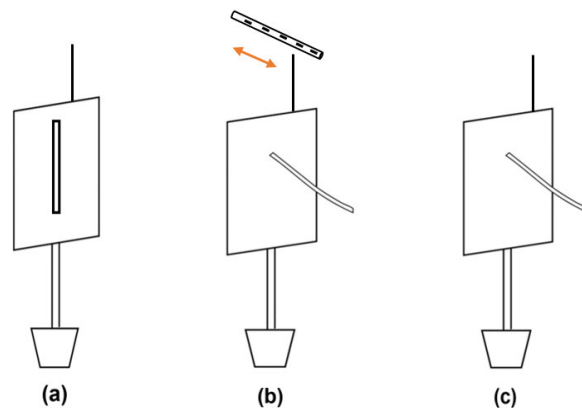


Figura 6: Em (a) o eletroscópio descarregado; Em (b) o canudo eletrizado próximo à agulha sendo movimentado horizontalmente; Em (c) o eletroscópio eletrizado após o afastamento do canudo.

Temos nessa experiência uma situação diferente, já que o eletroscópio não foi eletrizado por nenhum dos meios de eletrização que vimos até aqui: atrito, contato ou indução. Como não houve contato entre o canudo eletrizado e a ponta da agulha do eletroscópio, essa transferência de cargas ocorreu pelo ar. Nessa experiência, as moléculas de ar ao redor da agulha foram ionizadas, fazendo com que esse ar próximo à agulha passasse a se tornar condutor. Esse fenômeno é chamado de ruptura dielétrica. O ar sofre ruptura dielétrica quando a diferença de potenciais entre dois de seus pontos ultrapassa um certo valor, conhecido como rigidez dielétrica. Para o ar esse valor crítico é de 3000 V/mm. Em outras palavras, considerando a distância entre o canudo eletrizado e a ponta da agulha em 2 mm, concluímos que a diferença de potencial entre a ponta da agulha e o canudo eletrizado é da ordem de 6000 V.

### 2.3 Construção de um eletroscópio de casca cilíndrica

**Materiais necessários:**

- 1 pedaço de cartolina de 10 cm x 25 cm
- 1 canudo de plástico
- Fita adesiva ou cola para fixação dos elementos do eletroscópio
- 4 tiras de papel de seda de 2 mm x 7 cm
- Base utilizada no eletroscópio retangular descrito na seção 2.1

**Montagem:**

Utilizamos o pedaço de cartolina de 10 cm x 25 cm para formar o cilindro. Fecha-se esse retângulo de cartolina de maneira a formar um cilindro, e utilizamos cola ou fita adesiva para prender as duas extremidades. Utilizamos a mesma base do eletroscópio construído no experimento 2. Colamos o canudo plástico da base por dentro da casca cilíndrica, deixando uma parte do canudo para fora do cilindro. Em seguida, colamos na parte interna do eletroscópio duas tirinhas de papel de seda de aproximadamente 2mm de largura e 7cm de comprimento, deixando um espaço de cerca de 4cm entre elas. Colamos também duas tirinhas da mesma medida do lado externo do eletroscópio, deixando o mesmo espaço entre elas. Na Figura 7 temos uma ilustração do modelo desse eletroscópio.

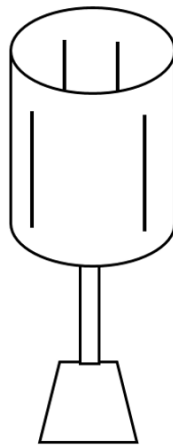


Figura 7: Eletroscópio de casca cilíndrica

## 2.4 Experiências com o uso do eletroscópio de casca cilíndrica

### 2.4.1 Eletrizando o eletroscópio de casca cilíndrica

**Subsunção necessário para a realização dessa atividade: condutor em equilíbrio eletrostático.**

Eletrizamos uma régua de acrílica por atrito, e raspamos na parte de cima da casca cilíndrica. As tirinhas que estão do lado de fora irão se levantar, enquanto as tirinhas que estão do lado de dentro do eletroscópio permaneceram abaixadas. Essa experiência nos mostra o comportamento de um condutor em equilíbrio eletrostático ao ser eletrizado: todas as cargas em excesso se distribuem na sua superfície externa. A Figura 8 ilustra essa experiência.

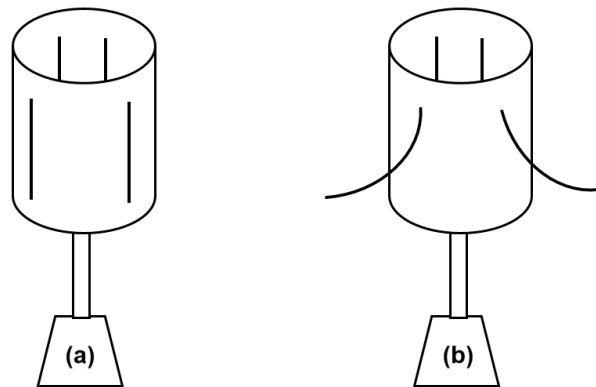


Figura 8: Em (a) o eletroscópio está neutro. Ao ser eletrizado apenas as tirinhas que estão do lado externo da casca cilíndrica se levantam.

### 2.4.2 Eletrizando a casca cilíndrica por indução

**Subsunção necessário para a realização dessa atividade: eletrização por indução.**

Primeiramente, iremos eletrizar uma régua de acrílico ao atritá-la com um guardanapo de papel. Neste caso, a régua irá adquirir carga elétrica resultante negativa. Em seguida, a régua é introduzida no interior da casca cilíndrica, mas sem tocá-la. Observa-se que as tirinhas se levantam. Ao retirar a régua do interior do cilindro, as tirinhas se abaixam. Podemos ver a ilustração desse experimento na Figura 9.

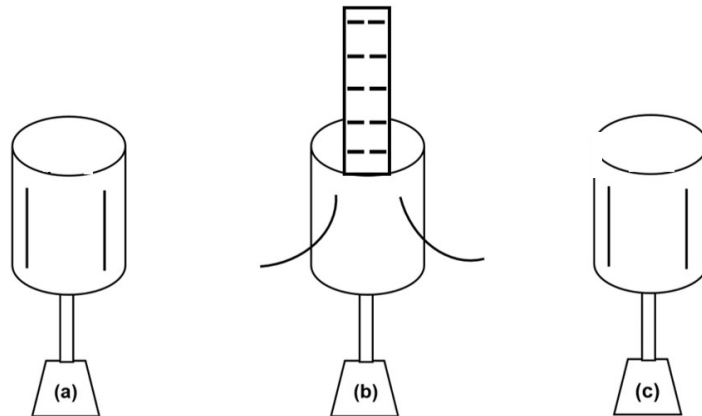


Figura 9: Em (a), a casca cilíndrica encontra-se neutra. Ao introduzir a régua eletrizada no interior da casca, as tirinhas se levantam. Em (c), ao retirar a régua do interior do cilindro, as tirinhas se abaixam.

A presença da régua no interior do cilindro, faz com que as cargas positivas da casca sejam atraídas para o lado interno dela, enquanto as cargas negativas são repelidas. Esse fenômeno é chamado de polarização elétrica. Veja na Figura 10.

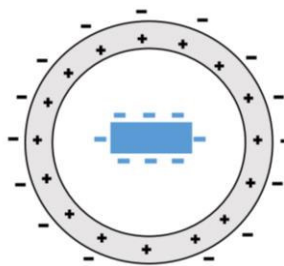


Figura 10: Vista de cima da casca cilíndrica. No centro, em azul, a régua eletrizada negativamente. Ao redor, em preto, a casca cilíndrica com suas cargas elétricas polarizadas.

Nota-se que a simples presença da régua eletrizada no interior da casca cilíndrica, não faz com que a casca se eletrize. Para eletriza-la de fato, devemos anular as cargas que estão de um dos lados do cilindro. Por comodidade, faremos isso com as cargas que estão do lado de fora da casca cilíndrica. Para isso, basta tocar com o dedo do lado de fora da casca com a presença da régua no seu interior, pois dessa forma estaremos aterrando-a, anulando assim as cargas elétricas positivas da casca. Com o toque, percebemos que as tirinhas se abaixam. Em seguida, desfaz-se o contato do dedo com o cilindro, nota-se que as tirinhas continuam abaixadas. Retira-se então a régua do interior do cilindro. As tirinhas se levantam, atestando que de fato a casca cilíndrica está eletrizada. Esse processo é chamado de eletrização por indução. A ilustração dessa sequência encontra-se na Figura 11.



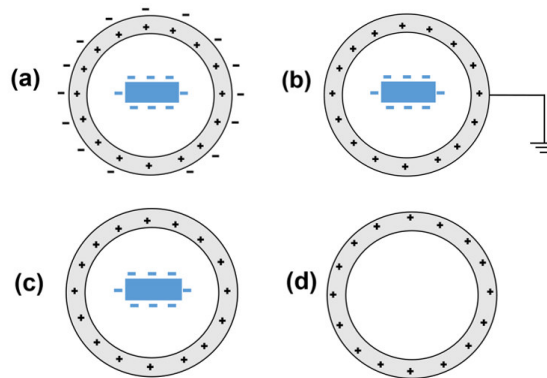


Figura 11: Vista de cima do cilindro. (a) A casca encontra-se com as cargas polarizadas devido à presença da régua eletrizada; (b) A casca é aterrada; (c) Desfaz-se o aterramento na presença da régua eletrizada; (d) Retira-se a régua.

## 2.5 Construção de um eletroscópio retangular de 2 bases

### Materiais necessários:

- 1 pedaço de cartolina de 8 cm x 25 cm
- 2 canudos de plástico
- Fita adesiva ou cola para fixação dos elementos do eletroscópio
- 2 bases (a mesma utilizada nos eletroscópios descritos anteriormente)
- 2 tirinhas de papel de seda de 2 mm x 6 cm

### Montagem:

A montagem desse eletroscópio é semelhante aos eletroscópios descritos anteriormente. A diferença é que utilizaremos um retângulo de comprimento bem maior que a altura. Utilizaremos 2 bases para o apoio, colocando um de cada lado do retângulo de cartolina, deixando um recuo de aproximadamente 1cm em relação às extremidades do retângulo, utilizando cola ou fita adesiva para fixá-las. Em seguida, utilizamos cola para ficar as 2 tirinhas de papel de seda, uma em cada lado do retângulo. Observe a montagem na Figura 12.

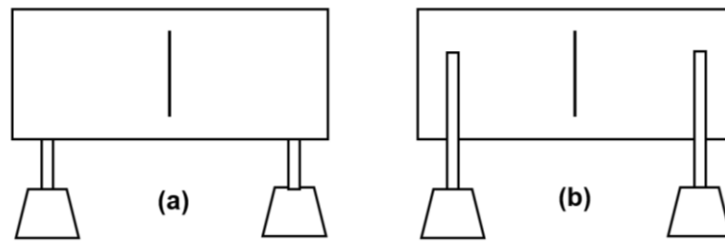


Figura 12: Em (a) temos a vista da parte da frente do; em (b) temos a vista da parte de trás do eletroscópio.

## 2.6 Experiências com o uso do eletroscópio de 2 bases

### 2.6.1 Eletrizando o eletroscópio de 2 bases

**Subsunção necessário para a realização dessa atividade: eletrização por contato.**

Eletrizamos o eletroscópio raspando um canudo de plástico eletrizado inicialmente por atrito na parte superior do retângulo de cartolina. O resultado é que as duas tiras se levantam, demonstrando que as duas superfícies (frente e costas) do eletroscópio foram eletrizadas, o que difere da experiência anterior quando utilizamos a casca cilíndrica. Observe o descrito na Figura 13.

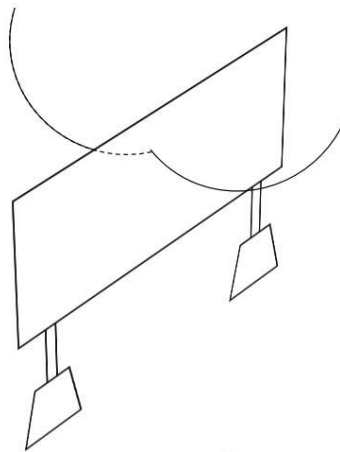


Figura 13: Ao ser eletrizado, as duas tiras do eletroscópio se levantam.

### 2.6.2 Dobrando um retângulo de papel eletrizado

**Subsunção necessário para a realização dessa atividade: condutor em equilíbrio eletrostático.**

Para essa experiência, utilizaremos o retângulo de papel eletrizado da experiência anterior (seção 2.6.1). Deve-se tomar cuidado para não descarregá-lo, e para isso devemos manuseá-lo segurando a parte do canudo que não está em contato com a cartolina, pois qualquer toque na superfície da cartolina, fará com que o retângulo se descarregue, já que o corpo humano se comporta como um bom condutor em experimentos de eletrostática. Segurando os dois canudos na região que ele não está em contato com a cartolina, o procedimento é curva-lo devagar, fazendo com que ele vá aos poucos se transformando em uma casca cilíndrica. Observa-se que à medida que se fecha o retângulo, a tirinha de fora levanta-se cada vez mais, enquanto que a tirinha de baixo abaixa-se cada vez mais. Ao fecharmos totalmente o círculo, formando a casca cilíndrica, observamos que a tirinha que ficou do lado de dentro da casca fica totalmente abaixada, enquanto a tirinha que está do lado de fora, fica mais levantada do que estava inicialmente. Observe a ilustração dessa situação na Figura 14.

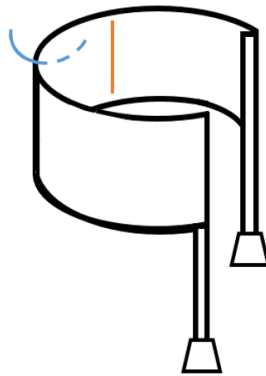


Figura 14: A linha vermelha representa a tirinha que está do lado de dentro da casca e encontra-se abaixada; a linha azul, representa a tirinha que está na parte externa da casca.

Esse experimento, nos mostra que em condutores ocos, as cargas elétricas em excesso, sempre se distribuem em sua superfície externa. Essa é uma característica dos condutores em equilíbrio eletrostático. Esse conceito será abordado de forma mais profunda no funcionamento do gerador de Van de Graaff. No

experimento da seção 2.6.1, as cargas em excesso adquiridas pelo eletroscópio retangular, também se distribuem por toda a sua extensão. O retângulo de cartolina também se encontra em equilíbrio eletrostático. No experimento em questão, ao curvar a cartolina, as cargas se deslocam de um lado para outro, fazendo com que toda a carga se distribua apenas na superfície externa da casca cilíndrica.

## **2.7 Construção de um eletroscópio de ponta**

### **Materiais necessários:**

- 1 pedaço de cartolina de 7 cm x 17 cm
- 1 canudo de plástico
- 1 base para fixação como as utilizadas nos eletroscópios anteriores
- Fita adesiva ou cola para fixação dos elementos do eletroscópio
- 2 tiras de papel de seda de 2 mm x 7 cm

**Subsunção necessário para a realização dessa atividade: poder das pontas.**

### **Montagem:**

Cortaremos o pedaço de cartolina de maneira que ele tenha a forma de uma “tábua de carne”, como mostra a figura ?. Corte a cartolina de forma que o retângulo maior tenha 7 cm de largura e 10 cm de comprimento. A parte mais estreita deve ter 2 cm de largura e 7 cm de comprimento. Cola-se em cada retângulo uma tirinha de papel de seda. Elas devem ter as mesmas dimensões, mesma massa e serem feitas do mesmo material. Usa-se uma régua eletrizada por atrito como nas experiências anteriores para carregar o eletroscópio. Raspa-se a régua no eletroscópio algumas vezes, até que ele se eletrize. Percebe-se que a tirinha que se encontra na região mais pontiaguda levanta-se mais. Isso se deve ao fato de que as cargas em excesso estão mais concentradas nas regiões pontiagudas dos condutores. É o chamado “Poder das pontas”. Na Figura 15 vemos o eletroscópio de pontas antes e depois de ser eletrizado.

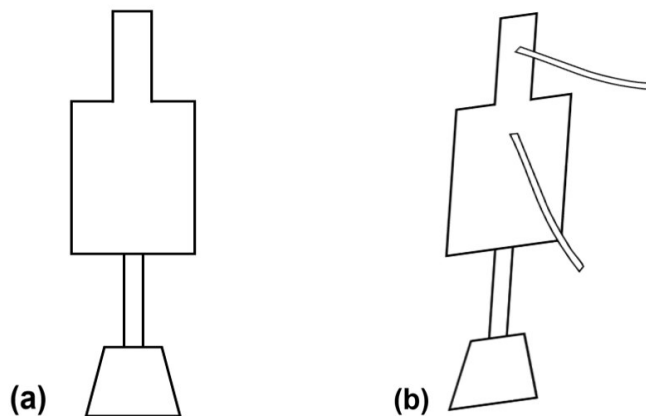


Figura 15: (a) Esquema do eletroscópio; (b) Após ser eletrizado, verifica-se que a tirinha que está na região da ponta se levanta mais, evidenciando que a concentração de cargas nessa região é maior.

## 2.8 Atração entre um corpo carregado e filetes de líquidos diferentes

### **Materiais necessários:**

- 1 régua de plástico eletrizada
- Garrafa com óleo vegetal

**Subsunçor necessário para a realização dessa atividade: conceito de material condutor ou isolante.**

### **Procedimento:**

Faremos essa experiência utilizando água e óleo vegetal como na experiência 4. Inicialmente vamos usar um filete de água, e para isso abrimos uma torneira de forma que a água desça formando um fino fio de água (filete). Aproximamos então uma régua inicialmente eletrizada por atrito com um guardanapo de papel. De preferência aproxime a régua na região do filete mais próximo da torneira, pois nessa região a velocidade de queda da água é menor, assim será mais fácil atrair o filete de água. Faremos a mesma coisa na sequência com o óleo vegetal, e para isso viramos uma garrafa que contenha o óleo de forma a formar também um filete. As Figuras 16 e 17 mostram o resultado dos experimentos.

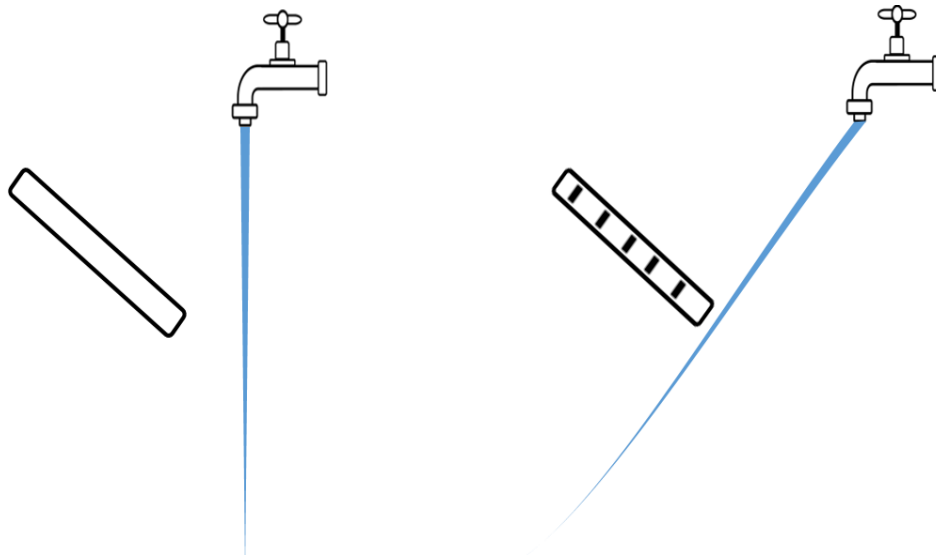


Figura 16: Nada acontece ao aproximar um canudo de plástico neutro do filete de água. Ao aproximar um canudo de plástico eletrizado, o filete de água neutro é atraído.

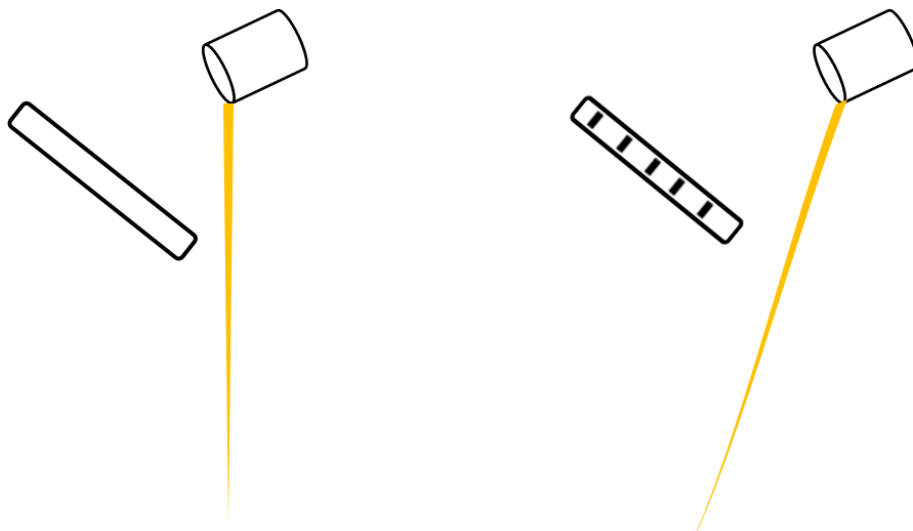


Figura 17: Nada acontece ao aproximar um canudo de plástico neutro do filete de óleo vegetal. Ao aproximar um canudo de plástico eletrizado, o filete de óleo é atraído.

Analisando as Figuras 16 e 17, podemos observar que atração sofrida pelo filete de água é maior que a atração sofrida pelo filete de óleo vegetal. Esse é um comportamento que se repete se repetirmos essa experiência com condutores e isolantes. Em geral a atração sofrida pelos condutores é maior que a atração sofrida pelos isolantes.

### 3 ELETRÓFORO

**Materiais necessários:**

- 1 placa de PVC quadrada de 40 cm de lado
- 1 forma de alumínio de 30 cm de diâmetro
- 1 pedaço de cano de PVC de 15 cm de comprimento e 25 mm de diâmetro
- Super cola ou cola quente para fixação do suporte na base

**Montagem:**

O eletróforo é um conjunto formado por duas partes: uma base isolante eletrizada inicialmente, e um coletor de cargas. O material escolhido para a base isolante é uma placa de PVC, dessas utilizadas para forros de residência. Ela deve ser quadrada, de preferência com 40 cm de lado. Para eletrizá-la usaremos um guardanapo de papel através do atrito. O ideal é fazer movimentos em um mesmo sentido para eletrizá-la. Quanto mais você esfregar o guardanapo na placa de PVC, mais eletrizada ela ficará. Pela série triboelétrica, a base de PVC ficará negativamente eletrizada ao ser atritada com o guardanapo de papel. Utilizamos para o coletor de cargas, uma forma de alumínio para pizza de 30 cm de diâmetro. O suporte para a forma pode ser feito com um pedaço de cano de PVC de 25mm de diâmetro. Ele deverá ser fixado no centro da forma, pelo lado de dentro. Para isso pode ser utilizado supercola ou cola quente. Na Figura 18 temos um esquema das duas partes do eletróforo.

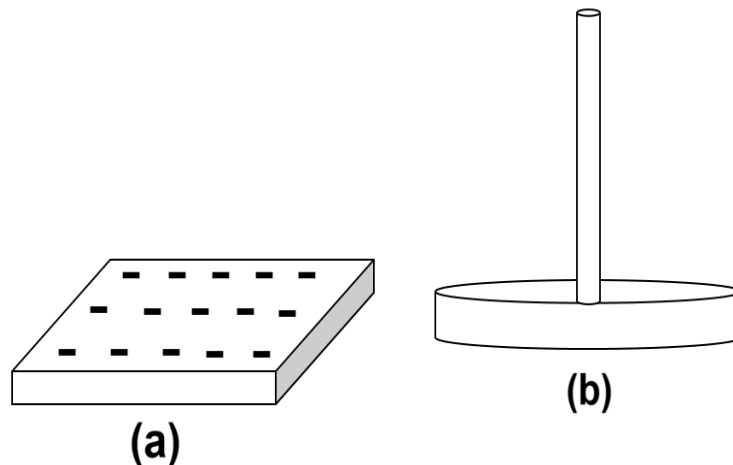


Figura 18: Em (a), a base isolante do eletróforo eletrizada; em (b), o coletor de cargas constituído pelo disco em alumínio com um pedaço de cano de PVC no seu centro.

### 3.1 Experimentos com o uso do eletróforo

#### 3.1.1 Eletrizando o coletor de cargas

**Subsunção necessário para a realização dessa atividade: eletrização por indução e eletrização por atrito.**

Para essa experiência, utilizaremos a base isolante de PVC eletrizada por atrito com o guardanapo de papel. Observemos a figura abaixo. A base de PVC está eletrizada negativamente (a). Inicialmente prendemos uma fina tira de papel de seda na parte de dentro do disco de alumínio, utilizando uma fita adesiva. Recomenda-se que essa tira tenha 10 cm de comprimento e 2 mm de largura. Colocamos então o disco de alumínio do coletor de cargas sobre a base isolante eletrizada (b). Na sequência, tocamos com o dedo na parte de dentro do disco de alumínio(c), retirando-o em seguida(d). Por fim, retiramos o coletor de cargas tomando cuidado em segurá-lo apenas pelo cabo de PVC, sem tocar no disco de alumínio. Observa-se que a tirinha de seda se levanta, atestando que o coletor está eletrizado, como mostra a Figura 19.



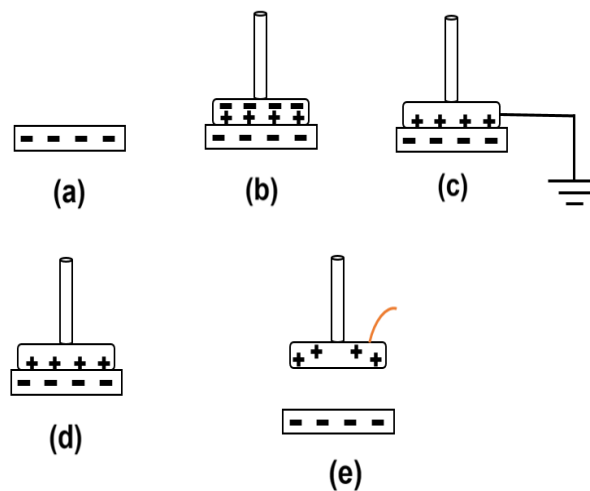


Figura 19: Processo de eletrização do coletor de cargas do eletróforo.

Observa-se também que o eletróforo se eletriza com carga de sinal oposto ao da base isolante eletrizada. É um típico processo de eletrização por indução. É importante ressaltar o grande potencial de eletrização que o eletróforo possui. Você poderá utilizar a base isolante eletrizada diversas vezes, sem que ela se descarregue por completo. O eletróforo pode ser utilizado em qualquer experiência em que se busque eletrizar um corpo por contato ou através da ruptura dielétrica do ar. Utilizaremos posteriormente o eletróforo para carregar uma garrafa de Leyden.

#### 4 CONDENSADORES OU CAPACITORES

Condensadores ou capacitores, são instrumentos que tem como principal função armazenar energia elétrica. Os capacitores podem ser planos, esféricos, cilíndricos, ou podem ter ainda a forma de uma garrafa. Descreveremos a construção de dois tipos de capacitores, o plano e o cilíndrico. O primeiro modelo de capacitor criado, é conhecido por *garrafa de Leyden*, e também será descrito aqui a sua construção. Independente do formato, todo capacitor possui uma estrutura básica: dois condutores separados entre si por um isolante (também chamado de dielétrico). É importante então a escolha do material isolante, pois como já dito nas experiências

anteriores, alguns materiais que parecem ser isolantes, em experiências de eletrostática demonstram características de condutores.

#### **4.1 Construindo um capacitor cilíndrico**

##### **Materiais necessários:**

- 1 pote de plástico de vitamina C ou semelhante
- Palha de aço
- Papel alumínio
- Fita adesiva
- 1 prego de metal

##### **Montagem:**

Para esse capacitor, precisaremos de um corpo cilíndrico de plástico que será usado como dielétrico. Nessa experiência, vamos utilizar um pote de plástico de vitamina C. Ele tem 10 cm de comprimento, e aproximadamente 3 cm de diâmetro. Dentro do pote, colocaremos uma quantidade de palha de aço até que atinja uma altura de aproximadamente 7cm. Do lado de fora do pote, usaremos uma fita de papel alumínio de 7cm de altura e comprimento suficiente para cobrir a lateral do pote. Para fixar as extremidades da tira de papel alumínio, usaremos um pedaço de fita adesiva. Por fim, introduzimos um prego de metal na tampa do pote de plástico, fazendo com que ele entre em contato com a palha de aço que está dentro do pote. A Figura 20 mostra o esquema da montagem.

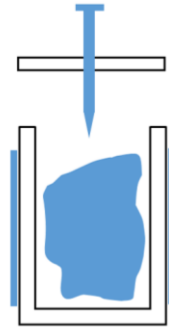


Figura 20: Esquema de montagem do capacitor cilíndrico. Em destaque, os materiais condutores na cor azul (palha de aço dentro do pote, prego e papel alumínio no lado externo do pote de plástico (dielétrico)).

## 4.2 Experimentos com o capacitor cilíndrico

### 4.2.1 Carregando o capacitor cilíndrico

**Subsunçor necessário para a realização dessa atividade: capacitância eletrostática.**

Para carregar o capacitor, utilizaremos o eletróforo construído no capítulo anterior. Primeiramente eletrizamos o disco coletor do eletróforo, através do contato com a base isolante inicialmente eletrizada (seção 3.1.1.). Aterramos o capacitor. Para isso, seguramos o capacitor pela região da fita de papel alumínio (condutor externo). Após isso, aproximamos a borda do disco coletor da cabeça do prego do capacitor. Mesmo sem o contato, o prego será eletrizado pela descarga proveniente da ruptura dielétrica do ar existente entre o coletor e a cabeça do prego. De qualquer forma, o contato poderá ser feito entre os dois. Repita esse procedimento 10 vezes, assim o capacitor será carregado de forma substancial. A Figura 21 ilustra o esquema do capacitor.

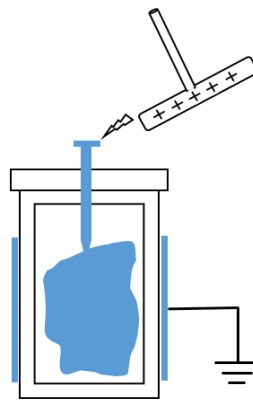


Figura 21: Capacitor sendo carregado pelo coletor de cargas do eletróforo. Mesmo sem o contato, as cargas são transferidas através do ar ionizado.:

#### 4.2.2 Descarregando o capacitor

**Subsunção necessário para a realização dessa atividade: ruptura dielétrica do ar.**

Para descarregar o capacitor, basta fazer o contato entre os dois condutores (papel alumínio e prego). Para isso utilizamos um pedaço de fio “cabinho” desencapado nas pontas. Pressione uma das pontas desencapadas na tira de papel alumínio (condutor externo), e aproxime a outra ponta desencapada da cabeça do prego. A descarga acontecerá, e o capacitor estará descarregado.

## 5 CONSTRUINDO UMA GARRADA DE LEYDEN

### **Materiais necessários:**

- 1 garrafa de plástico de 300 ml
- água de torneira
- Pedaço de arame ou fio de cobre rígido
- Papel alumínio
- Fita adesiva

### **Procedimento:**

Como o próprio nome sugere, utilizaremos para uma garrafa como dielétrico para sua construção. Aconselha-se a não usar garrafas de vidro, pois alguns tipos de

vidro têm comportamento condutor em experiências de eletrostática. Usaremos então uma garrafa pet de plástico de 300 ml como meio dielétrico. Para o condutor interno enchemos a garrafa com água de torneira. Faremos um furo na tampa da garrafa por onde passará um pedaço de arame ou fio de cobre rígido. Na ponta do fio ou arame, prendemos uma bola feita de papel alumínio. Para o condutor externo, usaremos uma fita de papel alumínio, essa fita deve ter largura um pouco menor que a altura da garrafa, evitando assim seu contato com a terra. Cobrimos então a lateral da garrafa com a fita de papel alumínio, e fixamos com fita adesiva. A Figura 22 mostra o esquema da garrafa de Leyden.

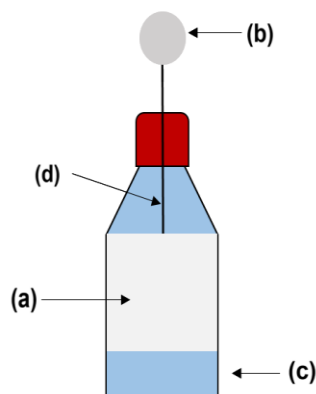


Figura 22: Esquema da garrafa de Leyden. (a) Fita de alumínio; (b) bola de papel alumínio; (c) água; (d) arame.

O procedimento para carga e descarga da garrafa de Leyden, são os mesmos usados para carga e descarga do capacitor cilíndrico mostrados nas experiências anteriores. Sobre o funcionamento do capacitor, cujo esquema é mostrado na Figura 23, é importante destacar a função do dielétrico entre os condutores, que é exatamente evitar a troca de cargas elétricas entre os condutores. Consideremos que o coletor de cargas do eletróforo esteja eletrizado com carga positiva. Ao aproximá-lo da cabeça do prego, a rigidez dielétrica do ar é rompida, fazendo com que o ar se torne condutor. Nesse caso, cargas elétricas negativas se deslocam em direção ao coletor, fazendo com que o condutor interno do capacitor fique eletrizado com carga também positiva. Como o condutor externo (faixa de alumínio) está aterrado, elétrons são atraídos para sua superfície, fazendo com que ele fique eletrizado com carga negativa. Pelo princípio da atração e repulsão, as cargas elétricas positivas do

condutor interno e as cargas positivas do condutor externo se aproximam. Ao ligarmos os condutores através de um fio metálico, há uma neutralização das cargas e o capacitor dessa forma é descarregado.

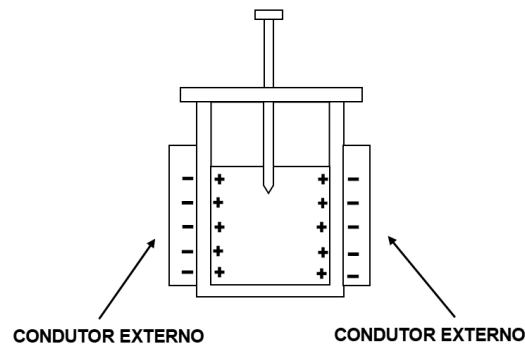


Figura 23: Capacitor carregado. As regiões laterais representam a fita de alumínio (condutor externo).

## 6 O GERADOR DE VAN DE GRAAFF

O gerador de Van De Graaff foi idealizado e construído em 1931, pelo engenheiro americano, Robert Jemison Van de Graaff (1901- 1967). O gerador de Van de Graaff era usado para acelerar partículas, em estudos que buscavam entender a estrutura do átomo. O projeto de Van de Graaff possuía bolas de alumínio de 4,5 metros de diâmetro, que conseguia produzir tensões de cerca de 2 milhões de volts. Durante décadas, o gerador de Van de Graaff foi usado no Instituto de Física da USP, para sustentar a pesquisa nuclear, sendo aposentado em 1972, foi substituído pelo hoje conhecido “aceleradores Pelletron”.

O gerador de Van De Graaff, trabalha segundo princípios do efeito triboelétrico. É um dispositivo que armazena cargas elétricas em sua cúpula, podendo gerar tensões que superam os 100 mil volts. O modelo didático apresentado aqui, permite realizar demonstrações que contextualizam uma série de fenômenos eletrostáticos, permitindo ao professor dinamizar suas aulas. Por questões práticas, a sigla GVDV (gerador de Van de Graaff), será usada para se referir ao gerador. No presente material, teremos além da toda a descrição para a montagem do GVDG, a

teoria física que o envolve e uma sequência de atividades como forma de sugestão para o trabalho em sala de aula.

### 6.1 A estrutura do GVDG

O layout básico de um GVDV é composto por:

- Uma cúpula ou domo de descarga;
- Uma correia transportadora de cargas elétricas;
- Dois roletes (superior e inferior);
- Duas escovas metálicas (superior e inferior);
- Uma coluna de sustentação;
- Um motor elétrico para o movimento do rolete inferior e correia;
- Um base para fixação do motor, coluna de apoio e escova inferior;

Uma visão geral da estrutura do GVDG é apresentada na Figura 24.

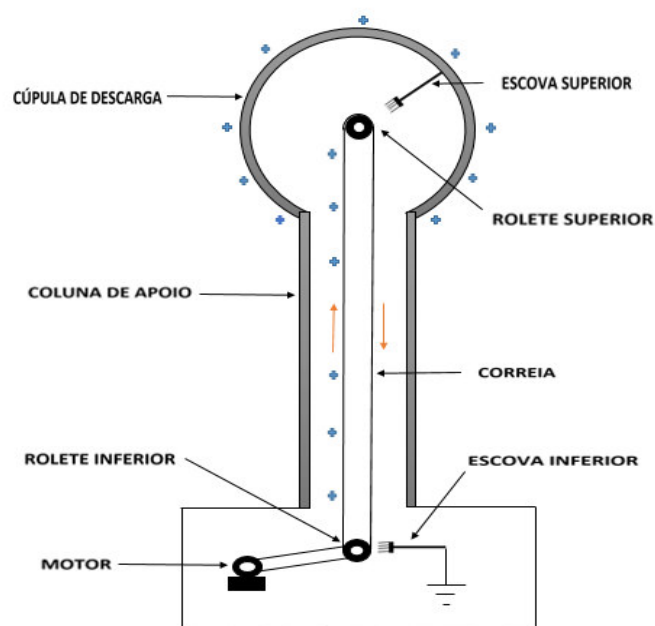


Figura 24. Esquema do GVDG

A seguir, falaremos um pouco sobre cada componente do GVDG, dando sugestões dos materiais que podem ser usados, mas deixando claro que a escolha

dos materiais é critério de quem irá construir o GVDG. O mais importante, como veremos a seguir, é escolha dos materiais dos roletes e da correia, já que o GVDG funciona segundo os efeitos triboelétricos.

### 1 – MOTOR

Motores pequenos de uma forma geral funcionam bem no GVDG. Motores de ventiladores ou máquinas de lavar, por exemplo, podem ser utilizados. É relevante lembrar, que a rotação do motor é importante, pois como veremos mais adiante, durante o funcionamento do GVDG cargas elétricas são transportadas pela correia até a cúpula de descarga de forma contínua, a cada ciclo da correia. Assim, motores com maiores velocidades de rotação, dão um poder maior de eletrização ao GVDG. No modelo construído pelo autor, foi utilizado com muito sucesso um motor de máquina de costura, que possui velocidade de rotação de 7000 rpm. Esse motor é acompanhado por um reostato, que pode ser utilizado para controlar a rotação do motor. Em outros tipos de motores é recomendável (mas opcional) o uso de um Dimmer com triac, para fazer o trabalho de controle de rotação. Uma observação importante, é que os motores que possuem escovas de carvão devem ser evitados, pois o pó formado pelo funcionamento desses motores, podem sujar os componentes do GVDG, ocasionando perdas expressivas em seu funcionamento.

### 2 – ROLETES

A escolha dos materiais dos roletes e da correia é, sem dúvida, a parte mais importante na montagem do GVDG, já que é nesse momento em que deve ser observada a série triboelétrica. Alguns materiais por questões de distribuição de elétrons em sua camada de valência, possuem maior tendência em perder elétrons ao serem atritados com outros materiais, ficando dessa forma, eletrizados positivamente. Da mesma forma, outros materiais tem tendência maior a receberem esses elétrons, ficando assim eletrizados negativamente. O sinal da carga armazenada na cúpula do gerador, pode ser determinada de acordo com a escolha dos materiais dos cilindros e da correia. Se escolhermos, por exemplo, para o material do cilindro inferior o PVC, o alumínio para o rolete superior, e a borracha para a correia, a cúpula ficará eletrizada com carga de sinal positivo. Eventualmente, escolhendo materiais diferentes, a cúpula poderá adquirir carga de sinal negativo.



Os cilindros deverão ser de preferência em forma de “barriletes”, ou seja, com o centro mais alto que as extremidades, como mostra a Figura 25. Dessa forma, a correia ficaria mais “presa” aos roletes, pois tenderia ao centro dos mesmos, por estar mais elevado em relação às extremidades. Diâmetros próximos de 3 cm para os roletes são recomendados. Os cilindros deverão conter um furo central por onde passarão os eixos. O rolete inferior será comandado pelo motor, ou seja, girará solidário ao seu eixo, para isso o eixo deverá ser colocado sobre pressão. Já o rolete superior, deverá girar livremente sobre seu eixo.

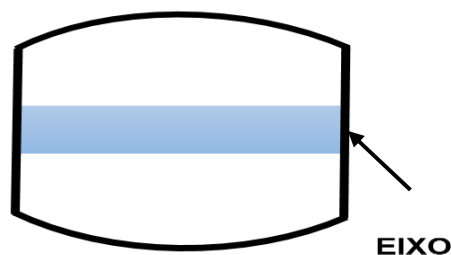


Figura 25: Cilindro em forma de barrilete

É preciso considerar que a proposta em questão para a montagem do GVDG, busca o uso de materiais alternativos e de baixo custo. Para se conseguir roletes em forma de barriletes e com o eixo no seu centro, é necessário o trabalho de um torneiro mecânico, o que sem dúvidas, elevaria em muito os custos, fugindo assim da proposta do trabalho. Uma boa solução para evitar os gastos com tornearia, é a utilização de canos plásticos de PVC, usados em instalações hidráulicas domésticas. Nesse caso, para evitar a fuga da correia, podem ser usados discos nas extremidades dos roletes, como mostrado na Figura 26.

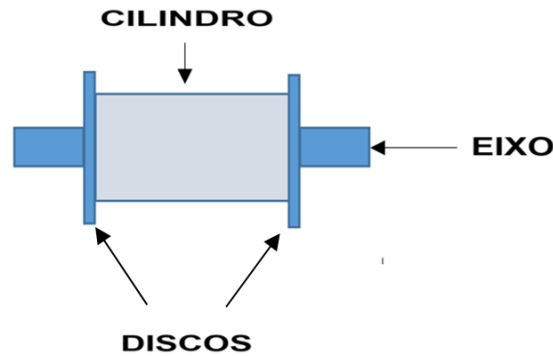


Figura 26: Modelo de rolete com discos nas extremidades.

Uma outra alternativa, é uso de caps nas extremidades do cilindro. Isso criará uma protuberância nas extremidades, evitando a fuga da correia. Nos centros dos caps, deverá ser feito um furo por onde passarão os eixos, como mostra a Figura 27. Para travar esse tipo de rolete, é utilizado um sistema de contraporcas que será descrito de forma detalhada posteriormente.

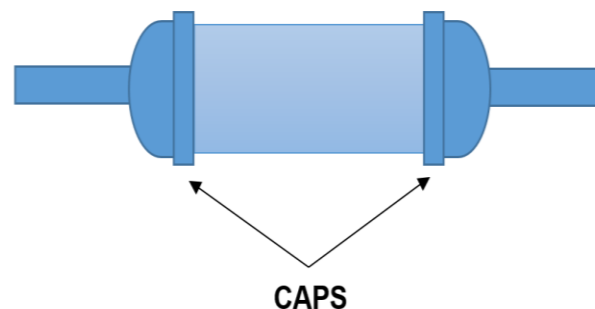


Figura 27: Modelo de rolete utilizado pelo autor.

### 3 - SÉRIE TRIBOELÉTRICA

A tabela 1, a seguir apresenta a série triboelétrica, que servirá de referência para a escolha dos materiais dos roletes e da correia. É imprescindível que os materiais do rolete inferior e da correia sejam isolantes. Idealmente o material da correia é de borracha, assim é recomendável no rolete inferior, o uso de materiais que estão no extremo negativo da série triboelétrica. Dessa forma, após o atrito, a correia irá adquirir carga elétrica positiva, enquanto o rolete inferior, terá carga elétrica negativa. Por consequência, deverá ser escolhido um material do extremo positivo para o rolete superior.

Tabela 1: Série triboelétrica. (Fonte: <https://www.infoescola.com/eletrostatica/serie-triboeletrica>)

| Pele humana seca |  |
|------------------|--|
| Couro            |  |
| Pele de coelho   |  |
| Vidro            |  |
| Cabelo humano    |  |
| Nylon            |  |
| Lã               |  |
| Chumbo           |  |
| Pele de gato     |  |
| Seda             |  |
| Alumínio         |  |
| Papel            |  |
| Algodão          |  |
| Aço              |  |
| Madeira          |  |
| Âmbar            |  |
| Borracha dura    |  |
| Níquel e cobre   |  |
| Prata e Latão    |  |
| Ouro e Platina   |  |
| Poliéster        |  |
| Poliuretano      |  |
| Polietileno      |  |
| Polipropileno    |  |
| PVC              |  |
| Silicone         |  |
| Teflon           |  |



#### 4 - CORREIA

Na escolha da correia, dê preferência às borrachas que tem na sua composição materiais com maior resistência ao ozônio, já que o ozônio gerado pelas descargas do GVDG pode causar corrosão na correia. Uma boa alternativa é usar faixas elásticas utilizadas em exercícios de fisioterapia, as faixas “thera bands”. Essas faixas tem em sua composição o Neoprene, material que oferece uma resistência alta ao ozônio. Priorize as cores mais claras, pois borrachas escuras indicam presença de carbono, que também poderá prejudicar o funcionamento do gerador. A correia deve ser perfeitamente retangular, e de preferência use correias que possuem constante de elasticidade menor, pois correias muito “duras” ao serem esticadas, tem uma tendência maior a escapar para as laterais dos roletes.

Em relação ao comprimento da correia, ela deve ter entre  $2/3$  e  $3/4$  da distância que separa o centro dos roletes. Para correias com menor constante de elasticidade, use  $2/3$  como referência, já para correias com maior constante elástica, use a medida de  $3/4$ . Por exemplo, se a distância entre os centros dos roletes for de 50 cm, então a correia deverá ter  $50 \times 2/3 = 33,3$  cm. Já para correias mais difíceis de esticar, a correia deverá ter  $50 \times 0,75 = 37,5$  cm.

#### 4 - COLUNA DE APOIO.

É recomendável o uso de tubos de PVC, que por serem fechados, diminuem a incidência de sujeira nos roletes e na correia do GVDG. Foi utilizado pelo autor, um tubo de 100mm de diâmetro. No tubo de PVC deverá ser feito duas aberturas paralelas na parte de baixo, em forma de retângulo, por onde passará o rolete inferior que será acoplado ao eixo do motor. Na parte de cima da coluna, deverão ser feitos dois pequenos rasgos, também paralelos, onde o eixo do rolete superior irá repousar, como mostra a Figura 28.

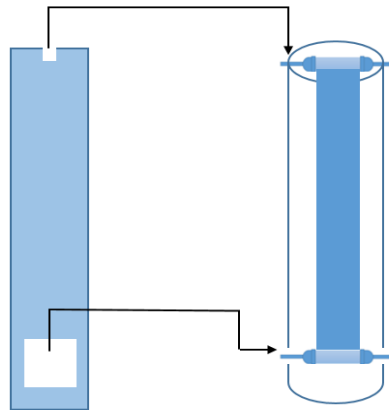


Figura 28: abertura feita na parte inferior e rasgo feito na parte superior da coluna de apoio, para passagem do rolete inferior e repouso do rolete superior, respectivamente.

### 5 - CÚPULA DE DESCARGA

Toda a carga separada pelo atrito entre o rolete inferior e a correia, será transportada pela correia para a cúpula de descarga através da escova metálica superior. A cúpula de descarga deverá preferencialmente ter a forma esférica. Poderá ser confeccionada inteira ou em duas semiesferas, mas isso demandaria mão-de-obra de um torneiro mecânico, o que foge ao objetivo da proposta original, que é a produção do GVDG com os menores custos possíveis. Uma excelente alternativa é o uso de duas bacias metálicas de salada, que juntas, formarão algo próxima de uma esfera. Na junção das duas bacias, é essencial que se coloque fita isolante, evitando a queda da parte superior do domo de descarga e ao mesmo tempo evitando a fuga de cargas da cúpula do gerador. Na bacia inferior, deverá ser feito um corte circular do fundo, na medida do diâmetro da coluna de apoio, onde a coluna será encaixada. Um esquema da montagem é mostrado na Figura 29. Na Figura 30 vemos a cúpula de descarga do GVDG já encaixada na coluna de apoio.

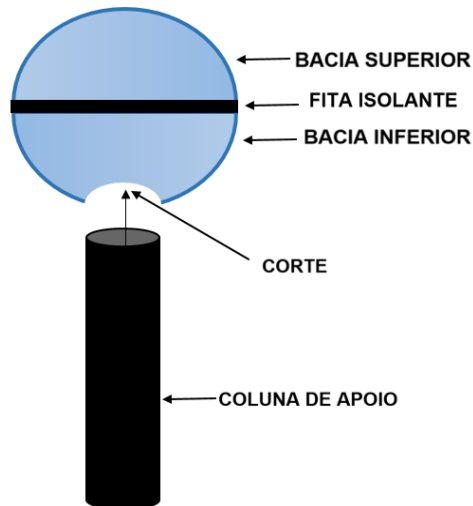


Figura 29: Esquema da cúpula de descarga.



Figura 30: Cúpula de descarga já posicionada na coluna de apoio do GVDG. Autoria própria.

## 6 - ESCOVAS METÁLICAS

O GVDG possui duas escovas metálicas que tem a função de transferência de cargas. A escova inferior transfere cargas da terra para a correia, logo deve ser ligada à terra. A escova superior tem a função de transferir cargas elétricas da correia para a cúpula de descarga, logo deve ser ligada à cúpula. É importante que as escovas metálicas estejam muito próximas à correia, mas nunca em contato com ela. A escova inferior, que está ligada à terra, deve ter suas pontas o mais próximo possível da correia, na região em que a correia está em contato com o rolete inferior, enquanto

a escova superior deve estar o mais próximo possível da correia, na região em que está em contato com o rolete superior.

As escovas metálicas devem ter a mesma largura da correia. O melhor material para produzir as escovas, são as telas metálicas usadas para cobrir janelas. É necessário fazer cortes triangulares na tela para criar pontas, já que o “poder das pontas”, como veremos posteriormente, é o fenômeno responsável por provocar a ruptura dielétrica do ar, tornando-o condutor, permitindo assim a transferência de cargas entre a escova inferior e a correia, e a transferência de cargas entre a correia e a escova superior, que por sua vez transfere essas cargas até a cúpula de descarga do GVDG. As escovas podem ser feitas também com metal proveniente de latinhas de refrigerante, ou até mesmo por fios de cobre. No caso dos fios de cobre, é necessário espalhar os finíssimos fios que formam esses cabos utilizados em instalações elétricas residenciais. Veja na Figura 31, o esquema das escovas de acordo com o material utilizado.

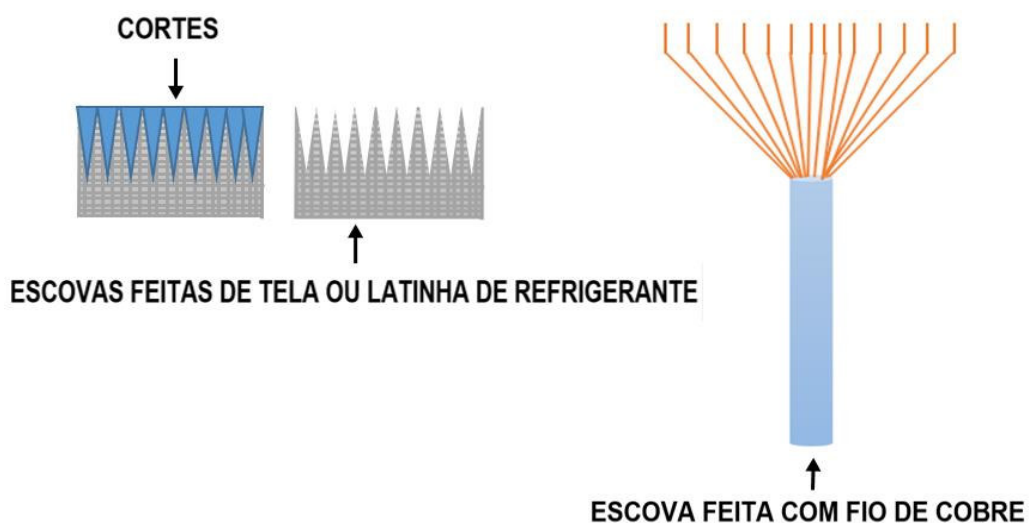


Figura 31: Modelos de escovas metálicas.

## 6.2 Montagem do gerador de Van de Graaff

Com todos os itens descritos e recomendações dadas, é hora da montagem do GVDG. É claro que a montagem dependerá do tipo de materiais que você escolher

para construir seu gerador. O mais importante é seguir o layout básico, composto pelos roletes, correia e escovas, e claro, escolhendo materiais dos extremos da série triboelétrica para os roletes. Para fazer o sistema girar, você poderá, inclusive, montar um sistema de engrenagens e acionar o movimento dos roletes e da correia através de uma manivela, dispensando assim o uso do motor. Alguns modelos didáticos comercializados em sites especializados em equipamentos de laboratório, usam o sistema de manivela ao invés do motor. Mas fique à vontade para escolher qual o sistema que mais lhe agrada, já que os custos relativos à essa escolha, serão praticamente os mesmos. O uso do motor para girar o rolete inferior do GVDG, torna a montagem mais prática, e ao mesmo tempo, por conta da alta rotação, mais cargas elétricas são depositadas na cúpula de descarga, fazendo assim com que o GVDG atinga tensões elétricas bem maiores.

#### 1 - COLUNA DE APOIO

Para a coluna de apoio o ideal é utilizar um cano de PVC. A altura e largura desse cano, dependerá da correia utilizada, pois os roletes que acomodarão a correia serão colocados dentro desse cano. O autor utilizou um cano de 100 mm, tomando como base uma correia de 55 mm de largura. Para correias mais largas é necessário um cano de maior diâmetro, pois é preciso considerar além da correia, os comprimentos dos roletes e dos eixos. Esse cano é encaixado em um cap que deve ser fixado em uma base de madeira com o uso de parafusos, permitindo assim a sua retirada sempre que necessário. Nesse cap, a escova inferior é fixada sobre um pedaço de madeira através de 2 parafusos. Esse pedaço de madeira é fixado com supercola no cap. Veja na Figura 32, o cap inferior fixado na base de madeira. Observe também a presença da escova inferior, já fixada no cap.





Figura 32: Cap inferior para encaixe da colina de apoio, já com a escova metálica instalada.

Na parte superior da coluna de apoio, um outro cap é acoplado. Nesse cap, será colocado o eixo do rolete superior. É necessário um corte retangular nesse cap, onde será encaixado o rolete superior. Para o encaixe do eixo do rolete, é necessário também um pequeno corte retangular em cada lado do cap, com tamanho suficiente para que o eixo entre sobre pressão para impedir que o eixo gire. É importante que apenas o rolete gire sobre o eixo, por esse motivo o eixo é colocado sobre pressão. Na Figura 33, é possível ver o eixo do rolete encaixado no cap superior, além da escova superior já instalada.

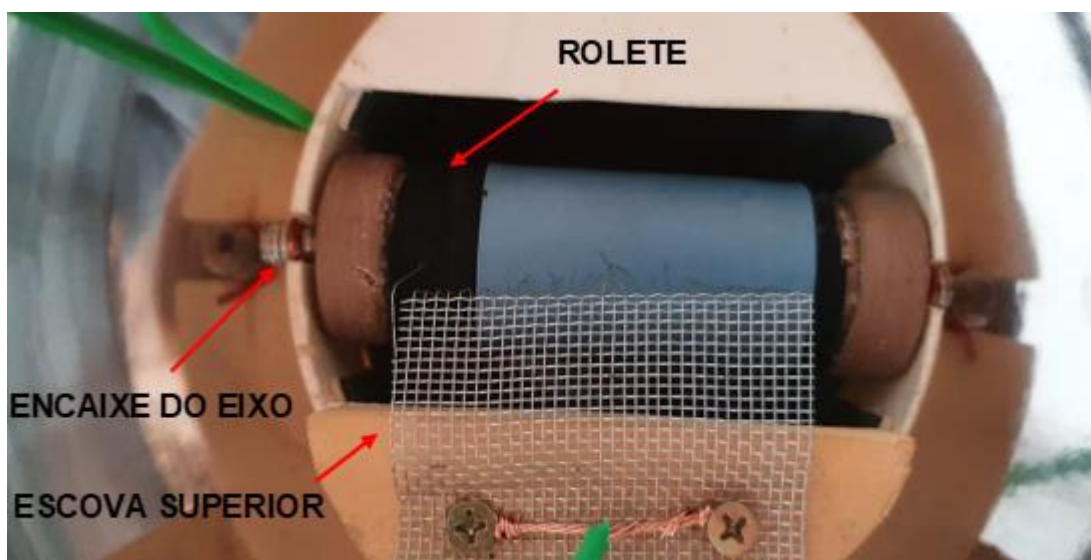


Figura 33: Roleta superior encaixado no cap superior.

## 2 - MONTAGEM DO ROLETE SUPERIOR

No modelo construído pelo autor, foram utilizados os roletes de PVC com caps colados nas suas extremidades. O rolete superior foi revestido por uma faixa de couro, colado com supercola, dessa forma, com a passagem da correia, ele irá adquirir carga positiva. Antes da colagem do couro no rolete superior, foram coladas algumas tiras de EVA, começando com uma tira com largura igual ao do rolete, e na sequência tiras com larguras menores, criando assim uma espécie de “barrilete”. Isso é feito para evitar a fuga da correia para as extremidades do rolete. Veja a ilustração na Figura 34.

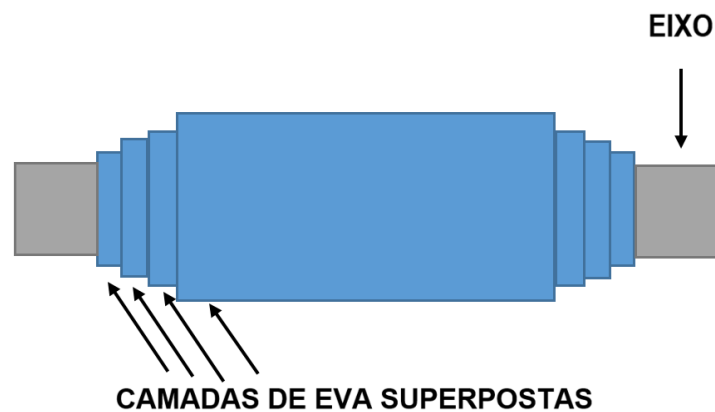


Figura 34 Camadas de EVA superpostas para criar uma espécie de “barrilete”.

Para o eixo, foi utilizado uma barra rosqueada, de aproximadamente 25 cm de comprimento. O uso da barra rosqueada como eixo, se deu por questões práticas, já que ela será usada obrigatoriamente no eixo do rolete inferior. Mas você poderá fazer opção por um eixo liso, desde que tenha o mesmo diâmetro do centro dos rolamentos de skate, que é por onde o eixo irá passar. Esses rolamentos de skate são introduzidos no interior do rolete, nas suas extremidades. O eixo então passará por dentro deles, como mostra a Figura 35.

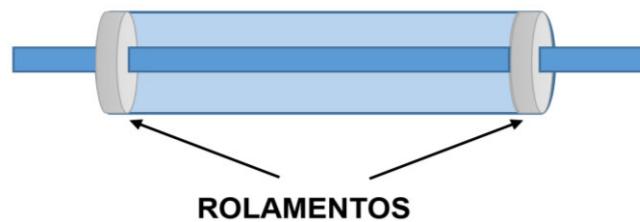


Figura 35: Modelo do rolete construído pelo autor.

É necessário que os rolamentos sejam envoltos por uma camada de fita isolante para que entrem sobre pressão no interior do rolete. Esse rolete repousará sobre os rasgos paralelos feitos na extremidade superior da coluna de apoio e no cap superior. Dessa forma o rolete superior irá girar em relação à barra rosqueada. Na Figura 36, é possível observar o rolamento encaixado em uma das laterais do cano de PVC utilizado pelo autor para os roletes.



Figura 36: Rolamento de skate encaixado no cano de PVC usado no rolete superior.

### 3 - ESCOVAS METÁLICAS

A escova superior foi produzida com tela metálica e fixada em um pedaço de madeira através de 2 parafusos. Nesses parafusos, é preso um fio de cobre que manterá contato com a cúpula de descarga. É através desse fio que as cargas elétricas são transferidas para a cúpula. A base de madeira da escova superior é fixada no cap superior com supercola. É importante manter as pontas da escova

superior bem próximas, mas nunca em contato com a correia. A escova inferior é exatamente igual à escova superior, fixada da mesma forma no cap inferior. A ponta do fio de cobre ligada à escova inferior deverá ser ligada à terra. A Figura 37, mostra as escovas metálicas inferior e superior.



Figura 37: À esquerda a escova metálica inferior, e à direita a escova superior.

#### 4 - MONTAGEM DO ROLETE INFERIOR

Essa, sem dúvidas, é a parte mais trabalhosa da montagem. Para o rolete inferior, foi utilizado um pedaço de cano de PVC, mas sem revestimento, pois o PVC, de acordo com a série triboelétrica, irá adquirir carga elétrica negativa após o atrito com a correia. Nas extremidades do rolete inferior, foram colados 2 caps. No centro de cada cap, foi feito um furo de 8mm de diâmetro, por onde passará o eixo do rolete. Esse eixo é feito da mesma barra rosqueada utilizada no rolete superior, com um tamanho de aproximadamente 35 cm, e será colocada sob pressão no rolete inferior, evitando que o eixo gire em relação ao rolete. Essa barra obrigatoriamente deverá ser rosqueada, já que serão utilizadas algumas porcas no corpo do eixo para construir o sistema de travamento do rolete, dos rolamentos e das polias. Um pedaço de 50cm dessa barra é necessário para a montagem do eixo. As sobras deverão ser cortadas com uma serra apropriada ou com uma lixadeira.

Passado o eixo por dentro do rolete é hora de criar o primeiro sistema de contraporcas. Esse sistema é feito da seguinte forma: fixe uma porca ao lado do rolete. Segure essa porca com uma chave para travá-la. Coloque outra porca ao lado desta,

e aperte-a com outra chave. Faça o mesmo procedimento do outro lado do rolete. Dessa forma, as porcas ficarão travadas uma em relação à outra, e não irão se deslocar sobre a barra rosqueada, além de evitar que o rolete gire em relação à barra rosqueada. É importante que, ao passar o eixo por dentro do rolete, um dos lados do eixo tenha comprimento maior, pois é desse lado que será encaixado a polia que será conectada posteriormente à polia do motor através de uma correia. Veja o esquema na Figura 38.

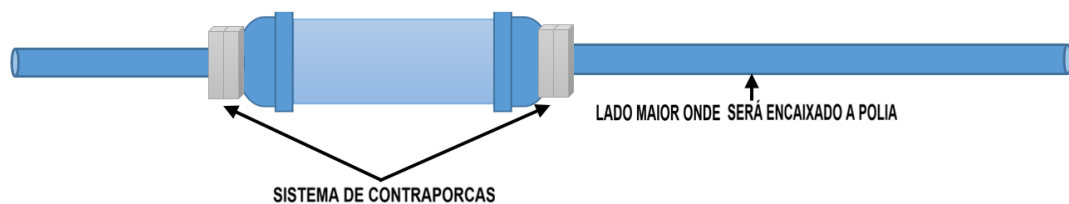


Figura 38: Esquema do sistema de contraporcas.

Feito isso, é hora do segundo sistema de contraporcas, dessa vez para travar os rolamentos. Os rolamentos utilizados no eixo inferior, são os mesmos utilizados no rolete superior. São necessários nessa etapa 4 desses rolamentos. Do lado das porcas utilizadas para travar o rolete, deixe um espaço de 0,5 cm aproximadamente. Coloque duas porcas, realize em seguida o procedimento de travamento. Ao lado dessas duas porcas, coloque dois rolamentos, e logo em seguida execute o outro sistema de contraporcas para travá-los, como mostra a Figura 39.

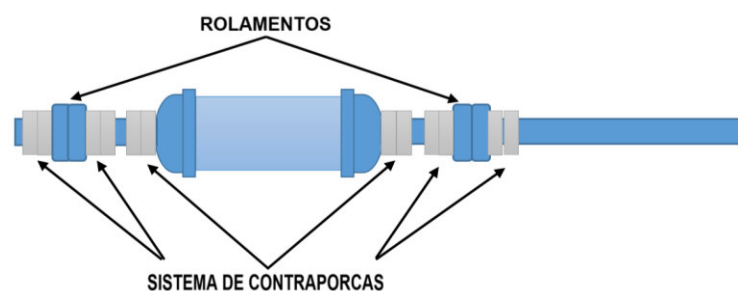


Figura 39: Eixo com os rolamentos colocados.

Em seguida, a polia que será ligada a polia do eixo do motor deverá ser colocada no eixo. Para isso, novamente será usado novamente o sistema de



contraporcas. Nessa parte em especial, recomendamos a colocação de arruelas entre a polia e as correias, como ilustra a Figura 40.

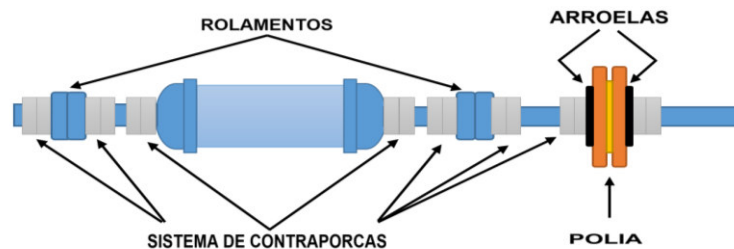


Figura 40: Eixo com polia acoplada.

Abaixo, a Figura 41 mostra o sistema do rolete inferior construído pelo autor. O rolete inferior é confeccionado da mesma forma do superior, colando camadas superpostas para dar o efeito “barrilete” ao rolete. Como o rolete superior foi revestido em couro (extremo positivo da série triboelétrica), o rolete inferior será revestido de teflon, que está no extremo negativo da série triboelétrica. Para isso utiliza-se fita veda-rosca.



Figura 41: Rolete inferior já com o sistema de contraporcas e polia.

Os rolamentos serão apoiados em dois pilares. Esses pilares serão presos à base de madeira por parafusos inseridos pela parte de baixo da base de madeira, como mostra a Figura 42.

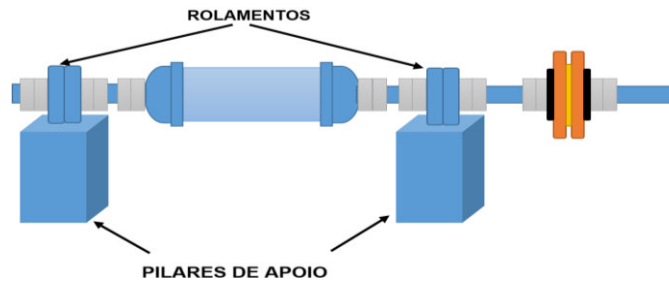


Figura 42: Eixo inferior apoiado sobre os pilares.

A altura dos pilares deve considerar a posição das aberturas laterais feitas na coluna de apoio, por onde passará o eixo do rolete inferior. A Figura 43 ilustra isso. Na Figura 44 vemos o eixo do GVDG construído pelo autor já posicionado sobre os pilares.

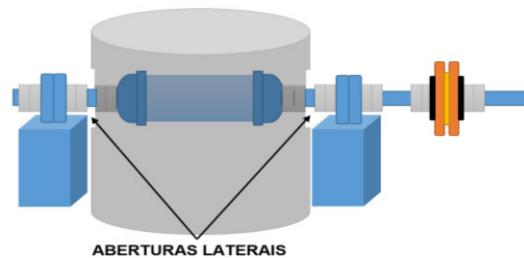


Figura 43. Eixo colocado por dentro das aberturas laterais da coluna de apoio.



Figura 44: Eixo inferior alinhado com a abertura lateral da coluna de apoio (GVDG construído pelo autor).

Abaixo, na Figura 45, vemos o esquema do gerador montado, já com a correia conectando o motor ao eixo inferior do gerador. Na Figura 46 temos uma visão geral do GVDG construído pelo autor.

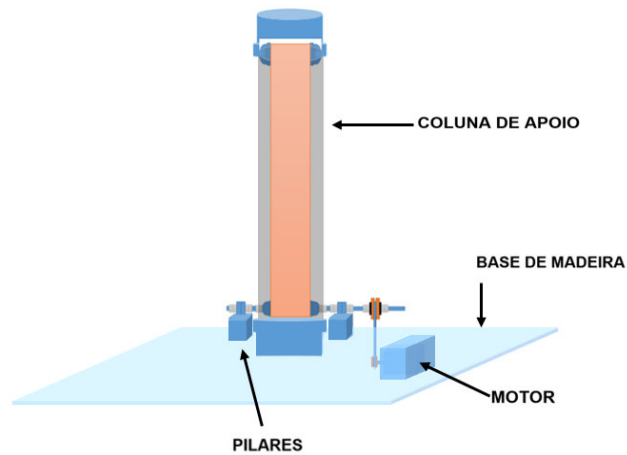


Figura 45: Esquema do GVDG montado.

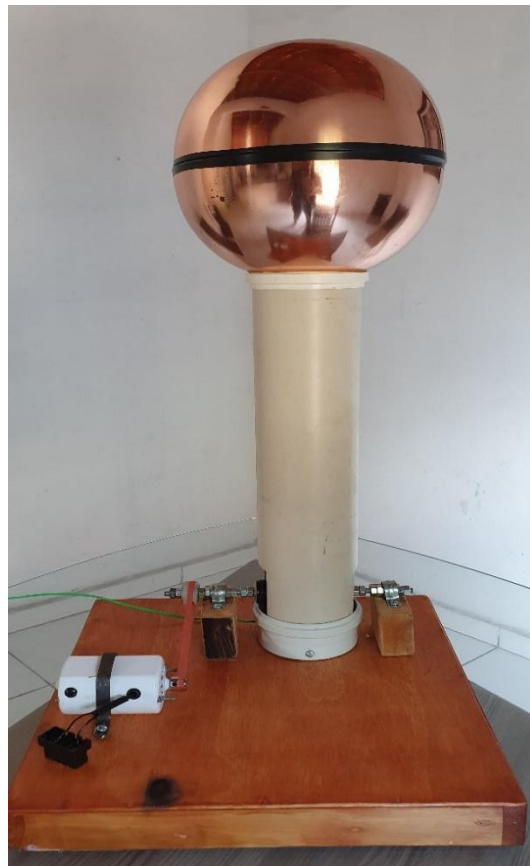


Figura 46: GVDG construído pelo autor.



Caro professor, com o gerador montado observe se ele está funcionando corretamente. Verifique se a correia está girando perfeitamente, sem interrupções, ou se está colidindo com as laterais da coluna de apoio. Retire a cúpula e verifique se a eletricidade estática está sendo produzida. Para isso aproxime um pedaço de linha, ou de papel alumínio, ele deverá ser atraído. Alguns cuidados e recomendações gerais devem ser considerados:

1. Quando se trabalha com eletricidade estática, é preciso considerar que regiões com pontas tendem a fazer as cargas elétricas “sangrarem”, diminuindo assim o acúmulo de cargas na cúpula do gerador. É preciso então, um cuidado especial com o furo feito na metade inferior da cúpula de descarga para a passagem da coluna de apoio. Esse furo criará rebarbas (pontas) que deverão ser retiradas através de uma lixadeira, ou se possível uma argola metálica deverá ser fixada para eliminar essas pontas;

2. Todo tipo de sujeira acumulada, especialmente nos roletes e na correia, pode contribuir para um mal funcionamento do GVDG, pois até mesmo pequenas partículas de sujeira, invisíveis aos nossos olhos, podem formar um bom filme condutor de eletricidade. Dessa forma é aconselhável a limpeza constante do gerador;

3. Materiais usados na estrutura do GVDG, que parecem ser bons isolantes, podem vir a se tornar condutores, devido às altas tensões produzidas pelo GVDG;

4. Motores que utilizam escovas de carvão na sua estrutura, não devem ser utilizados, pois durante o seu funcionamento, o pó formado por essas escovas pode servir como um meio condutor, transferindo assim cargas elétricas da cúpula para a base do GVDG;

5. A umidade relativa do ar é um dos fatores que mais atrapalham experimentos de eletrostático. Umidade com valores acima de 80% podem inviabilizar o funcionamento do GVDG, por isso procura usá-lo em dias secos.

Com os devidos cuidados tomados, coloque a cúpula sobre a coluna de apoio, e aproveite as inúmeras possibilidades que o GVDG pode lhe oferecer. Na sequência serão abordadas as teorias que envolvem o funcionamento do GVDG, e posteriormente uma sequência de atividades experimentais que podem ser realizadas. A ideia proposta nesse trabalho é que o professor aborde as teorias

apresentadas adiante com o uso do GVDG. É uma forma de abordagem diferenciada, pois mostra ao aluno de forma prática como de fato essas teorias funcionam. Na sequência teremos uma série de atividades experimentais, que oferece ao professor a possibilidade de demonstração de alguns conceitos abordados anteriormente de forma teórica, além de possibilitar a contextualização desses conceitos em situações reais do cotidiano dos alunos.

### **6.3 Síntese do funcionamento do GVDG**

O funcionamento geral do GVDG pode ser resumido pela seguinte sequência:

- 1- O rolete inferior é eletrizado pelo atrito com a correia;
- 2- Rolete e correia ficam eletrizados com cargas de sinais contrários;
- 3- Como o cilindro possui área menor que a da correia, a densidade superficial de cargas no cilindro é maior que na correia;
- 4- Cargas elétricas de sinal contrário à do cilindro são atraídas para as pontas da escova;
- 5- O campo elétrico estabelecido entre a escova e o rolete inferior torna-se intenso, ionizando o ar e criando um plasma condutor (efeito corona);
- 6- O ar então passa a ser condutor, e cargas elétricas pulam da escova para a superfície do rolete inferior;
- 7- A correia intercepta essas cargas, que aderem a ela;
- 8- O cilindro, ao girar, faz com que essas cargas sejam transportadas para a parte de cima do GVDG através da correia;
- 9- O ar existente entre a correia e a escova superior também é ionizado, fazendo com que as cargas elétricas da correia sejam transportadas para a escova superior através do plasma condutor, e essas cargas então são drenadas para a cúpula de descarga através do fio conectado à escova;
- 10- O atrito da correia com o rolete superior, faz com que ela adquira carga elétrica negativa. Ao descer, intensifica o campo elétrico entre o rolete inferior e a escova metálica;
- 11- O processo se repete de forma contínua, eletrizando cada vez mais a cúpula de descarga.

## 7 TEORIAS QUE ENVOLVEM O FUNCIONAMENTO DO GVDG

### 7.1 Poder das pontas

Considere a situação abaixo em que uma esfera metálica de raio  $R_1$ , é ligada por um fio à cúpula do gerador. O potencial elétrico  $V$ , do gerador, é mantido constante. Dessa forma, ele irá transferir cargas para a esfera, até que ela atinja o mesmo potencial elétrico  $V$ . Veja a ilustração na Figura 47.

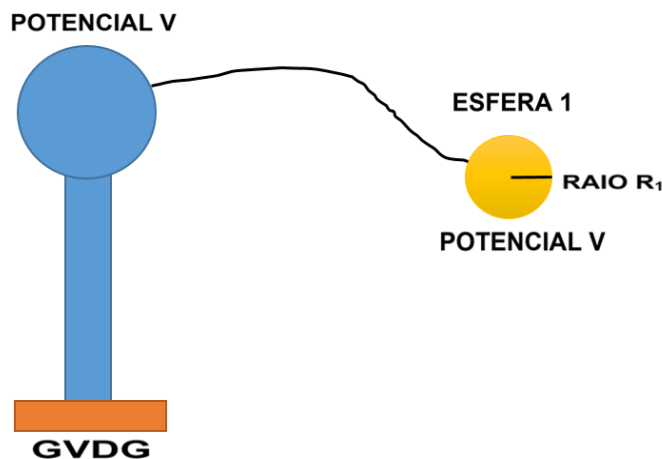


Figura 47: GVDG transferindo cargas para a esfera de raio  $R_1$ , até que a esfera atinja o mesmo potencial elétrico  $V$ .

A quantidade de cargas recebidas pela esfera depende do valor da sua capacitância elétrica  $C_1$ . Essas grandezas se relacionam de acordo com a seguinte equação:

$$Q = C_1 \cdot V$$

A quantidade de cargas por unidade de área acumulada na superfície da esfera é dada pela equação:

$$\sigma = \frac{Q}{S}$$

Onde  $S$ , representa a área da superfície esférica, que é dada por:

$$S = 4\pi R^2$$

Dessa forma temos:

$$\sigma = \frac{C_1 \cdot V}{4\pi R^2}$$

A capacitância da esfera pode ser representada pela seguinte equação:

$$C = \frac{R}{K}$$

Onde  $K$  representa a constante eletrostática do meio. Essa equação nos mostra que a capacitância da esfera depende exclusivamente do seu raio e do meio em que ela está inserida. Podemos então relacionar a capacitância e a densidade superficial de cargas da seguinte forma:

$$\sigma = \frac{R \cdot V}{K \cdot 4\pi \cdot R^2}$$

$$\sigma = \frac{V}{K \cdot 4\pi \cdot R}$$

Como  $V$ ,  $K$  e  $\pi$ , são constantes, podemos concluir que a densidade superficial de cargas é inversamente proporcional ao raio da esfera, ou seja, quanto menor o raio da esfera, maior a concentração de cargas em sua superfície. Essa concentração de cargas é um ótimo indicador da intensidade do campo elétrico ao redor de um corpo eletrizado. No caso de uma esfera eletrizada, o campo elétrico representado através de linhas de força tem o aspecto mostrado na Figura 48.

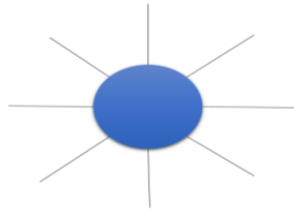


Figura 48: Representação do campo elétrico de uma esfera eletrizada através das linhas de força.

Podemos interligar várias esferas simétricas com a primeira, de forma que cada esfera seja menor que a anterior, como mostra a Figura 49.

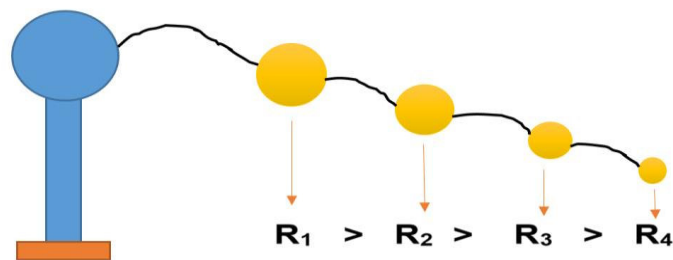


Figura 49: Esferas interligadas.

Não é necessário que as esferas sejam interligadas por fios, podemos interligá-las apenas encostando uma esfera na outra da seguinte forma, como ilustrado na Figura 50.



Figura 50: Esferas simétricas interligadas formando uma "ponta".

A figura acima nos dá uma boa definição do que é considerado uma ponta. Com esferas cada vez menores, o campo elétrico na região mais pontiaguda torna-se cada vez maior, ionizando o ar ao seu redor, e assim tornando-o condutor. Esse é o plasma, ou quarto estado da matéria. Dessa forma, as cargas acumuladas na região

das pontas, fluem através do plasma, gerando a faísca. Esse fenômeno é conhecido como ruptura dielétrica.

## 7.2 Ruptura dielétrica

Na natureza, podemos dividir os materiais em dois grandes grupos: os condutores e os isolantes. Materiais condutores, possuem em sua estrutura atômica, elétrons mais afastados do núcleo que estão fracamente ligados a ele, são os chamados elétrons livres. São esses elétrons os responsáveis por conduzir o fluxo de cargas através da superfície do condutor. Já nos materiais isolantes, essa mobilidade praticamente não existe, pois os elétrons estão fortemente ligados ao núcleo.

Ocorre que, quando submetidos a diferenças de potenciais muito elevadas, materiais isolantes podem ser ionizados, tornando-se assim, materiais condutores. Isso é muito comum ocorrer, por exemplo, no ar atmosférico. Relâmpagos são exemplos clássicos desse fenômeno chamado de **ruptura dielétrica**. Para o ar, essa ruptura ocorre para campos elétricos da ordem de  $3 \times 10^6$  V/m.

CURIOSIDADE: No acelerador Pelletron, utilizado no Instituto de Física da USP, é produzida uma tensão de aproximadamente 8MV. Essa tensão é utilizada para acelerar partículas em direção a um alvo. Logo, seria impossível atingir tal valor de tensão elétrica no ar. Por esse motivo, usa-se um gás, o hexafluoreto de enxofre ( $\text{SF}_6$ ), cuja rigidez dielétrica é muito maior que a do ar, permitindo assim que a tensão desejada seja atingida, sem que haja a ruptura dielétrica do meio.

## 7.3 Processos de eletrização

Como a correia e o rolete são feitos de materiais diferentes, o contato constante (denominado atrito) entre os dois materiais, que são diferentes, faz com que a correia e o rolete se eletrizem com cargas de sinais contrários. Como a correia é de borracha e a o rolete é de PVC, pela série triboelétrica, podemos concluir que a correia se eletriza com carga positiva e o rolete com carga negativa. A Figura 51 ilustra isso.

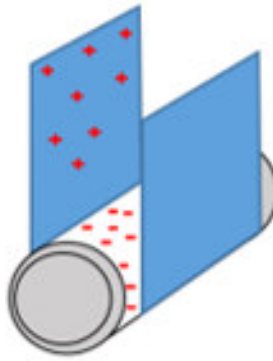


Figura 51: Rolete e correia eletrizados após serem atritados.

O que acontece de fato, é que cargas elétricas das camadas mais afastadas dos núcleos dos materiais do rolete e da correia são transferidas de um material para outro em quantidades diferentes. O desequilíbrio nessa quantidade de cargas transferidas é que ocasiona a eletrização dos dois materiais. Como os dois materiais são isolantes, quantidades iguais de cargas elétricas são isoladas e armazenadas na superfície interna da correia e na superfície externa do cilindro. Esse processo é conhecido como eletrização por atrito. De certa forma, o atrito nada mais que o contato feito de forma mais contundente entre os materiais através de uma área maior, por isso, é mais adequado se referir a esse processo, como eletrização por contato, já que nenhum atrito é requerido de fato. A Figura 52 ilustra essa situação.

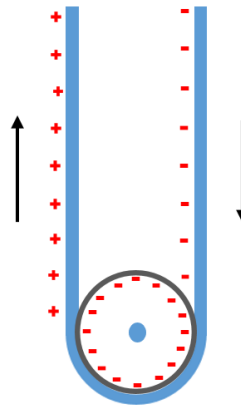


Figura 52: Cilindro e correia eletrizados.

Como a escova metálica inferior está ligada à terra, a proximidade com o cilindro eletrizado negativamente faz com que os elétrons do metal sejam repelidos e direcionados para a terra, e ao mesmo tempo cargas positivas são atraídas para as

pontas da escova. O que ocorre nesse caso é a separação das cargas da escova metálica, provocando nela uma polarização elétrica. Esse processo é denominado indução eletrostática. Veja na figura 53 a ilustração dessa situação.

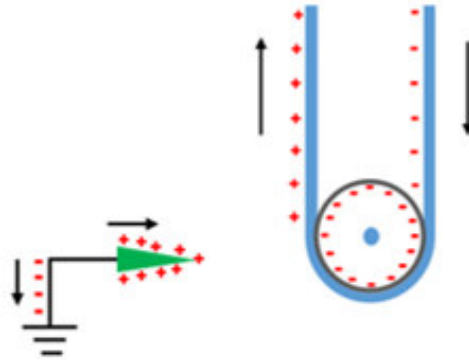


Figura 53: Polarização de cargas na escova metálica inferior.

Nas pontas da escova, devido à alta densidade superficial de cargas, forma-se um campo elétrico bastante intenso entre suas pontas e a superfície do cilindro. As moléculas de ar presentes nessa região, sofrem ionização devido à forte interação elétrica, e dessa forma as pontas da escova arrancam elétrons das moléculas do ar (efeito corona). O plasma formado, possui então elétrons livres, que funcionam como um excelente condutor elétrico. Assim, elétrons são atraídos pela ponta positiva da escova metálica, e íons positivos vão em direção ao rolete negativo. Esses íons positivos são interceptados pela correia e aderem a ela. A Figura 54 ilustra isso.

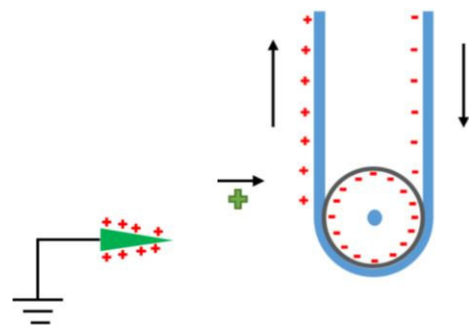


Figura 54: Íons positivos indo em direção à correia por meio do plasma condutor.



Essa interceptação de cargas feita pela correia, evita que a carga elétrica do cilindro seja totalmente cancelada, pois apenas uma pequena parte da carga que se desloca pelo plasma em direção à correia, chega até o cilindro, anulando uma quantidade de carga muito pequena da sua superfície.

Ao subir, a correia leva cargas elétricas para o topo do gerador. Dessa vez o rolete superior irá se comportar de forma oposta ao rolete inferior. As cargas elétricas positivas da correia atraem os elétrons livres da escova metálica para a região das suas pontas. A alta concentração de cargas negativas nas pontas da escova metálica cria um campo elétrico bastante intenso, ionizando o ar da região entre as pontas da escova metálica e o rolete superior, criando assim um plasma condutor. Cargas positivas então, são captadas pela escova metálica superior, e posteriormente são transferidas para a superfície externa da cúpula de descarga através de um fio conectado a ela. Veja na Figura 55 a ilustração dessa situação.

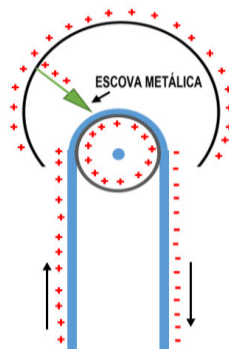


Figura 55: Escova metálica superior drenando cargas para a cúpula de descarga do GVDG.

Ao mesmo tempo, elétrons livres do ar ionizado vão em direção à correia, neutralizando momentaneamente sua carga positiva, mas devido o atrito com o rolete superior que é revestido em couro, a correia se eletriza com carga negativa. A correia então desce eletrizada. Dessa forma, a concentração de cargas negativas na região próxima à escova inferior, se torna maior, pois teremos as cargas negativas do rolete inferior somadas às cargas negativas da correia, potencializando assim, a transferência de íons positivos da escova inferior para a correia.

É importante observar, que invertendo a posição dos roletes, teríamos a cúpula eletrizada com carga negativa. Outra possibilidade, é usar o rolete superior em material metálico, dessa forma ele não seria eletrizado por atrito com a correia, e a

correia desceria neutra. Teríamos então apenas uma corrente elétrica global no sentido ascendente.

#### 7.4 Condutor em equilíbrio eletrostático – Lei de Gauss

A lei de Gauss tem muito a nos esclarecer sobre o condutor em equilíbrio eletrostático e consequentemente sobre o GVDG. De fato, como veremos mais adiante, o campo elétrico nulo no interior de um condutor em equilíbrio eletrostático é uma consequência da lei de Gauss. A lei de Gauss nos mostra que o fluxo elétrico total através de uma superfície fechada é dado por:

$$\Phi_E = \oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{Q_{int}}{\epsilon_0}$$

Onde  $Q_{int}$  representa a carga interna total dentro da superfície, e  $\vec{E}$  o campo elétrico em qualquer ponto da superfície, como podemos observar na Figura 56. Para determinar o campo elétrico de uma carga pontual  $q$  através da lei de Gauss, vamos utilizar uma superfície gaussiana esférica de raio  $r$ , centrada em  $q$ .

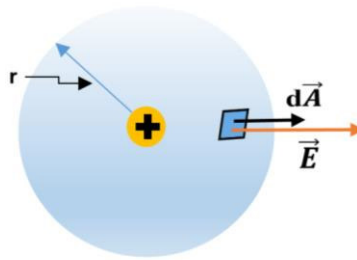


Figura 56: Superfície gaussiana esférica em torno da carga  $q$ .

Por simetria,  $\vec{E}$  é paralelo a  $d\vec{A}$ , então temos que:

$$\begin{aligned} \Phi_E &= \oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \Phi_E = \oint \vec{E} \cdot d\vec{A} \cos 0 \\ &= E \oint dA = EA \\ &= \left( \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2} \right) (4\pi r^2) = \frac{q}{\epsilon_0} \end{aligned}$$

Vamos agora considerar um condutor em equilíbrio eletrostático. Pela definição, não há movimento de cargas elétricas em seu interior, logo o campo elétrico no interior de um condutor em equilíbrio eletrostático deve ser nulo, ou seja  $\vec{E}_{int} = 0$ . Se não fosse, a presença do campo elétrico faria com que as cargas fossem aceleradas, contrariando assim o conceito de condutor em equilíbrio eletrostático.

Tomemos uma superfície gaussiana no interior de um condutor em equilíbrio eletrostático. Podemos aproximar a superfície gaussiana o mais próximo possível da superfície do condutor se quisermos, como mostra a Figura 57.

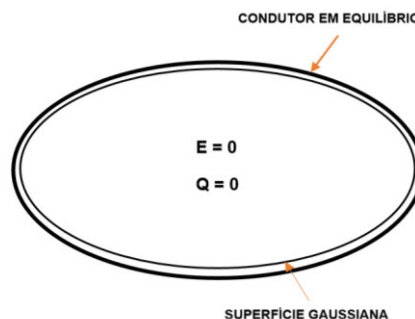


Figura 57: Superfície gaussiana próxima à superfície do condutor em equilíbrio eletrostático.

Como o campo elétrico é nulo no interior do condutor em equilíbrio eletrostático, o fluxo através da superfície gaussiana é nulo. Logo, se  $\Phi_E = 0$ , a lei de Gauss nos assegura que  $Q_{int} = 0$ . Dessa forma, não há carga líquida no interior da superfície. Por consequência, toda carga em excesso de um condutor, deverá estar localizada em sua superfície. Assim, ao transferir carga para um condutor, através de uma ponta metálica conectada a um corpo carregado, por exemplo, a carga total transferida se dirige imediatamente para a superfície do condutor, até que ele entre em equilíbrio eletrostático, como ilustra a Figura 58. É isso que acontece com a cúpula de descarga do GVDG que recebe as cargas da escova metálica superior.

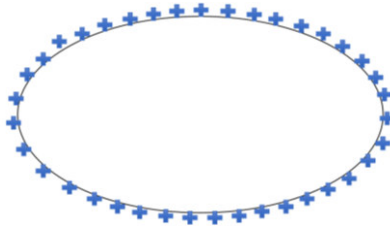


Figura 58: Cargas elétricas distribuídas na superfície de um condutor em equilíbrio eletrostático.

A carga distribuída na superfície do condutor, gera uma densidade superficial de carga  $\sigma \neq 0$ . Como existe carga na superfície, deve haver então um campo elétrico  $\vec{E}$  não nulo no lado de fora da superfície. Para não contrariar o conceito de equilíbrio eletrostático, não poderá existir componente tangencial à superfície do condutor, pois se tivesse, haveria um movimento de cargas na superfície. Logo, o campo elétrico deverá ser perpendicular à superfície do condutor em equilíbrio eletrostático, como podemos ver na Figura 59.

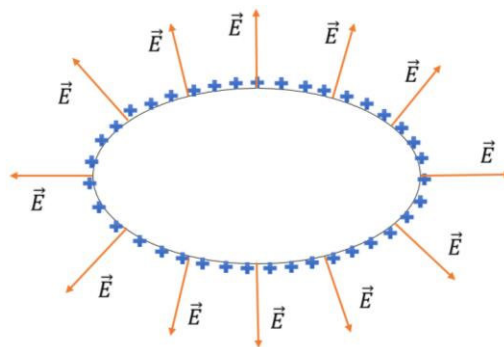


Figura 59: O campo elétrico é perpendicular à superfície do condutor em equilíbrio eletrostático.

Pelo o que foi descrito acima, a lei de Gauss nos traz um conceito importante para o entendimento do funcionamento do GVDG. A cúpula de descarga do GVDG, ao receber as cargas elétricas trazidas pelo fio conectado à escova metálica superior, faz com que essas cargas elétricas se espalhem pela sua superfície, atingindo assim o equilíbrio eletrostático. Da mesma forma, podemos concluir que o campo elétrico na superfície da cúpula do gerador é perpendicular a ela. Na sessão de experimentos, que se encontra no final desse produto educacional, constataremos essa teoria.

## 7.5 O balde de gelo de Faraday e a cúpula de descarga do GVDG

Faraday realizou um experimento em que buscava eletrizar um balde metálico utilizando uma pequena esfera eletrizada. Ao tocar a pequena esfera eletrizada no lado de fora do balde, Faraday observou que a esfera eletrizada transferia parte de sua carga para o balde metálico. Repedindo o procedimento, só que colocando a esfera eletrizada em contato com a parte interna do balde metálico, Faraday observou que a esfera voltava neutra, ou seja, toda a carga da esfera era transferida para o balde metálico.

Na Figura 60, é possível observar que ao introduzir a esfera eletrizada no interior do balde metálico, mas sem tocá-lo, ocorre um processo de indução eletrostática: cargas de mesmo sinal da esfera eletrizada são atraídas para a superfície interna do balde metálico, e cargas de sinal contrário ao da esfera eletrizada são repelidas para a superfície externa do balde metálico.

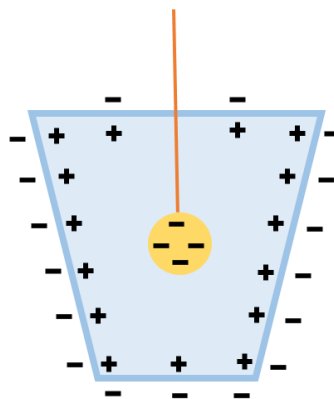


Figura 60: Separação das cargas elétricas do balde provocada pela presença da esfera eletrizada.

Já ao tocar a superfície interna do balde metálico, toda a carga da esfera é transferida para o balde. A explicação para isso é simples: ao colocar a esfera eletrizada em contato com a superfície interna do balde, a lei de Gauss determina que a carga interna de um condutor em equilíbrio eletrostático seja nula, logo toda a carga da esfera é transferida para o balde, e posteriormente essa carga se espelha pela superfície externa do balde metálico. Balde metálico e esfera eletrizada formam assim um único condutor em equilíbrio eletrostático.

Podemos interpretar o que ocorre com a experiência do balde de gelo de Faraday de outra forma. Observe a Figura 61: a casca esférica de raio  $R$  e carga elétrica assumida  $Q$ , representa a cúpula de descarga do GVDG, e a esfera menor

de raio  $r$  e carga  $q$ , que se encontra dentro da casca esférica, representa a porção da correia eletrizada que ainda não transferiu cargas para a cúpula de descargas do GVDG.

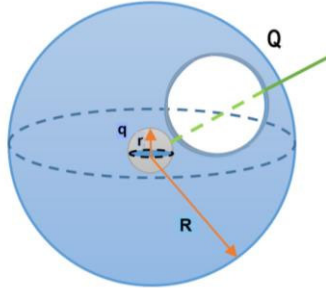


Figura 61: Esfera eletrizada  $q$  dentro da casca esférica que representa a cúpula de descarga do GVDG. A esfera eletrizada por sua vez, representa a porção eletrizada da correia transportadora de cargas.

Em relação aos potenciais elétricos, temos que para a cúpula o potencial  $V_c$  se deve à própria carga da casca esférica como também à carga da esfera eletrizada que se encontra no seu interior. O mesmo raciocínio vale para o potencial elétrico  $V_e$  da esfera, que também se deve à sua própria carga como também à carga da casca esférica. Assim temos para o potencial da casca esférica:

$$V_c = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left( \frac{Q}{R} + \frac{q}{R} \right)$$

E para o potencial da esfera:

$$V_e = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left( \frac{Q}{R} + \frac{q}{r} \right)$$

Calculando a diferença de potencial entre a casca e a esfera:

$$\begin{aligned} V_e - V_c &= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left( \frac{Q}{R} + \frac{q}{r} \right) - \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left( \frac{Q}{R} + \frac{q}{R} \right) \\ V_e - V_c &= \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \left( \frac{1}{r} - \frac{1}{R} \right) \end{aligned}$$

Ao colocar a esfera em contato com a casca esférica temos que  $V_e - V_c = 0$ , pois eles formam um único condutor em equilíbrio eletrostático, e isso só é possível para  $q = 0$ . Logo temos que a carga externa aumenta gradativamente para um valor  $Q + q$ . A mesma situação ocorre com a cúpula de descarga do GVDG, mas ao invés de utilizar uma bolinha metálica para eletrizar a cúpula, essas cargas são trazidas pela correia do GVDG e transferidas para a cúpula através do fio metálico conectado à escova metálica superior.

O GVDG usa esse princípio para obter tensões elétricas elevadas. Mesmo que a cada ciclo da correia, a carga elétrica fornecida por ela seja em quantidades pequenas, esse ciclo se repete continuamente, e a cúpula de descarga se eletriza cada vez mais. É importante observar que essa eletrização não é infinita. Diversos fatores, como irregularidades na superfície da cúpula de descarga, sujeiras acumuladas na correia e na superfície da cúpula que acabam formando um filme condutor de eletricidade, objetos próximos que acabam por “sugar” parte da carga armazenada na cúpula, além da ruptura dielétrica do ar, acabam determinando um potencial de eletrização limitado.

Professor, as teorias que envolvem o funcionamento do GVDG mostradas acima, devem ser abordadas com os alunos em sala de aula. É uma forma diferente de trabalhar esses conceitos físicos. Abaixo teremos algumas propostas de atividades experimentais, que são o complemento da proposta. Procure sempre atuar como orientador das atividades, deixando os alunos com o máximo possível de autonomia, mas com o cuidado necessário para evitar acidentes, pois estamos lidando com eletricidade, e os riscos são sempre inerentes.

## **8 PROPOSTAS DE ATIVIDADES EXPERIMENTAIS COM O USO DO GVDG**

### **8.1 Cálculo do potencial na superfície externa da cúpula do GVDG**

**Subsúncor necessário para a realização dessa atividade: potencial elétrico em uma superfície esférica.**

1 - OBJETIVOS:

- Identificar que a faísca produzida pelo GVDG dependerá do campo elétrico suficiente para romper a rigidez dielétrica do ar;

- Calcular o potencial elétrico do gerador.

## 2 - MATERIAIS NECESSÁRIOS

- Estrutura do GVDG;

- 1 fita métrica milimetrada.

## 3 – PROCEDIMENTOS

Inicialmente precisamos determinar o raio da esfera que forma a cúpula do GVDG. Para isso precisamos usar a fita milimetrada. A fita deve ser posicionada na região onde as duas bacias foram unidas. A medida encontrada será a do comprimento da circunferência. Para o cálculo do raio (***R***), utilizamos a seguinte expressão matemática para o comprimento da circunferência:

$$C = 2\pi R$$

onde ***R***, representa o raio da esfera.

O potencial elétrico máximo ao qual pode ser submetido a cúpula do GVDG, depende do campo elétrico máximo ao qual o ar pode ser submetido, antes que ocorra a sua ruptura dielétrica e ele se torne condutor. Considerando condições normais de pressão atmosférica, o ar suporta um valor máximo de campo elétrico que é da ordem de  **$3 \times 10^6 \text{ V/m}$**  (***E<sub>máx</sub>***). Para o cálculo do potencial máximo ao qual a cúpula é submetida, tomaremos como base esse valor de campo elétrico e usaremos a seguinte equação:

$$V_{\text{máx}} = R \cdot E_{\text{máx}}$$

## 8.2 Cálculo da quantidade de carga acumulada na cúpula de descarga do GVDG

**Subsunçor necessário para a realização dessa atividade: cálculo da quantidade de carga acumulada em uma superfície esférica.**

### 1 - OBJETIVOS:

- Calcular a quantidade de carga acumulada na cúpula de descarga do GVDG.



## 2 - MATERIAIS NECESSÁRIOS

- Estrutura do GVDG;
- 1 centelhador.

## 3 - PROCEDIMENTOS

Utilizaremos um centelhador para provocar a ruptura dielétrica do ar. Para a construção do centelhador, utilizamos uma lata de refrigerante presa a um cabo isolante de PVC. A Figura 62 mostra o esquema do centelhador.

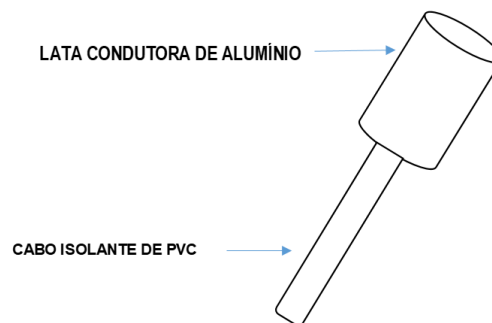


Figura 62: Centelhador feito de lata de alumínio e um pedaço de cano de PVC.

Aproxime o centelhador da cúpula de descarga do GVDG. Ao surgir a centelha temos a indicação da ruptura dielétrica do ar, e de que o potencial máximo  $V_{máx}$  foi atingido, considerando o campo elétrico  $E_{máx} = 3 \times 10^6 \text{ V/m}$  para o ar. Para determinar a quantidade de carga acumulada na cúpula utilizamos a equação seguinte:

$$Q = \frac{V_{máx} \cdot R}{K}$$

onde K, representa a constante eletrostática no vácuo.

Pode-se ainda determinar o número de elétrons livres distribuídos na superfície do gerador através da seguinte equação:

$$n = \frac{Q}{e}$$

onde  $e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$ , e representa o valor da carga elementar.

### 8.3 O poder das pontas – torniquete elétrico

**Subsunção necessário para a realização dessa atividade: poder das pontas.**

#### 1 - OBJETIVOS:

- Identificar o fenômeno do poder das pontas através do torniquete elétrico;
- Identificar a ação do campo elétrico;
- Identificar o princípio da ação e reação.
- Identificar o fenômeno do vento elétrico.

#### 2 - MATERIAIS NECESSÁRIOS

- Estrutura do GVDG
- 1 lata de alumínio para construção do torniquete elétrico;
- 1 base isolante para fixação do torniquete elétrico
- Cola epóxi
- Pedaco de isopor
- 50 cm de fio de cobre de 2,5 mm desencapado nas pontas

#### 3 - PROCEDIMENTOS

##### MONTAGEM DO TORNQUETE E BASE DE APOIO

Inicialmente é necessário a construção do torniquete. Para isso utiliza-se uma lata de alumínio de refrigerante que será cortada com uma tesoura. No centro do torniquete é necessário criar uma depressão, onde será encaixado a ponta do prego da base isolante. O torniquete será apoiado sobre o prego nessa depressão. O torniquete deverá ter a forma mostrada na Figura 63.

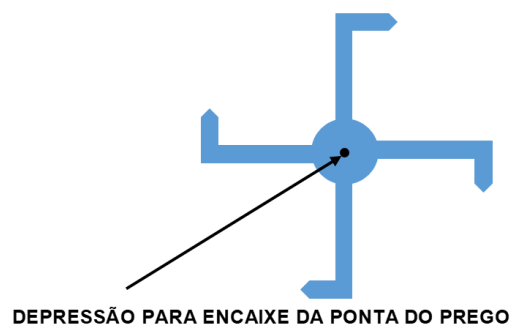


Figura 63: Modelo do torniquete.

Para a base isolante é será utilizado um prego e uma base de madeira. Faz-se um furo na base de madeira, com diâmetro suficiente para a passagem da cabeça do prego. O prego dessa forma será introduzido nesse furo de cabeça pra baixo, com a ponta virada pra cima, como mostra a Figura 64. Para evitar que o prego se mova enquanto o torniquete estiver girando, coloca-se cola epóxi para preencher o furo. Como em experimentos de eletrostática, a madeira geralmente tem comportamento condutor, o ideal é colar um pedaço de isopor na base de madeira, para evitar que cargas elétricas escoem para a terra.

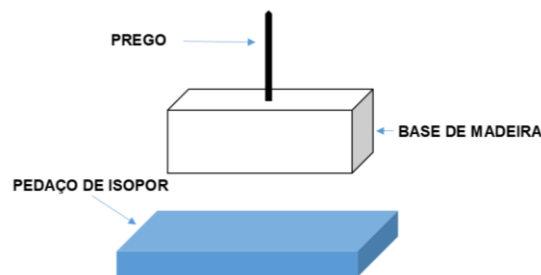


Figura 64: Esquema da base de apoio do torniquete.

Com o gerador desligado, fixe uma ponta do fio de cobre na base superior da cúpula de descarga do GVDG. A outra ponta deverá ser presa no prego da base isolante. Ligue o gerador e observe que o torniquete começa a girar.

#### 4 - COMENTÁRIO

As cargas elétricas produzidas pelo GVDG são transferidas para o prego e posteriormente para a superfície do torniquete. O torniquete então fica eletrizado, e adquire mesmo potencial elétrico da superfície da esfera. Pelo auto potencial e pelo poder das pontas, o campo elétrico na região das pontas fica bastante elevado. Este campo elétrico elevado, provoca a ionização das moléculas que compõem o ar próximo das pontas do torniquete. Essas moléculas ficam carregadas com cargas de mesmo sinal das pontas. Esses íons são então repelidos pelas pontas do torniquete. Pelo princípio da ação e reação, esses íons empurram as pontas do torniquete com força igual à que recebem, fazendo com que o torniquete gire no sentido contrário às suas pontas, como ilustra a Figura 65. Esse fenômeno é chamado de *vento elétrico*.

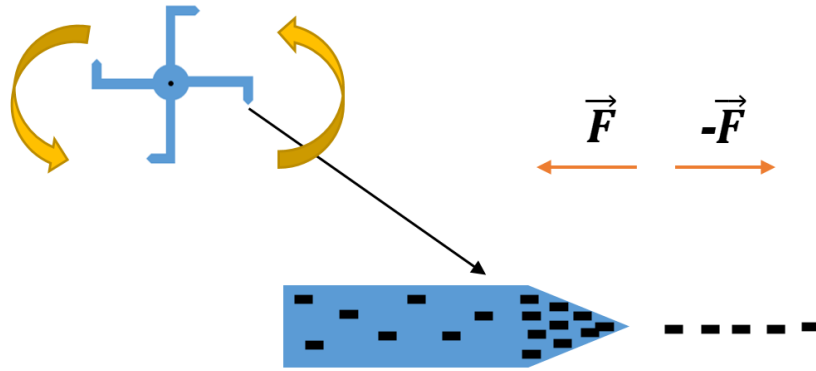


Figura 65: Torniquete elétrico. O vento elétrico faz o torniquete girar no sentido contrário às suas pontas.

#### 8.4 Testando a extensão da faísca produzida pelo do GVDG

**Subsunçor necessário para a realização dessa atividade: rigidez e ruptura dielétrica.**

##### 1 - OBJETIVOS:

- Identificar que a centelha produzida depende do campo elétrico suficiente para romper a rigidez dielétrica do ar;
- Identificar os fatores que influenciam na produção da centelha.

##### 2 - MATERIAIS NECESSÁRIOS:

- Estrutura do GVDG
- 1 centelhador

##### 3 - PROCEDIMENTOS

Ligue o gerador. Na sequência aproxime o centelhador até que a faísca surja. Aos poucos vá afastando o centelhador, e observe a que distância a faísca deixou de ocorrer.

##### 4 - COMENTÁRIO

Depois de uma certa distância, observa-se que não é mais possível observar a geração de centelhas entre a cúpula de descarga do GVDG e o centelhador. Nesse caso, o campo elétrico entre a cúpula de descarga do GVDG e o centelhador passou a ter valor inferior ao campo elétrico necessário para romper a rigidez dielétrica do ar ( $E_{m\acute{a}x} = 3 \times 10^6 \text{ V/m}$  ou  $3 \times 10^4 \text{ V/cm}$ ) Além disso, outros fatores podem influenciar na formação da centelha. Deformidades na superfície da cúpula do GVDG como pontas ou depressões, ou até mesmo sujeiras ou gordura localizadas na superfície da cúpula

tendem a formar um fio condutor que acabam atrapalhando a geração das centelhas. Mas sem dúvidas, o fator que mais influencia na geração do campo elétrico entre a cúpula de descarga e o centelhador, é a umidade do ar.

O ar úmido, tem rigidez dielétrica menor que a do ar seco, fazendo com que o processo de centelhamento ocorra de forma mais acelerada, com valores de campo elétrico bem menores. Por isso, o ideal é realizar experimentos de eletrostática em dias secos. Para minimizar os efeitos da umidade do ar, pode-se fazer uso de um secador de cabelo na estrutura do GVDG, tomando cuidado para usá-lo em potência baixa e com uma certa distância para o gerador. Outra dica é realizar experimentos de eletrostática em ambientes que tenham ar-condicionado. O ar-condicionado trabalha retirando umidade do ar, facilitando assim essas atividades.

## **8.5 Linhas de força em um dipolo elétrico**

**Subsunção necessário para a realização dessa atividade: configuração de linhas de força de um dipolo elétrico**

### **1 - OBJETIVOS:**

- Identificar a configuração das linhas de força em um dipolo elétrico;
- Entender como ocorre a polarização nos dielétricos;
- Identificar como o campo elétrico se comporta nas proximidades de dois eletrodos pontuais.

### **2 - MATERIAIS:**

- Estrutura do GVDG
- 2 pedaços de fios de 50 cm de comprimento (bitola 2,5 mm);
- 2 porcas com cabeças arredondadas para os eletrodos;
- 1 refratário de vidro com pelo menos 30 cm de comprimento;
- óleo vegetal;
- 2 pedaços de 30 cm de fio de cobre esmaltado;
- Farelo de pão.

### **3 - PROCEDIMENTO**

Inicialmente deve-se fazer a conexão dos eletrodos com os fios de cobre esmaltados. É importante retirar o esmalte das duas pontas desses fios de cobre para

retirar o isolamento. Uma das extremidades de um desses fios é conectada ao eletrodo, e a outra extremidade é conectada à parte superior da cúpula do gerador através do fio de cobre de 2,5 mm. O outro fio de cobre esmaltado é conectado ao outro eletrodo, e a outra ponta deve ser ligada à terra através do fio de cobre de 2,5 mm. Com a ligação feita dessa forma, teremos a configuração de um dipolo elétrico, um eletrodo positivo e outro negativo. Os fios de cobre são dobrados de forma a criar um encaixe para o refratário. Observe o esquema mostrado na Figura 66.

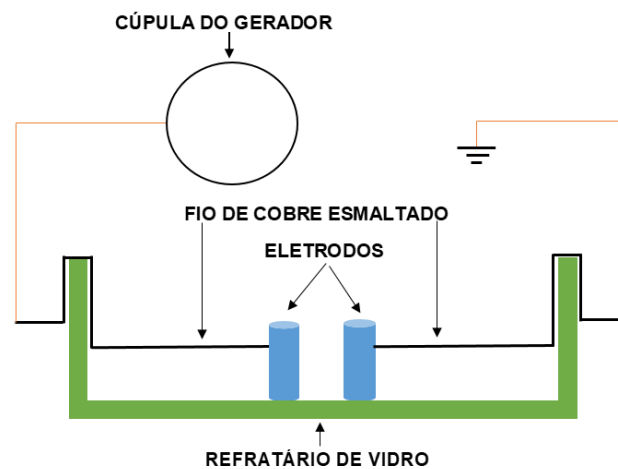


Figura 66: Esquema da montagem dos eletrodos e das ligações elétricas.

Na sequência, despeja-se o óleo vegetal dentro do refratário de vidro, de forma a cobrir metade da altura dos eletrodos. Para formar as linhas de força, jogue um pouco de farelo de pão sobre a superfície do óleo vegetal. Ligue o GVDG e aguarde até que as partículas se alinhem. Desligue o gerador na sequência e observe a disposição das linhas de força. A Figura 67, ilustra o resultado esperado.

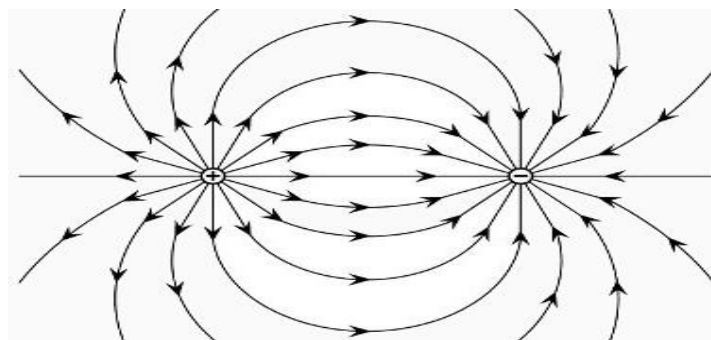


Figura 15: Configuração das linhas de força de um dipolo elétrico. Fonte: Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/fisica/linhas-forca.htm#>

#### 4 - COMENTÁRIO

Durante essa atividade, as partículas de farelo de pão, mesmo sendo neutras e isolantes, se orientam sobre a ação do campo elétrico. Diferente da polarização que ocorre nos condutores, não há acumulação de cargas nos extremos dos dielétricos. Quando os dielétricos são colocados no interior de um campo elétrico, há na verdade uma polarização das suas moléculas, ou seja, cria-se pequenos dipolos. Surge então um campo elétrico de polarização  $\vec{E}_{pol}$ , oposto ao campo elétrico externo  $\vec{E}_{ext}$ . Observe na Figura 68 a ilustração dessa configuração.

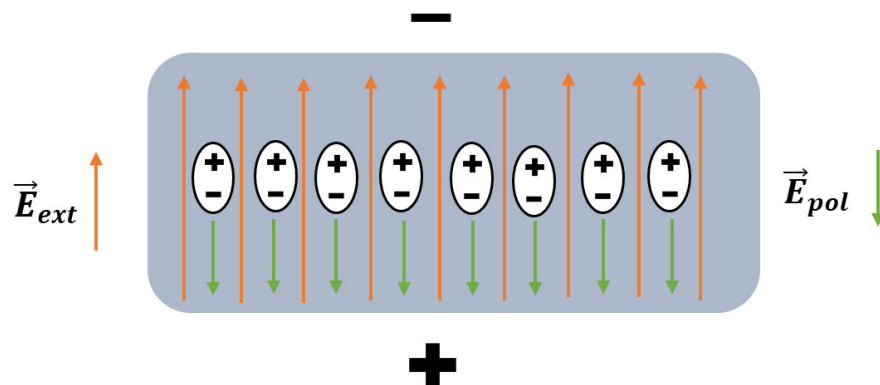


Figura 68: O campo elétrico de polarização no dielétrico é oposto ao campo elétrico externo.

Discuta com seus alunos a relação entre a proximidade das linhas de força e a intensidade do campo elétrico. Na região próxima aos eletrodos o campo elétrico é mais intenso, o que está relacionado a uma maior concentração de linhas de força nessa região. Além disso, é importante observar que em cada ponto das linhas de força, a direção do vetor campo elétrico é tangente à esse ponto, logo, se uma carga de prova for colocada em qualquer um desses pontos, ela irá sofrer a ação de uma força elétrica, e irá se deslocar na direção do vetor campo elétrico. Dessa forma a força elétrica realiza trabalho sobre a carga de prova, transformando energia potencial elétrica em energia cinética, ou o contrário.

#### 8.6 Linhas de força entre dois eletrodos com cargas de mesmo sinal

**Subsuntor necessário para a realização dessa atividade: configuração de linhas de força de duas cargas de sinais opostos.**

##### 1 - OBJETIVOS:

- Identificar a configuração das linhas de força entre dois eletrodos com cargas de mesmo sinal;

- Reconhecer que duas linhas de força jamais se cruzam.

## 2 - MATERIAIS:

- Estrutura do GVDG

- 2 pedaços de fios de 50 cm de comprimento (bitola 2,5 mm);

- 2 porcas com cabeças arredondadas para os eletrodos;

- 1 refratário de vidro com pelo menos 30 cm de comprimento;

- óleo vegetal;

- 2 pedaços de 30 cm de fio de cobre esmaltado;

- Farelo de pão.

## 3 - PROCEDIMENTO

A montagem é semelhante à do experimento anterior, com a diferença que dessa vez os eletrodos devem estar eletrizados com cargas de mesmo sinal. Para isso, conecta-se os dois fios na parte superior da cúpula de descarga do GVDG. As outras duas pontas dos dois fios serão conectadas uma em cada eletrodo, através dos fios de cobre esmaltados, assim os dois eletrodos são eletrizados com carga de mesmo sinal da cúpula. Veja o esquema da montagem na Figura 69.

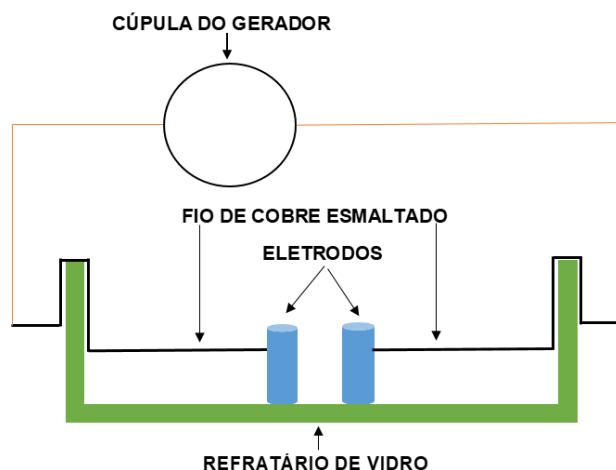


Figura 69: Esquema de montagem para eletrodos com cargas de mesmo sinal.

Na sequência, despeja-se o óleo vegetal dentro do refratário de vidro, de forma a cobrir metade da altura dos eletrodos. Para formar as linhas de força, jogue



um pouco de farelo de pão sobre a superfície do óleo vegetal. Ligue o GVDG e aguarde até que as partículas se alinhem. Desligue o gerador na sequência e observe a disposição das linhas de força. A Figura 70 ilustra o resultado esperado.

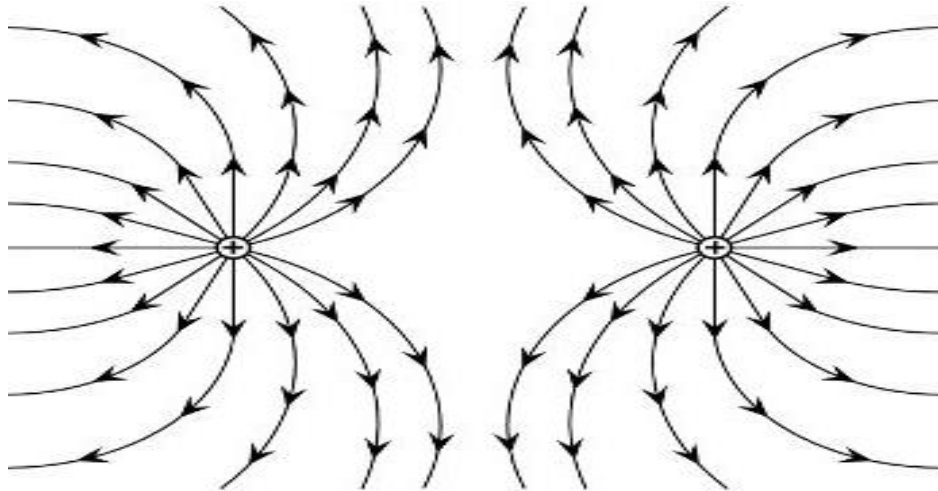


Figura 70: Configuração das linhas de força para dois eletrodos com cargas de mesmo sinal. Fonte: Disponível em: <https://brasilescola.uol.com.br/fisica/linhas-forca.htm#>.

#### 4 - COMENTÁRIO

É importante ressaltar uma propriedade importante das linhas de força: elas jamais se cruzam. Observe a figura abaixo em que duas linhas de força  $r$  e  $l$ , hipoteticamente se cruzam em um ponto A. Como em cada ponto da linha de força o vetor campo elétrico é tangente a ela, teremos dois vetores campo elétrico,  $\vec{E}_r$  e  $\vec{E}_l$ , no ponto A. Isso não seria possível, pois em cada ponto do espaço existe apenas um vetor campo elétrico. Logo, duas linhas de força jamais se cruzam em um ponto, independentemente da configuração de cargas, como mostra a Figura 71.

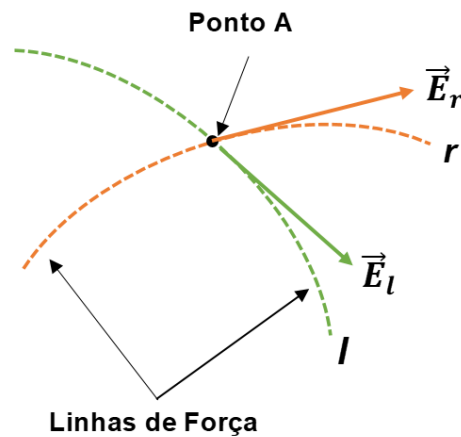


Figura 71: Cruzamento hipotético de duas linhas de força.

## 8.7 Linhas de força entre dois eletrodos planos e paralelos entre si

**Subsunçores necessários para a realização dessa atividade: configuração de linhas de força entre dois eletrodos planos e paralelos entre si, campo elétrico uniforme.**

### 1 - OBJETIVOS:

- Identificar a configuração das linhas de força entre dois eletrodos planos e paralelos entre si;
- Reconhecer que o campo elétrico é uniforme entre dois condutores planos e paralelos entre si;
- Discutir o conceito de superfícies equipotenciais;
- Reconhecer que as linhas de força sempre são perpendiculares às superfícies equipotenciais.

### 2 - MATERIAIS:

- Estrutura do GVDG
- 2 pedaços de fios de 50 cm de comprimento (bitola 2,5 mm);
- 2 pedaços de arame em “T”, que servirão como eletrodos planos;
- 1 refratário de vidro com pelo menos 30 cm de comprimento;
- óleo vegetal;
- 2 pedaços de 30 cm de fio de cobre esmaltado;
- Farelo de pão;
- Cola epóxi;

### 3 – PROCEDIMENTO

A montagem é semelhante à do experimento 5, com a diferença que dessa vez os eletrodos são planos e devem ser dispostos paralelamente. Para conexão com a terra e com a cúpula do gerador, construímos o eletrodo em forma de “T”, como mostrado na figura abaixo. Para formar o “T” utilizamos 2 pedaços de arame, que serão presos um ao outro com um pouco de cola epóxi. Conecta-se então um eletrodo na cúpula de descarga e o outro será conectado à terra, para isso faremos uso dos fios de cobre de 2,5 mm. Veja o esquema da montagem final na Figura 72.

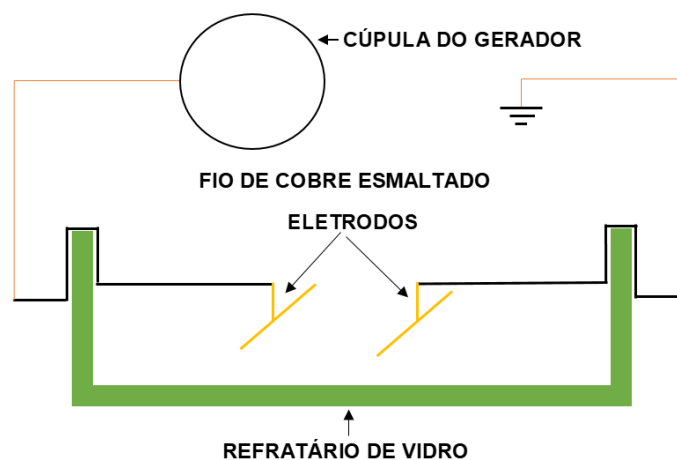


Figura 72: Eletrodos planos dispostos paralelamente.

Na sequência, despeja-se o óleo vegetal dentro do refratário de vidro, de forma a cobrir os eletrodos paralelos. Para formar as linhas de força, jogue um pouco de farelo de pão sobre a superfície do óleo vegetal. Ligue o GVDG e aguarde até que as partículas se alinhem. Desligue o gerador na sequência e observe a disposição das linhas de força. A Figura 73 mostra a configuração das linhas de força em um campo elétrico uniforme.

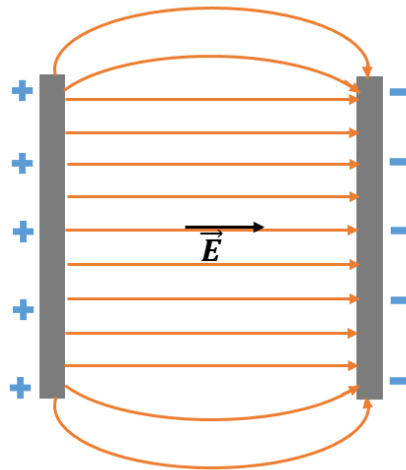


Figura 73: Linhas de força de um campo elétrico uniforme, formado entre dois condutores planos e paralelos entre si.

#### 4 - COMENTÁRIO

As linhas de força paralelas e igualmente espaçadas entre si, nos indica que em cada ponto dessa região, o vetor campo elétrico  $\vec{E}$ , tem a mesma intensidade, direção e sentido. Qualquer superfície que forma com as linhas de força um ângulo de  $90^\circ$ , representa uma superfície equipotencial. Como o vetor campo elétrico  $\vec{E}$ , sempre é tangente às linhas de força, as linhas de força, de fato, sempre são perpendiculares às superfícies equipotenciais. Observe a superfície abaixo, onde temos uma linha de força  $r$ . Se supormos que a linha de força  $r$ , não seja perpendicular à superfície  $S$ , o vetor  $\vec{E}$  também não será. Nesse caso, o vetor  $\vec{E}$  seria decomposto nos vetores  $\vec{E}_n$  e  $\vec{E}_t$ . O vetor  $\vec{E}_t$  é tangente à superfície, enquanto o vetor  $\vec{E}_n$  é perpendicular à superfície. A ilustração dessa situação pode ser vista na Figura 74.

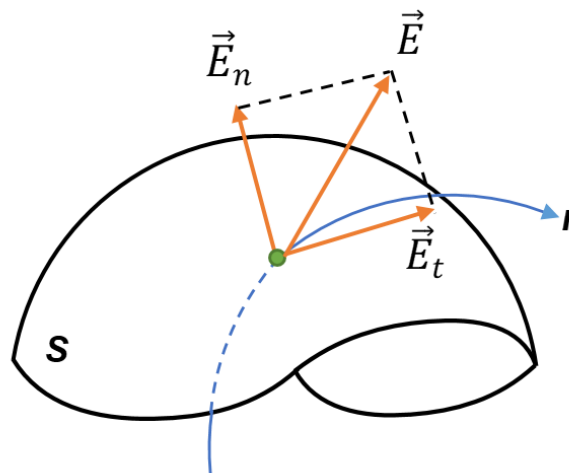


Figura 74: Decomposição do vetor  $\vec{E}$ .

Se dispusermos uma carga de prova  $q$  sobre a linha de força  $r$ , essa carga estaria sujeita à ação de duas forças elétricas,  $\vec{F}_n$  e  $\vec{F}_t$ . Dessa forma, a carga de prova ao sofrer a ação da força  $\vec{F}_t$ , se deslocaria ao longo da superfície  $S$ . Ocorre que, a superfície  $S$  é equipotencial, então isso não seria possível, assim como não seria possível também, a decomposição do vetor  $\vec{E}$  nas componentes  $\vec{E}_n$  e  $\vec{E}_t$ , pois ele é perpendicular à superfície. Como a linha de força é tangente a  $\vec{E}$ , ela também é perpendicular à superfície.

## 8.8 Blindagem eletrostática

**Subsunção necessário para a realização dessa atividade: blindagem eletrostática.**

### 1 - OBJETIVOS:

- Identificar o fenômeno da blindagem eletrostática;
- Discutir o conceito de condutor em equilíbrio eletrostático.

### 2 - MATERIAIS:

- Estrutura do GVDG
- 2 pedaços de fios de 50 cm de comprimento (bitola 2,5 mm);
- 2 eletrodos paralelos;

- 1 refratário de vidro com pelo menos 30 cm de comprimento;
- óleo vegetal;
- 2 pedaços de 30 cm de fio de cobre esmaltado;
- Farelo de pão;
- 1 lata de refrigerante para a confecção do condutor em forma de anel.

### 3 - PROCEDIMENTO

O primeiro passo é a confecção do condutor em forma de anel. Para isso use uma tesoura para cortar uma tira de aproximadamente 1,5 cm de altura da lata de alumínio, formando assim um condutor em forma de anel. Na sequência um dos fios de cobre esmaltado, é conectado a um dos eletrodos. Faz-se a conexão desse fio esmaltado à cúpula de descarga do GVDG com o pedaço de fio de cobre de 2,5 mm de diâmetro. A mesma conexão é feita no outro eletrodo, com a diferença que o fio de cobre esmaltado é conectado à terra através do fio de cobre de 2,5 mm. Observe o esquema da montagem na Figura 75.

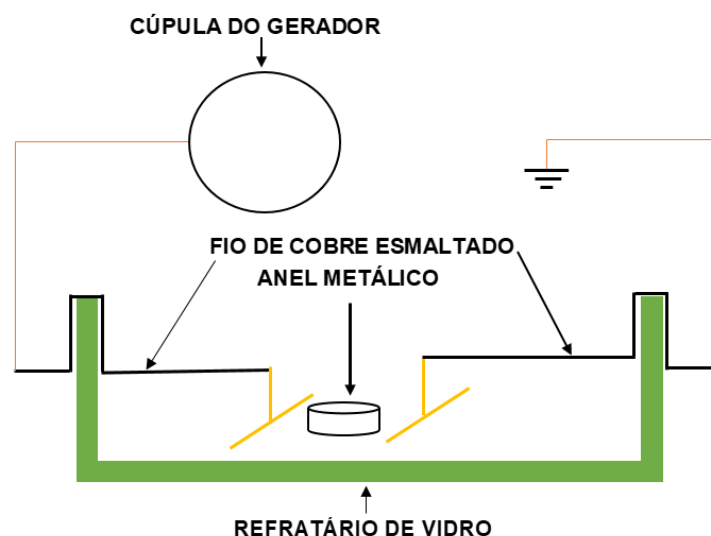


Figura 75: Esquema da montagem com anel metálico.

Posicione o anel metálico entre os dois eletrodos. Na sequência, despeja-se o óleo vegetal dentro do refratário de vidro, de forma a cobrir metade da altura dos eletrodos. Para formar as linhas de força, jogue um pouco de farelo de pão sobre a superfície do óleo vegetal. Ligue o GVDG e aguarde até que as partículas se alinhem. Desligue o gerador na sequência e observe a disposição das linhas de força.

#### 4 - COMENTÁRIO

Observa-se que no interior do anel metálico, as partículas de farelo de pão se mantêm em repouso, não há então, formação de linhas de força, o que prova que no interior do anel metálico, o campo elétrico é nulo, ou seja, o anel metálico está em equilíbrio eletrostático, como mostra a Figura 76. O campo nulo no interior do condutor em equilíbrio eletrostático, configura o fenômeno da blindagem eletrostática.

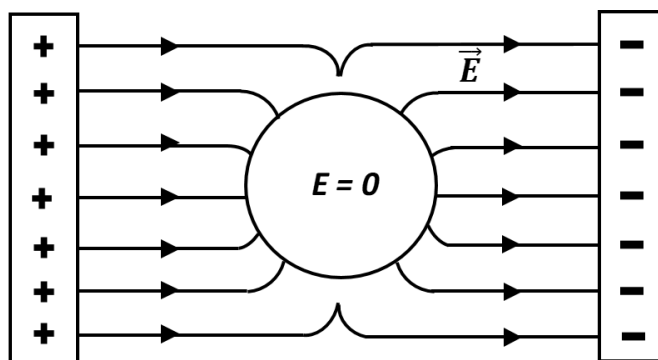


Figura 76: Anel metálico entre dois condutores planos. O campo elétrico é nulo no interior do anel condutor.

## 9 CONSIDERAÇÕES FINAIS

É importante destacar, que o objetivo principal desse projeto é oferecer ao professor que não dispunha de um laboratório de física na sua escola, uma alternativa para fugir do formalismo corriqueiro nas suas aulas. O gerador de Van de Graaff é um equipamento que oferece muitas possibilidades. Nessa perspectiva, não é objetivo desse material trazer os conteúdos sistematizados de eletrostática, pois esse material já se encontra disponível nos livros didáticos ou em outras fontes, como a internet. A teoria apresentada aqui, está diretamente relacionada ao equipamento, objetivando contextualizar alguns conceitos e fenômenos da eletrostática. Vale lembrar, no entanto, que a atividade experimental por si só, não representa uma aula dinâmica ou diferenciada. Elas podem, tão somente, representar mais um elemento das

famigeradas aulas tradicionais. É de suma importância que o docente busque cada vez mais colocar o aluno como protagonista da aprendizagem, ressaltando, no entanto, o papel imprescindível do professor como orientador e estimulador do processo de ensino-aprendizagem.

## REFERÊNCIAS

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

ARAÚJO, Mauro Sérgio Teixeira de; ABIB, Maria Lúcia dos Santos. “Atividades experimentais no ensino de Física: Diferentes enfoques, diferentes finalidades”. In: **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, vol. 25, n. 02, pp.176-194, jun. 2003.



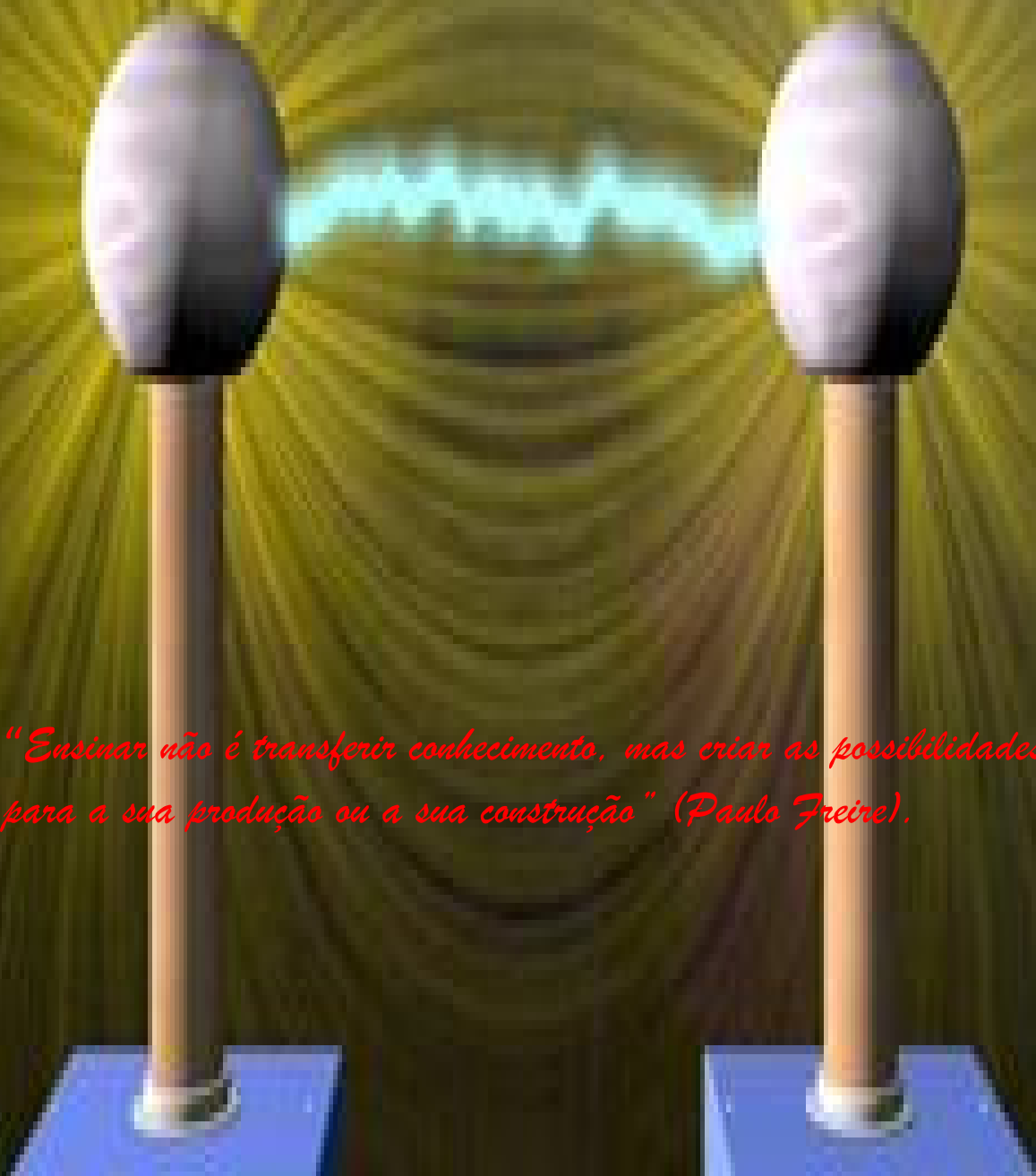
José Maria Almeida Nunes Filho

Email: filho2010almeida@gamil.com

Professor de Física e autor deste e-book

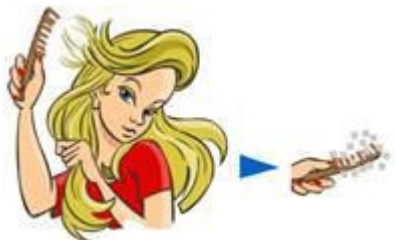
# MANUAL INSTRUCIONAL DO PRODUTO EDUCACIONAL

*"Ensinar não é transferir conhecimento, mas criar as possibilidades  
para a sua produção ou a sua construção" (Paulo Freire).*



**APÊNDICE B - QUESTIONÁRIO PARA AVALIAÇÃO DA APRENDIZAGEM**

01- Uma aluna de cabelos compridos, num dia bastante seco, percebe que depois de penteá-los pente utilizado



atrai pedaços de papel. Isto ocorre porque:

- a) o pente se eletrizou por atrito.
- b) os pedaços de papel estavam eletrizados.
- c) o papel é um bom condutor elétrico.
- d) há atração gravitacional entre o pente e os pedaços de papel.
- e) o pente é um bom condutor elétrico.

02- Atritando vidro com lã, o vidro se eletriza com carga positiva e a lã com carga negativa. Atritando algodão com enxofre, o algodão adquire carga positiva e o enxofre, negativa. Porém, se o algodão for atritado com lã, o algodão adquire carga negativa e a lã, positiva. Quando atritado com algodão e quando atritado com enxofre, o vidro adquire, respectivamente, carga elétrica:

- a) positiva e positiva.
- b) positiva e negativa.
- c) negativa e positiva.
- d) negativa e negativa.
- e) negativa e nula.

QUESTÃO 03- Em certos dias do ano, frequentemente tomamos pequenos "choques" ao fecharmos a porta do carro ou ao cumprimentarmos um colega com um simples aperto de mãos. Em quais circunstâncias é mais provável que ocorram essas descargas elétricas?

- a) Em dias muito quentes e úmidos, porque o ar se torna condutor.

- b) Em dias secos, pois o ar seco é bom isolante e os corpos se eletrizam mais facilmente.
- c) Em dias frios e chuvosos, pois a água da chuva é ótima condutora de eletricidade.
- d) A umidade do ar não influi nos fenômenos da eletrostática, logo essas descargas poderão ocorrer a qualquer momento

QUESTÃO 04- Considere dois corpos sólidos envolvidos em processos de eletrização. Um dos fatores que pode ser observado tanto na eletrização por contato quanto na por indução é o fato de que, em ambas:

- a) torna-se necessário manter um contato direto entre os corpos.
- b) deve-se ter um dos corpos ligado temporariamente a um aterramento.
- c) ao fim do processo de eletrização, os corpos adquirem cargas elétricas de sinais opostos.
- d) um dos corpos deve, inicialmente, estar carregado eletricamente.
- e) para ocorrer, os corpos devem ser bons condutores elétricos.

QUESTÃO 05- A capacidade eletrostática (ou capacitância) de um capacitor plano depende, entre outros, do(s) seguinte(s) parâmetro(s):

- A) Da carga armazenada.
- B) Da diferença de potencial entre as placas do capacitor.
- C) Da carga e da diferença de potencial.
- D) Da distância entre as placas do capacitor.
- E) Da carga e da distância entre as placas do capacitor.

QUESTÃO 06- As linhas de força de um campo elétrico são um modo conveniente de visualizar o campo elétrico e indicam a direção do campo em qualquer ponto. Leia as opções abaixo e assinale a afirmativa INCORRETA.

- a) O número de linhas que saem ou que entram numa carga puntiforme é proporcional ao valor da carga elétrica.
- b) As linhas de força saem da carga negativa e entram na carga positiva.
- c) As linhas de força saem da carga positiva e entram na carga negativa.
- d) O número de linhas por unidade de área perpendicular às linhas é proporcional à intensidade do campo.

QUESTÃO 07- As linhas de força foram idealizadas pelo físico inglês Michael Faraday com o objetivo de visualizar o campo elétrico numa região do espaço. Em cada ponto de uma linha de força, a direção do campo elétrico é tangente à linha. Qual das afirmações abaixo NÃO corresponde a uma propriedade das linhas de força?

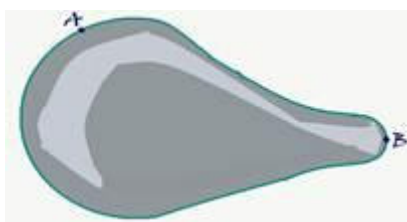
- a) As linhas de força de um campo elétrico uniforme são paralelas e equidistantes entre si.
- b) Para uma carga puntiforme positiva, as linhas de força apontam “para fora” da carga.
- c) As linhas de força “convergem” para cargas puntiformes negativas.
- d) Nas vizinhanças da superfície de um condutor isolado e carregado, as linhas de força são perpendiculares à superfície.
- e) As linhas de força do campo elétrico são sempre fechadas.

QUESTÃO 08- A ausência de cargas eletrostáticas no interior de condutores elétricos, quaisquer que sejam as suas formas, está relacionada ao fato de que:

- a) o potencial elétrico é nulo no interior de condutores.
- b) a densidade superficial de cargas é constante.
- c) o campo elétrico é nulo no interior de condutores.
- d) as cargas elétricas não se deslocam facilmente em condutores.
- e) não é possível isolar completamente um condutor

QUESTÃO 09- A seção transversal de um condutor em equilíbrio eletrostático carregado positivamente tem uma forma de pêra, conforme mostra a figura.

Considere dois pontos A e B em sua superfície e as seguintes informações a seu respeito:



- I. A e B estão submetidos ao mesmo potencial.
- II. O vetor campo elétrico  $\vec{E}$  tem a mesma intensidade em A e B.
- III. O vetor campo elétrico  $\vec{E}$  resultante no interior do condutor é nulo.

Das afirmativas acima:

- a) Apenas II está correta.
- b) Apenas II e III estão corretas.
- c) Apenas I e II estão corretas.
- d) Apenas I e III estão corretas.
- e) I, II e III estão corretas.

QUESTÃO 10- A rigidez dielétrica corresponde ao maior valor de intensidade do campo elétrico aplicado a um isolante, sem que ele se torne um condutor e varia de um material isolante para outro. No caso do ar, a rigidez dielétrica depende de diversos fatores, dentre eles a pressão, a temperatura, a taxa de crescimento da tensão, a umidade relativa do ar, etc., mas seu valor típico é de aproximadamente 30000V/cm. Assim, quando a intensidade do campo elétrico no ar ultrapassar esse valor, ele deixa de ser isolante e torna-se condutor. Sabe-se que durante a formação de uma tempestade ocorre separação de cargas elétricas, ficando as nuvens mais baixas eletrizadas negativamente, enquanto as nuvens mais altas se eletrizam positivamente. À medida que a quantidade de cargas elétricas nas nuvens aumenta, a intensidade destes campos vai aumentando, podendo ultrapassar o valor de quebra da rigidez dielétrica do ar. Quando isso acontece, o ar torna-se condutor e uma enorme centelha elétrica (relâmpago) irá saltar de uma nuvem para outra ou de uma nuvem para a Terra. Durante uma tempestade, um raio atinge um ônibus que trafega por uma rodovia. Pode-se afirmar que os passageiros:

- a) não sofrerão dano físico em decorrência desse fato, pois os pneus de borracha asseguram o isolamento elétrico do ônibus.
- b) serão atingidos pela descarga elétrica, em virtude de a carroceria metálica ser boa condutora de eletricidade.
- c) serão parcialmente atingidos, pois a carga será homogeneamente distribuída na superfície interna do ônibus.
- d) não sofrerão dano físico em decorrência desse fato, pois a carroceria metálica do ônibus atua como blindagem.
- e) não serão atingidos, pois os ônibus interurbanos são obrigados a portar um pára-raios em sua carroceria.

**APÊNDICE C - QUESTIONÁRIO PARA AVALIAÇÃO DA SATISFAÇÃO DOS  
ALUNOS COM O PRODUTO EDUCACIONAL**

**QUESTIONAMENTOS**

01- Já estudou em alguma escola que possuía laboratório de física ou ciências?

SIM ( )

NÃO ( )

02- É comum os professores de física utilizarem atividades experimentais no ensino médio, durante suas aulas?

SIM ( )

NÃO ( )

03- Na sua opinião, o uso das atividades experimentais auxilia na melhoria da aprendizagem dos conteúdos de Física?

SIM ( )

NÃO ( )

04- Se sentiu envolvido durante as atividades experimentais apresentadas durante a aplicação do produto educacional?

SIM ( )

NÃO ( )

05- Na sua percepção, as atividades experimentais apresentadas pelo professor, foram de fácil manuseio e aplicação?

SIM ( )

NÃO ( )

06- A metodologia adotada pelo professor para aplicação das atividades experimentais foi satisfatória?

SIM ( )

NÃO ( )