



**Descargas Eléctricas Atmosféricas: Uma Proposta Pedagógica para o Ensino de Eletrostática.**

**José Ricardo de Sousa Filho**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientadora:  
Dra. Pâmella Gonçalves Barreto Troncão

Co-orientadora:  
Dra. Érica Cupertino Gomes

**Araguaína-TO  
2022**

# DESCARGAS ELÉTRICAS ATMOSFÉRICAS: UMA PROPOSTA PEDAGÓGICA PARA O ENSINO DE ELETROSTÁTICA.

JOSÉ RICARDO DE SOUSA FILHO

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientadora:  
Dra. Pâmella Gonçalves Barreto Troncão

Co-orientadora:  
Dra. Érica Cupertino Gomes

Data de Aprovação: 05/12/2022

## BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente  
 PAMELLA GONCALVES BARRETO TRONCAO  
Data: 05/12/2022 16:11:19-0300  
Verifique em <https://verificador.itl.br>

---

Dra. Pâmella Gonçalves Barreto Troncão (UFNT-MNPEF)

Participação por videoconferência

Documento assinado digitalmente  
 ERICO RAIMUNDO PEREIRA DE NOVAIS  
Data: 05/12/2022 16:57:44-0300  
Verifique em <https://verificador.itl.br>

---

Dr. Erico Raimundo Pereira de Novais (UNIFESSPA-MNPEF)

Participação por videoconferência

Documento assinado digitalmente  
 LILIANA YOLANDA ANCALLA DAVILA  
Data: 05/12/2022 17:36:13-0300  
Verifique em <https://verificador.itl.br>

---

Dra. Liliana Yolanda Ancalla Dávila (UFNT-MNPEF)

Participação por videoconferência

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**  
**Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins**

---

F481d Filho, José Ricardo de Sousa .  
Descargas Elétricas Atmosféricas: Uma Proposta Pedagógica  
para o Ensino de Eletrostática. / José Ricardo de Sousa Filho. –  
Araguaina, TO, 2022.  
134 f.

Dissertação (Mestrado Profissional) - Universidade Federal do  
Tocantins – Câmpus Universitário de Araguaína - Curso de Pós-  
Graduação (Mestrado) Profissional Nacional em Ensino de Física,  
2022.

Orientadora : Pâmella Gonçalves Barreto Troncão  
Coorientadora : Érica Cupertino Gomes

1. Descargas Elétricas. 2. Gerador de Van de Graaff. 3. Ensino  
Investigativo. 4. Eletrostática. I. Título

**CDD 530**

---

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de  
qualquer forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que  
citada a fonte. A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime  
estabelecido pelo artigo 184 do Código Penal.

**Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da  
UFT com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).**

*Dedico este trabalho ao meu falecido pai,  
que dedicou-se incansavelmente no propósito  
de me educar e me oferecer a oportunidade de  
buscar mais conhecimento, onde muitas  
vezes abdicou-se de seus próprios sonhos  
em virtude dos meus.*

## **Agradecimentos**

Agradeço primeiramente a Deus por permitir que eu tenha saúde e discernimento para estudar em busca de mais conhecimento, pois mesmo não sendo religioso, tenho consciência sobre a presença de um criador do universo e que nos permite melhorar como seres humanos falhos que somos.

A minha professora e coorientadora Érica, que sempre se mostrou muito disposta a me orientar, mesmo com as minhas limitações, fez suas intervenções com muita sutileza e sabedoria.

A minha professora e orientadora Pâmella, que mesmo passando por momentos pessoais e emocionais difíceis, se manteve firme em suas funções profissionais, se dedicando de forma exemplar em suas orientações, respeitando minhas dificuldades e explorando minhas potencialidades.

Agradeço meus pais José Ricardo e Maria Sônia, e meus irmãos Danilo e Déborah, pela luta constante durante o momento em que compartilhamos o mesmo teto, principalmente o momento que eu e meus dois irmãos ingressamos no ensino superior, que envolveu lutas diárias em busca de nossos sonhos.

Meu amigo Ubiratan Moura, que esteve ao meu lado em momentos de dificuldades durante o período em que estive nessa etapa acadêmica, me aconselhando e me auxiliando nos experimentos com o gerador de Van de Graaff.

Aos meus alunos das duas turmas de 3ª Série do CEM Dona Filomena Moreira de Paula, pois contribuíram de forma grandiosa para a aplicação do Produto Educacional, mesmo em um momento de grande dificuldade devido o isolamento social causado pela pandemia do Covid-19.

Agradeço de forma especial a minha esposa Gabriela Fernanda, que sempre está ao meu lado compartilhando os momentos de alegrias e tristezas, me dando total apoio nos meus objetivos acadêmicos, profissionais e pessoais, sou eternamente grato por ter a companhia dessa mulher tão gentil, dedicada e sábia.

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

## RESUMO

### DESCARGAS ELÉTRICAS ATMOSFÉRICAS: UMA PROPOSTA PEDAGÓGICA PARA O ENSINO DE ELETROSTÁTICA.

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

O presente trabalho tem como principal objetivo propor uma sequência didática que correlaciona as Descargas Elétricas Atmosféricas com o Experimento de Van de Graaff. A motivação inicial para a elaboração deste trabalho, foi a presença abundante de incidências de raios no país, mais especificamente na região norte onde se localiza a unidade escolar. Na aplicação do Produto Educacional, contou-se com a utilização de uma Sequência de Ensino Investigativo, aplicada em duas turmas de 3ª Série do Ensino Médio, na cidade de Miracema do Tocantins. No Produto Educacional anexado neste trabalho, propõe a montagem do equipamento. Além de ensinar conceitos de Eletrostática utilizando metodologias ativas a fim de proporcionar maior interesse dos estudantes em aprender Física, desmistifica-se conceitos equivocados em relação às Descargas Elétricas que são absorvidos da mitologia brasileira, estas que se fazem bastante presentes nas regiões norte do país, incluindo a cidade de Miracema do Tocantins, tendo contribuído com o letramento científico e com a construção de novos conceitos, provocando maior interesse dos estudantes pela carreira na área de ciências.

**Palavras-Chave:** Descargas Elétricas; Gerador de Van de Graaff; Ensino Investigativo; Eletrostática.

Araguaína-TO  
Outubro de 2022

## **ABSTRACT**

### **ATMOSPHERIC ELECTRICAL DISCHARGES: A PEDAGOGICAL PROPOSAL FOR THE TEACHING OF ELECTROSTATICS.**

Master's Dissertation submitted to the Graduate Program in Physics Teaching in the Professional Master's Degree in Physics Teaching (MNPEF), as part of the necessary requirements to obtain the title of Master in Physics Teaching.

The main objective of this work is to propose a didactic sequence that correlates Atmospheric Electrical Discharges with the Van de Graaff Experiment. The initial motivation for the elaboration of this work is given by the abundant presence of lightning incidences in the country, more specifically in the northern region where the school unit that contributed to the application of the Educational Product attached to this document is located. In the application of the Educational Product, an Investigative Teaching Sequence was used, applied in two classes of the 3rd Grade of High School, in the city of Miracema do Tocantins. If any teacher wants to use this methodology and the school unit does not have a Van de Graaff Generator available, in the Educational Product attached to this work, it proposes the assembly of the equipment. The main objective of this dissertation, in addition to teaching concepts of Electrostatics using active methodologies in order to provide students with greater interest in learning Physics, is to demystify mistaken concepts in relation to Electrical Discharges that are absorbed from indigenous cultures, which are quite present in northern regions of the country, including the city of Miracema do Tocantins, contributing to scientific literacy and provoking greater student interest in a career in science.

Araguaína-TO

October de 2022

## Lista de Figuras

Figura 1.1: Experimento de haste levantada por Dalibar.....	12
Figura 3.1: Estrutura elétrica de uma nuvem .....	17
Figura 3.2: Nuvem Cúmulos-nimbos.....	17
Figura 3.3: Simulação de um líder escalonado.....	19
Figura 3.4: Imagem de um Captor.....	23
Figura 3.5: Experimento testando o princípio da gaiola de Faraday .....	24
Figura 3.6: Imagem do gerador de Van de Graaff no registro de patente .....	25
Figura 3.7: Gerador sendo manipulado pelo próprio Van de Graaff.....	26
Figura 3.8: O gigante Van de Graaff no museu de Boston .....	26
Figura 3.9: Modelo Atômico de Niel Bhor para o átomo de Hélio.....	27
Figura 3.10: Princípio da atração e repulsão de cargas elétricas.....	29
Figura 3.11: Processo de eletrização por indução demonstrado em um eletroscópio.....	31
Figura 3.12: Balança de torção de Coulomb.....	31
Figura 3.13: Vetores campos elétricos.....	33
Figura 3.14: Elemento de área de uma superfície gaussiana .....	33
Figura 3.15: Carga inserida no campo elétrico .....	34
Figura 3.16: Reator Tokamak .....	39
Figura 5.1: Capa do Produto Educacional .....	48
Figura 5.2 (a): Questão do Questionário Diagnóstico.....	51
Figura 5.2 (b): Questão do Questionário Final.....	51
Figura 5.3 (a): Questão Discursiva do Questionário Diagnóstico.....	52
Figura 5.3 (b): Questão Discursiva do Questionário Final.....	52
Figura 5.4 (a): Questão do Questionário Diagnóstico.....	53
Figura 5.4 (b): Questão do Questionário Final.....	53
Figura 5.5 (a): Questão do Questionário Diagnóstico.....	54
Figura 5.5 (b): Questão do Questionário Final.....	54
Figura 5.6 (a): Questão do Questionário Diagnóstico.....	55
Figura 5.6 (b): Questão do Questionário Final.....	55
Figura 5.7: Experimento 1 .....	56
Figura 5.8: Experimento 2 .....	57
Figura 5.9: Experimento 3.....	58
Figura 5.10: Experimento 4.....	59
Figura 5.11: Experimento 5.....	60
Figura 5.12: Experimento 6.....	61

Figura 5.13: Estudantes no modelo presencial analisando os experimentos .....	62
Figura 5.14: Atividade Investigativa respondida por uma estudante que optou pelo ensino remoto .....	63
Figura 5.15: Atividade Investigativa respondida por uma estudante que optou pelo ensino remoto .....	64
Figura 5.16: Atividade Investigativa respondida por uma estudante que optou pelo ensino remoto .....	65
Figura 5.17: Atividade Investigativa respondida por uma estudante que optou pelo ensino presencial.....	66
Figura 5.18: Atividade Investigativa respondida por uma estudante que optou pelo ensino presencial.....	67
Figura 5.19: Atividade Investigativa respondida por uma estudante que optou pelo ensino presencial.....	68
Figura 5.20: Aula realizada no Google Meet para realização da Etapa 3 .....	69
Figura 5.21: Aula realizada no Google Meet para realização da Etapa 3 .....	70
Figura 5.22(a): Análise Quantitativa da Atividade Investigativa .....	72
Figura 5.22(b): Análise Qualitativa da Atividade Investigativa.....	72
Figura 5.23: Análise Qualitativa dos modelos de ensino .....	73
Figura 5.24: Postagem realizada pela estudante e repostada pelo professor no Instagram.....	74

## SUMÁRIO

<b>1. Introdução</b>	<b>11</b>
<b>2. Trabalhos Correlatos</b>	<b>14</b>
<b>3. Descargas Elétricas Atmosféricas e a Física</b>	<b>16</b>
3.1 Formação das Descargas Elétricas Atmosféricas	16
3.2 Estrutura Elétrica	18
3.2.1 Relâmpagos	18
3.2.2 Raios	18
3.2.3 Consequências	20
3.3 Meios de Proteção	22
3.4 Gerador de Van de Graaff	24
3.5 Eletrostática	27
3.5.1 Condutores e Isolante Elétricos	28
3.5.2 Processos de Eletrização	29
3.5.3 Lei de Coulomb	31
3.5.4 Campo Elétrico	32
3.5.5 Lei de Gauss	33
3.6 Potencial Elétrico	34
3.7 Ruptura da Rigidez Dielétrica	35
3.8 Física de Plasma	38

<b>4. Construção do Conhecimento</b>	<b>40</b>
4.1 A importância do Problema	40
4.2 A importância dos Processos e Artefatos Culturais	41
4.3 Sequência de Ensino Investigativo	42
<b>5. Aplicação do Produto Educacional</b>	<b>47</b>
5.1 Resultados da aplicação do Produto Educacional	49
5.2 Análise dos Resultados	71
<b>6 Considerações Finais</b>	<b>75</b>
<b>7 Referencial Bibliográfico</b>	<b>77</b>
<b>8 Apêndices</b>	<b>81</b>
A. Questionário Diagnóstico e Final	81
B. Atividade Investigativa	85
C. Roteiro Digital	88
D. Reportagem Jornalística	88
E. Produto Educacional	88

# 1. Introdução

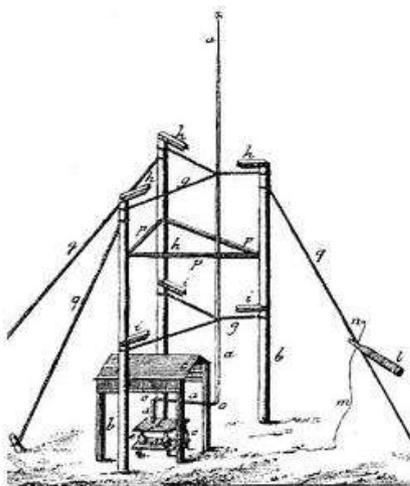
A natureza já é observada desde os primórdios da civilização humana e já tentavam buscar hipóteses que explicariam a natureza de um dos fenômenos físicos mais intrigantes presentes na natureza, as descargas elétricas atmosféricas, popularmente chamadas de raios, porém esta última denominação se refere apenas às descargas elétricas que conectam com o solo (JÚNIOR, PINTO, 2008). Este mesmo fenômeno era chamado de meteoros luminosos pelos antigos filósofos e os trovões eram chamados de meteoros sonoros, devido ao som emitido durante a ocorrência da descarga elétrica (BERNARDO, 2009).

Na mitologia grega, Zeus era o deus dos trovões, para os romanos, Júpiter era o deus dos céus e trovões e Thor também era conhecido como o deus dos trovões pelos nórdicos. Para os povos indígenas pré-colombianos o deus dos trovões era chamado de Tupã e os raios eram uma forma de punição aos homens dominados por maus espíritos (MEDEIROS; SOUZA; SABA, 2019).

Mesmo com as várias transformações que o mundo passou durante vários séculos até os dias atuais e com todo o avanço tecnológico ocorrido até o momento, persiste a predominância de um certo misticismo envolvendo os raios, pois o ser humano tende a acreditar em algo sobrenatural. A mitologia brasileira abrange uma certa complexidade pois recebe influência de três fontes essenciais, da cultura portuguesa, das culturas indígenas e da cultura africana (CASCUDO, 2012).

Por volta de 1752, Benjamin Franklin ficou bastante conhecido no cenário científico europeu por suas contribuições em estudos sobre as descargas elétricas atmosféricas, que as chamavam de “fluido elétrico”, e a invenção do pára-raios. Apesar dos livros didáticos de ensino médio indicarem que a descoberta dos raios se deu pela realização de apenas um experimento, o famoso experimento da pipa de Franklin, há indícios de estudos apontando de que tal experimento nem mesmo foi realizado e de que tiveram diversas contribuições de cientistas anteriores a Franklin, tais como, os franceses Charles François de Cisternay Dufay (1698-1739) e Thomas François Dalibard (1703-1779). Dalibard planejou realizar um experimento proposto por Franklin (Fig. 1.1) em 10 de maio de 1752, que se referia a montagem de uma haste a fim de capturar raios (SILVA, PIMENTEL, 2008).

**Figura 1.1** – Experimento de haste levantada por Dalibard.



**Fonte:** Retirada da referência (SILVA, PIMENTEL, 2008)

Com a chegada ao Brasil em 1808 do príncipe-rei de Portugal e posteriormente rei do Brasil, D. João VI, desembarcaram também muitos cientistas, pois o rei era um motivador da ciência e possuía certo medo dos raios, sendo assim, ele providenciou que estes fenômenos fossem observados e estudados, uma vez que também haviam muitas ocorrências de raios atingindo as embarcações daquela época, que eram o único meio de transporte entre o Brasil e a Europa, no período do Imperialismo no Brasil (JÚNIOR, CARDOSO, 2015).

Apesar de haver investimento no estudo das descargas elétricas atmosféricas desde o período imperial, foi somente no final do século XX que foi criado o primeiro centro de pesquisas neste ramo. No ano de 1995 foi oficializado o primeiro grupo de pesquisadores com o intuito de realizar pesquisas neste sentido, o Grupo de Eletricidade Atmosférica (ELAT) pertencente ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

Mesmos que o Brasil seja um país colonizado pelos portugueses, os quais já trouxeram alguns mitos sobre a existência dos raios, ainda temos forte influência da cultura dos povos indígenas nesse quesito. Sendo assim, se torna muito importante um estudo mais aprofundado dessa influência indígena na forma como a nossa sociedade se posiciona diante deste fenômeno (JÚNIOR, CARDOSO, 2015).

O Brasil é líder mundial com cerca de 77,8 milhões de incidências de raios por ano e o Estado do Tocantins está entre os Estados brasileiros que mais recebem incidências de raios por ano, posto isto, temos um forte potencial de estudo deste fenômeno, que está totalmente inserido no meio sócio-cultural dos estudantes

tocantinenses. Estima-se que, 10 a 20 mil pessoas no mundo são vítimas de raios em um ano, quando consideramos regiões menos urbanizadas essa proporção pode aumentar significativamente, devido uma menor quantidade dos meios de proteção (JÚNIOR, PINTO, 2008; INPE, 2022).

Tendo em vista que algumas pesquisas apontam que os estudantes do Ensino Médio possuem certo desinteresse pelo estudo de ciências (NETO, 2008), este trabalho aborda um aspecto inovador e motivador, por estar ligado diretamente ao ambiente cultural do estudante da região de aplicação deste trabalho, abordando um fenômeno que aproxima o estudante do objeto de estudo. Outro fator importante é que ela está prevista nas Competências Específicas 1 e 3 da Base Nacional Comum Curricular (BNCC, 2017)

## 2. Trabalhos Correlatos

Desde quando foi iniciado as primeiras revisões bibliográficas a fim de obter mais conhecimento sobre o ensino de eletrostática, foi observado que havia uma grande diversidade de trabalhos envolvendo esta temática. Na maioria dos trabalhos, o Experimento de Van de Graaff se fez presente como instrumento potencializador no ensino desse ramo da Física.

O primeiro trabalho analisado foi a Dissertação de Mestrado *“Projeto de um gerador eletrostático de Van de Graaff e aplicações no Ensino de Eletrostática”*, realizada por Thiago Alvarez Miranda, pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (MIRANDA, 2019). Neste trabalho é proposto a montagem de um gerador como aparato experimental, destacando a importância de um ensino de Física mais atrativo para os estudantes. Miranda enfatizou a história do Gerador de Van de Graaff, a montagem do equipamento e uma parte sucinta de conceitos de eletrostática, abordando as linhas de campo elétrico produzidas pelo gerador. Este trabalho teve como objetivo principal incentivar os professores a construir e utilizarem o experimento em aulas práticas de Física. Para tanto:

“O objetivo técnico, prático, desta dissertação é propor a montagem, a partir de materiais acessíveis e de baixo custo, de um gerador eletrostático de Van de Graaff (GVG). Vamos descrever algumas atividades experimentais e relacioná-lo aos conteúdos a serem trabalhados nas aulas de eletrostática” (MIRANDA, 2019, p.17).

O segundo trabalho observado, se refere ao TCC *“Montagem do Gerador de Van de Graaff para o uso de Atividades Experimentais no Ensino de Física”*, realizado por Franklin Berthoni Ribeiro Leite, pela Faculdade UnB de Planaltina (LEITE, 2015). Leite propõe a montagem do Gerador de Van de Graaff, utilizando materiais de baixo custo e enfatizando o uso deste recurso experimental nas aulas práticas de Física. Este trabalho também demonstra as dificuldades em ensinar Física, assim justificando a utilização de um experimento com muito valor didático.

“Realmente existem diversos fatores que causam as dificuldades no ensino de física e que não existe apenas um responsável. Existem casos diferentes que devem ser contornados com a solução que lhe é cabível, pode ser em conjunto com a escola ou, em parceria com a secretária de educação, pode ser que o diálogo entre professores e alunos venham a resolver grande parte dos problemas. O importante é que o professor compreenda as

dificuldades de seus alunos e consiga controlá-las” (LEITE, 2015, p.8).

A terceira observação, foi o trabalho de Dissertação de Mestrado *“Abordando o Ensino de Eletrostática através da construção do Gerador de Van de Graaff”*, elaborado por Gerson de Jesus, pela Universidade Federal de Mato Grosso (JESUS, 2021). Assim como os outros dois trabalhos observados, tem como objetivo principal apresentar o Gerador de Van de Graaff como uma ferramenta a ser utilizada nas aulas de Física, explorando o contexto histórico do primeiro gerador construído e enfatizando os conceitos de eletrostática. Sendo assim, Jesus tem como objetivo geral de seu trabalho propor a montagem do gerador e utilizá-lo como aparato experimental.

“Construir e aplicar um Gerador Eletrostático Didático (de Van De Graaff) utilizando materiais alternativos e de baixo custo para auxiliar nas atividades experimentais dos conteúdos de eletrostática” (JESUS, 2020, p.15).

Este trabalho de Dissertação propõe a aplicação de uma Sequência Didática de Ensino Investigativo, com um modelo matemático da construção de um Gerador de Van de Graaff (Apêndice E), porém com a utilização das Descargas Elétricas Atmosféricas como conhecimento prévio e como método contextualizador no ensino de Eletrostática.

Como já foi mencionado na introdução deste trabalho, as Descargas Elétricas Atmosféricas, fazem parte do cotidiano dos brasileiros e principalmente dos tocantinenses, assim se torna um objeto de estudo de muita relevância para o estudo de Eletrostática e potencializado quando correlaciona com o Gerador de Van de Graaff.

### 3. Descargas Eléctricas e a Física

Um dos fenômenos físicos mais intrigantes que permeiam a vida do ser humano, talvez sejam as Descargas Eléctricas Atmosféricas. Tal fenômeno é observado a centenas de anos, mas foi a partir do século XVIII que vieram os primeiros experimentos com o cientista americano Benjamin Franklin. Desde então, já se sabe que os relâmpagos são descargas eléctricas que ocorrem devido ao acúmulo de cargas eléctricas em regiões da atmosfera. Sabe-se também que ao atingir intensidades altas do campo eléctrico produzido por esse acúmulo de cargas a rigidez dieléctrica do ar é rompida, causando uma descarga eléctrica.

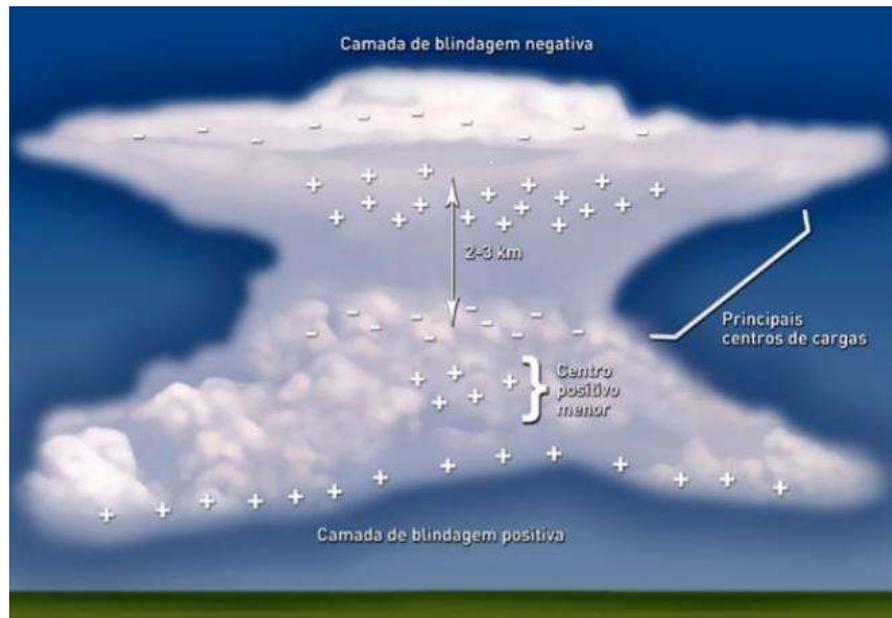
Neste trabalho, será detalhado desde a formação das Descargas Eléctricas Atmosféricas até suas consequências.

#### *3.1 Formação das Descargas Eléctricas Atmosféricas*

Partimos de um conceito básico de eletrostática, o princípio da atração e repulsão de cargas eléctricas, ou melhor, de que prótons atraem elétrons. Estas partículas possuem carga eléctrica e estão em todos os materiais que conhecemos. O atrito entre alguns materiais possuem alguns efeitos interessantes, que chamamos Eletrizacão por Atrito. Este processo se dá pela retirada de elétrons de um corpo e transferindo-se para o outro, ocorrendo então uma eletrização dos dois corpos atritados e com cargas eléctricas de sinais opostos, ou seja, negativas e positivas (NUSSENZVEIG, 1997). Este processo de eletrização ocorre no interior das nuvens de tempestades, ocasionando uma alta intensidade de eletrização das mesmas.

Esta eletrização ocorre devido ao processo de evaporação da água, pois o vapor d'água chegando às nuvens, ocorrerá o fenômeno chamado Convecção de Calor, no qual as moléculas de água do vapor tendem a se deslocarem para a parte superior das nuvens e as moléculas de água na iminência de congelar, que se localizam na parte superior das nuvens tendem a se deslocarem para a parte inferior (Fig. 3.1), em outras palavras, seria o ar quente que tem menor densidade sobe e o ar frio com maior densidade desce.

**Figura 3.1** - Estrutura elétrica de uma nuvem.



**Fonte:** Grupo de Eletricidade Atmosférica – ELAT.

Com este processo de subida e descida de milhares de moléculas de água, ocorrerá uma alta intensidade de eletrização pelo atrito destas moléculas, fazendo com que a parte superior das nuvens tendem a ficar eletrizadas com cargas elétricas positivas e a parte inferior das nuvens tendem a ficar eletricamente carregadas com cargas elétricas negativas, deixando um aspecto de polarização, como é demonstrado na Figura 3.1. Geralmente este processo ocorre nas nuvens Cúmulos-nimbos, significado em latim “coluna de chuva”, que por sua vez possuem alta extensão vertical chegando a medir quilômetros de altura, assim como é demonstrado na Figura 3.2. (ELAT, 2022).

**Figura 3.2** - Nuvem Cúmulos-nimbos.



**Fonte:** Site da NASA.

## 3.2 *Estrutura Elétrica*

Com a polarização das nuvens, começa-se um processo de indução eletrostática de alta intensidade, através da atração de pólos eletrizados com cargas de sinais contrários. Devido a essa atração, podemos dizer que existem algumas formas de classificar as descargas elétricas, entre relâmpagos e raios.

### 3.2.1 *Relâmpagos*

Os Relâmpagos são descargas elétricas decorrentes do rompimento da rigidez dielétrica do ar a partir do campo elétrico produzido pelo acúmulo de cargas geradas nas nuvens de tempestades. Quando falamos em tempestades, vale ressaltar que elas também ocorrem em tempestades de neve, de areia ou até mesmo durante erupções vulcânicas (JÚNIOR, PINTO, 2008).

Existem diversas classificações de relâmpagos e elas dependem de sua origem e de onde se encerram. Eles podem surgir e se encerrar dentro da mesma nuvem (relâmpagos intranuvens), podem surgir da nuvem e se encerrar em um lugar qualquer da atmosfera (descarga para o ar), de uma nuvem para outra (relâmpago nuvem-nuvem) e também podem surgir da nuvem e se conectar com o solo e vice-versa, esses chamamos de raios. Esta última forma de relâmpago (raio) abordaremos com mais detalhes, pois são os que causam maior destruição e afetam mais a vida humana (JÚNIOR, PINTO, 2008).

### 3.2.2 *Raios*

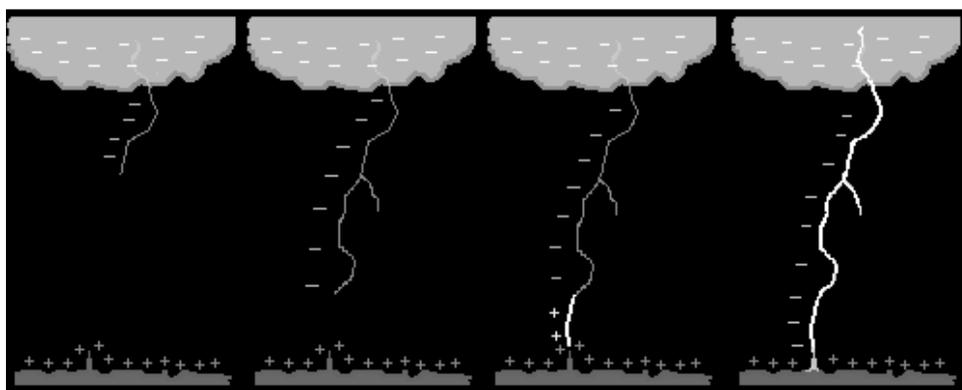
Os raios são descargas elétricas que se conectam com o solo, podendo ser uma descarga ascendente ou descendente, ou seja, pode ocorrer da nuvem para o solo ou do solo para a nuvem. A ocorrência de um raio leva um tempo médio de um terço de segundo, podendo variar entre um décimo de segundo até dois segundos. Neste intervalo de tempo a corrente elétrica produzida pode chegar a picos de até 30 kA (JÚNIOR, PINTO, 2008).

As descargas descendentes, ou seja, aquelas que ocorrem da nuvem para o solo, são responsáveis por 99% das incidências, enquanto apenas 1% ocorre do solo para a nuvem. Os raios ascendentes geralmente acontecem em montanhas, picos ou torres, pois possuem uma proximidade maior com a parte superior da nuvem de tempestade.

Durante uma descarga elétrica da nuvem para o solo, pode ser transferida em média uma carga elétrica de 20 C ao longo de um canal com poucos centímetros de diâmetro e um comprimento próximo de 5 km, atingindo uma temperatura 30.000 °C, sendo comparado com uma temperatura cinco vezes maior que a temperatura da superfície do Sol e com uma pressão dez vezes maior que a pressão atmosférica ao nível do mar (JÚNIOR, PINTO, 2008).

Com a nuvem de tempestade já formada, iniciam-se pequenas descargas luminosas, que se originam na região das cargas negativas em direção ao solo, com uma velocidade próxima de 100 km/s. Essas pequenas descargas dão origem ao que chamamos de *líder escalonado*, que é responsável pela quebra da rigidez dielétrica do ar. O líder escalonado segue um caminho não retilíneo e em fases, cada fase percorre aproximadamente 50 m e com uma duração próxima de 500 μs, buscando um melhor caminho para formar o canal de descarga. Na Figura 3.3, é demonstrado a simulação da trajetória de um líder escalonado que se origina na nuvem e se dirige em sentido ao solo.

**Figura 3.3** – Simulação de um líder escalonado.



**Fonte:** Instituto de Física –Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Durante a formação do canal de descarga, nota-se a formação de várias ramificações, embora grande parte dessas ramificações não conectem com o solo. Um líder escalonado dura cerca de 20 ms e durante este tempo, a corrente elétrica dentro do canal possui intensidade média de algumas centenas de ampères e com carga próxima de 5 C.

Com a aproximação do líder escalonado do solo, o potencial elétrico gerado pelo canal em relação ao solo, é em torno de 100 MV, gerando um campo elétrico tão

intenso que faz com que uma descarga elétrica saia do solo em direção ao líder escalonado. Essa descarga ascendente, chamamos de *descarga conectante*, que geralmente se formam a partir de objetos pontiagudos, pois os mesmos possuem maior densidade de cargas elétricas.

Após a conexão do líder escalonado com a descarga conectante, é construído o canal de descarga, assim inicia-se uma alta intensidade de corrente elétrica que chamamos de *descarga de retorno*. Durante a descarga de retorno, a potência média pode chegar a 100 kW, fazendo com que as cargas negativas que compõem a corrente elétrica produzida, sejam aceleradas a uma velocidade de um terço da velocidade da luz, assim como partículas são aceleradas durante as descargas liberadas pela esfera do gerador de Van de Graaff. Essa corrente elétrica produzida durante a descarga de retorno, dura em média 100  $\mu$ s, tendo já sido registrados valores da ordem de 270 kA (JÚNIOR, PINTO, 2008).

Com a alta temperatura e pressão produzida dentro do canal de um raio descendente, ocorre uma rápida expansão do ar que circunda este canal, resultando em uma onda sonora que se propaga em todas as direções que chamamos de Trovão. Essa onda sonora se propaga com uma frequência em torno de 100 Hz e aproximadamente 75% dessa energia é convertida em energia térmica e acústica (JÚNIOR, PINTO, 2008).

### 3.2.3 Consequências

Com o aquecimento global, estudos apontam um aumento no número de incidências de raios ocorridos no mundo, sendo uma estimativa de a cada grau elevado na temperatura média do globo terrestre um aumento de 10 a 20% nas ocorrências de relâmpagos, sendo a região tropical mais afetada do que as demais regiões. No século XX houve um aumento de 0,5 °C na temperatura do planeta e a previsão para o século XXI é que aumente de 2 a 4 °C (ELAT, 2022). Com o aumento dos índices de incidências de relâmpagos, podemos ter inúmeros prejuízos em diversas áreas.

Uma das consequências agravantes será na morte de animais, uma vez que, muitas vezes, se abrigam embaixo de árvores e se instalam próximo a cercas de arame. Acredita-se que centenas de espécies de animais morram no Brasil em decorrência de incidências de raios (ELAT, 2022).

Também pode ocorrer um aumento significativo nos interrompimentos do fornecimento de energia elétrica, quando as mesmas atingem as linhas de transmissão, além do considerável número de danos causados nos transformadores de distribuição. No Brasil, cerca de 70% do número da falta de fornecimento de energia elétrica é causado por incidência de raios (ELAT, 2022). Os danos causados, podem ocorrer devido ao impacto direto de um raio sobre as linhas de transmissão ou pela indução elétrica de um raio que incide próximo a essas linhas.

As embarcações também sofrem danos constantemente, devido ao mastro ter um altura e formato propício para que seja atingido por um raio, assim podendo provocar danos na estrutura do barco, levando ao afundamento da embarcação. No intuito de diminuir a probabilidade da embarcação ser atingida, pode-se utilizar o mastro, caso seja metálico, como para-raios, conectando o mastro a um cabo metálico isolado da estrutura do barco e levando-o a água.

Os relâmpagos atingem os aviões comerciais uma vez por ano em média, segundo dados do Grupo de Eletricidade Atmosférica. Este fenômeno ocorre geralmente em momentos em que os aviões sobrevoam altitudes inferiores a 5 km. Com a presença do avião, ocorre um aumento significativo de campo elétrico, assim causando uma descarga elétrica induzida. Os relâmpagos causados pela presença dos aviões, geralmente provocam correntes elétricas contínuas.

Acidentes aéreos ocorridos por relâmpagos são raros, mas já ocorreram. Na década de 60, a indústria aeroespacial fez algumas modificações na fuselagem dos aviões a fim de evitarem acidentes como o ocorrido com o Boeing 707 dos EUA em 1963, quando um relâmpago atingiu o tanque de combustível, provocando uma explosão, que resultou na morte de 81 pessoas (ELAT, 2022).

Com o avanço tecnológico, cada vez mais a indústria aeroespacial sugere a utilização de materiais mais leves, porém o uso de materiais não metálicos devem ser questionados, pois com a ausência desses materiais pode prejudicar na blindagem elétrica dos dispositivos eletrônicos das aeronaves, contra os campos eletromagnéticos criados pelos relâmpagos (ELAT, 2022) .

Quando a corrente elétrica produzida pelos raios entra em contato com o solo, provocará um super aquecimento do solo, sendo este composto por areia, transformará parte da área afetada em vidro, chamamos estes materiais transformados em fulguritos (ELAT, 2022).

Os relâmpagos também são responsáveis por produzirem incêndios, estima-se que aproximadamente 100.000 incêndios são causados por relâmpagos no mundo. Além de afetar o solo, podem causar danos materiais a propriedades, chegando a prejuízos milionários (ELAT, 2022).

### *3.3 Meios de Proteção*

Quando abordamos sobre os meios de proteção contra descargas elétricas atmosféricas, devemos dividir em medidas protetivas e sistemas de proteção. Para evitar algumas tragédias ou prejuízos, temos alguns meios de proteção contra as relâmpagos, alguns mais sofisticados e outros já bem antigos como é o caso do pára-raios e da gaiola de Faraday (JÚNIOR, PINTO, 2008; ELAT, 2022).

Entre as medidas protetivas destaca-se algumas mais importantes, analisando as estatísticas de acidentes decorrentes em períodos de tempestades. A primeira medida é procurar evitar lugares abertos em meio a uma tempestade, é importante se abrigar dentro de casa ou dentro de um veículo, jamais deve-se abrigar embaixo de árvores, pois as mesmas por terem estruturas pontiagudas são fortes alvos dos raios descendentes. Caso já esteja localizado dentro de casa, orienta-se afastar das tomadas, portas e janelas metálicas e evitar a utilização de telefone celular conectado a rede elétrica. Caso esteja fora de casa, evitar praticar esporte em lugares abertos, segurar objetos metálicos longos, empinar pipas, lugares mais altos como serras, morros e se locomover com veículos abertos, como motos, bicicletas, tratores. (JÚNIOR, PINTO, 2008; ELAT, 2022).

Quando refere-se a dispositivos de proteção possuímos uma variedade de meios de proteção, tais como os Dispositivos de Proteção Contra Sobretensões (DPS). Alguns tipos de DPS que são utilizados: centelhadores de ar, centelhadores a gás, varistores e diodos zener. Na aplicação destes dispositivos, recomenda-se utilizar uma combinação destes dispositivos, formando um circuito de proteção (JÚNIOR, PINTO, 2008).

Os dispositivos de proteção mais antigos como o pára-raios e a gaiola de Faraday, são bastante utilizados em residências, principalmente edificações mais altas. O pára-raios foi desenvolvido por Benjamin Franklin em 1755 e consiste em uma haste condutora fixada na parte mais alta do local que se quer proteger, contendo em sua extremidade a composição de um metal de alta resistência térmica, que

denomina-se de Captor, com formato de várias pontas para distribuir o impacto da descarga e provocar uma maior densidade de cargas elétricas, intensificando-se o campo elétrico, o qual provoca uma atração do líder escalonado. Geralmente o Captor (Fig. 3.4) é feito de latão, bronze, ferro ou aço inoxidável (JÚNIOR, PINTO, 2008).

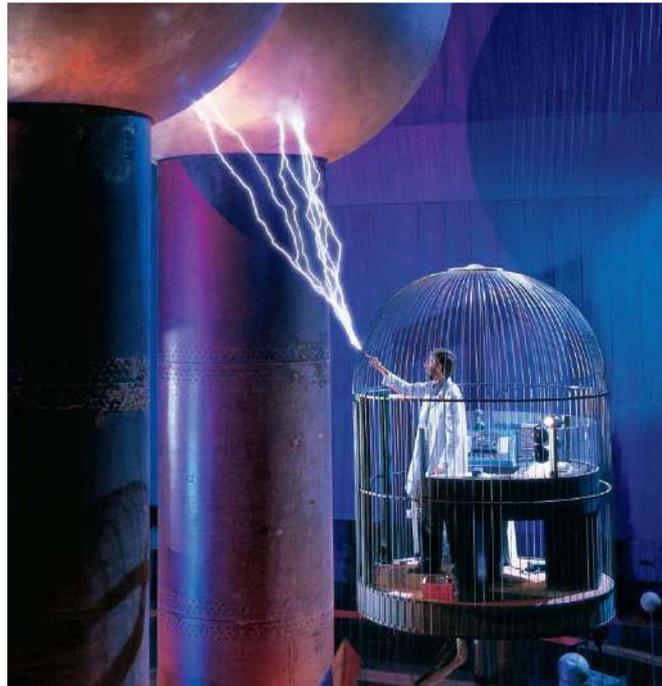
**Figura 3.4** – Imagem de um Captor.



**Fonte:** Retirado da referência (ALMEIDA, 2014).

Outro dispositivo de proteção também já desenvolvido há alguns anos, conhecido como gaiola de Faraday, foi criado pelo físico inglês Michael Faraday em 1836, que consiste em uma malha de arame ou tela de metal, com o objetivo de bloquear campos eletromagnéticos e ondas eletromagnéticas. Uma aplicação simples é a porta de um forno micro-ondas, a qual possui uma tela metálica que impede a saída das micro-ondas produzidas durante o funcionamento do aparelho, mas permite a penetração da luz, que possui um comprimento de onda muito menor, assim conseguindo ultrapassar a tela. Na Figura 3.5, demonstra um experimento realizado com o enorme gerador de Van de Graaff do Museu da Ciência em Boston (CHAPMAN, HEWETT, TREFETHEN, 2015).

**Figura 3.5** – Experimento testando o princípio da gaiola de Faraday.



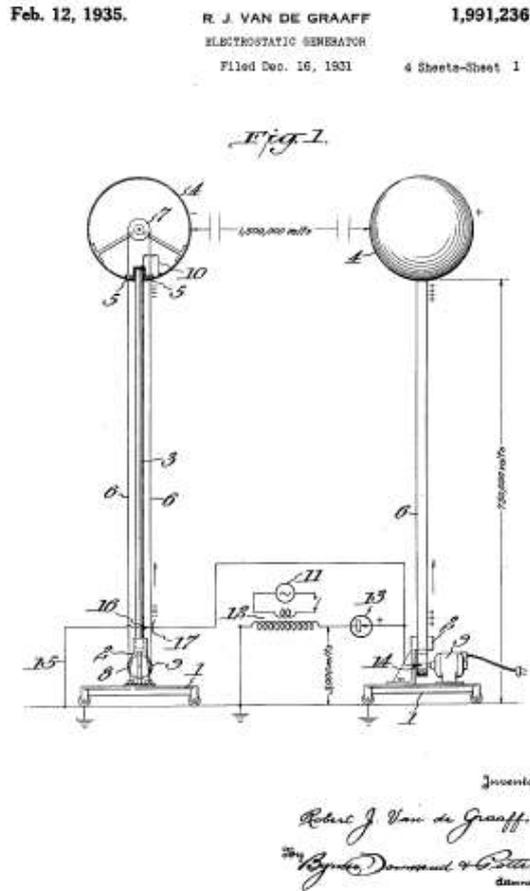
**Fonte:** Retirado da referência (CHAPMAN, HEWETT, TREFETHEN, 2015).

Estudos apontam que ao reduzir o espaçamento entre os fios da tela de metal que compõe a “gaiola”, percebe-se uma rápida convergência do campo elétrico tendendo a zero, no interior da mesma. Quando refere-se a superfícies metálicas fechadas, o campo elétrico no interior do condutor é nulo, constando-se o motivo dos veículos automotivos fechados serem locais bem protegidos contra descargas elétricas (CHAPMAN, HEWETT, TREFETHEN, 2015).

### *3.4 Gerador de Van de Graaff*

O gerador de Van de Graaff foi criado pelo físico e engenheiro norte-americano Robert Jemison Van de Graaff (1901-1967) no ano de 1929, mas sendo patenteado apenas em 12 de fevereiro de 1935. A descoberta deste experimento deu fim aos investimentos de máquinas eletrostáticas a disco, pois não passavam de 700 kV de potencial elétrico produzidos (GRAAFF, 1935). Na Figura 3.6, demonstra-se o esboço do gerador de Van de Graaff no registro de patente.

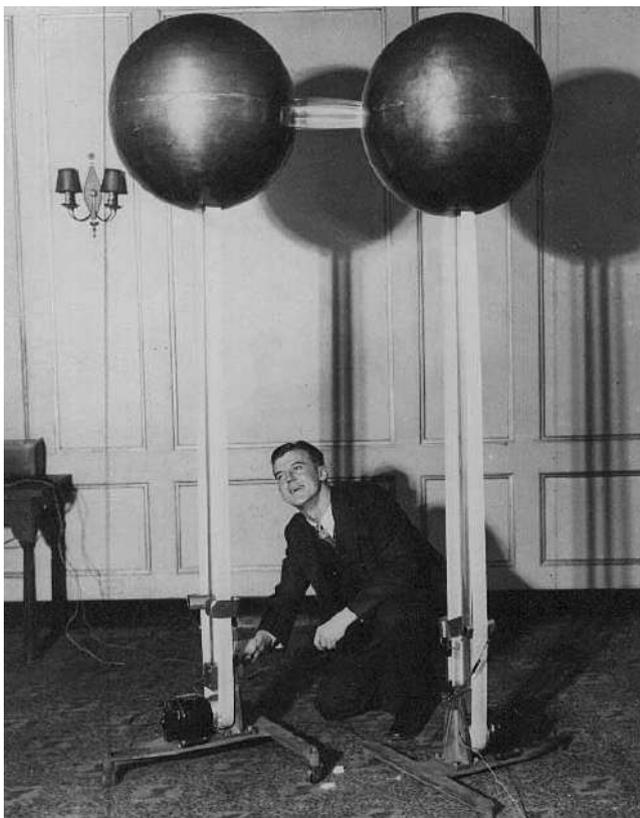
**Figura 3.6** - Imagem do gerador de Van de Graaff no registro de patente.



**Fonte:** Retirado da referência (GRAAFF, 1935).

O primeiro objetivo da criação deste modelo de gerador eletrostático, era produzir tensões constantes de corrente elétrica contínua com valores mais altos do que aqueles produzidos pelas máquinas eletrostáticas já existentes, onde chegou a registrar um valor de 10 MV no dia que o equipamento foi patenteado. O equipamento portava de duas colunas de sustentação, diferentemente dos aparatos experimentais utilizados em unidades escolares, que possuem apenas uma coluna. Na Figura 3.7, é demonstra o gerador construído por Van de Graaff e sendo manipulado por ele mesmo (GRAAFF, 1935).

**Figura 3.7** – Gerador sendo manipulado pelo próprio Van de Graaff.



**Fonte:** Retirado da referência (JÚNIOR, L. 2008)

Algumas variações do gerador são construídas desde então com finalidades distintas, os quais alguns serviram como os primeiros aceleradores de partículas, os quais eram construídos com estruturas maiores, com colunas de até 13 m de altura e esferas condutoras de até 4,5 m de diâmetro. O maior gerador de Van de Graaf do mundo se encontra no Museu da Ciência de Boston, demonstrado na Figura 3.8.

**Figura 3.8** - O gigante Van de Graaff do Museu de Boston



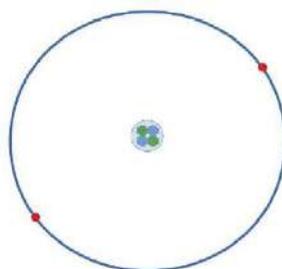
**Fonte:** Site do Museu da Ciência, acesso em 08/12/2022.

Com o avanço tecnológico, a ciência utiliza aceleradores de partículas altamente avançados e os geradores de Van de Graaff exercem funções didáticas utilizadas nos ramos da Física e Engenharias, com o intuito de reproduzir e estudar descargas elétricas em menores escalas, como é o caso deste trabalho, que apresenta em seu Produto Educacional (Apêndice C), um processo de montagem do equipamento.

### 3.5 Eletrostática

Partindo do conceito de que toda a matéria é um conjunto de átomos e estes comportam partículas elementares com cargas elétricas negativas e positivas, podemos afirmar que todos os materiais que conhecemos possuem propriedades elétricas. Quando falamos de eletricidade, logo nos remete a imaginar um fio que é atravessado por uma corrente elétrica, porém o estudo da eletricidade vai muito mais além, podemos pensar em átomos eletricamente neutros (Fig. 3.9), até uma descarga elétrica atmosférica que possui uma intensidade muito alta de corrente elétrica.

**Figura 3.9** – Modelo Atômico de Niel Bhor para o átomo de Hélio.



**Fonte:** Caderno Brasileiro de Ensino de Física (v.34, n.1, p. 224, 2017).

A partir do momento em que um átomo ou um corpo recebe ou perde um ou mais elétrons, ele deixa a situação de neutro e passa para o estado de eletrizado, no caso do átomo, passa a ser um íon e no caso de um corpo ele fica eletrizado positivamente ou negativamente.

No instante em que um corpo passa para o estado de eletrizado, este então possuirá uma determinada carga elétrica  $Q$ , que é o produto entre o número de elétrons, em excesso ou falta, contida no corpo e a carga elétrica elementar  $e = 1,6 \cdot 10^{-19}C$ . Sendo assim, existe uma distinção entre dizer que um corpo possui partículas

com carga elétrica, e em dizer que um corpo possui carga elétrica  $Q$ , pois esta última expressão só serve para corpos eletrizados, ou seja, corpos que possuem excesso ou falta de elétrons, uma vez que todos os corpos possuem partículas com carga elétrica, porém nem todos estão no estado de eletrizado.

$$Q = n \cdot e \quad (1)$$

### 3.5.1 Condutores e Isolantes Elétricos

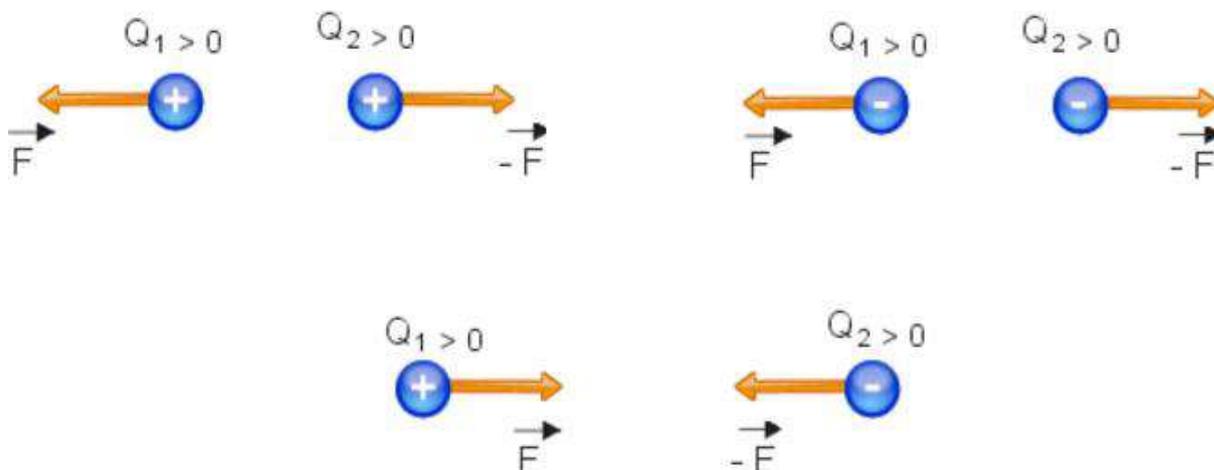
Os materiais classificados como condutores elétricos, são definidos por facilitar a movimentação de elétrons, uma vez que, a formação atômica destes materiais favorece muito no deslocamento dos elétrons de um átomo para outro. Os elétrons que compõem os átomos dos materiais condutores elétricos se localizam nas camadas eletrônicas mais externas, é o que chamamos de “elétrons livres”, pois ficam mais afastados do núcleo e assim existirá uma menor força de atração entre estes elétrons e os prótons que se concentram no núcleo atômico. Exemplos de bons condutores elétricos são os metais em geral, o corpo humano, água com ácido, base ou sais e a terra (NUSSENZVEIG, 1997).

As cargas elétricas em excesso de um determinado material condutor se distribuem pela superfície deste material, sendo que o campo elétrico inserido em uma superfície gaussiana dentro de um condutor, é nulo.

Os materiais classificados como isolantes elétricos ou não-condutores, são aqueles que oferecem dificuldade para a movimentação de elétrons, pois a composição atômica dos átomos que compõem estes materiais difere-se da composição dos condutores. Os elétrons presentes nos materiais isolantes, permanecem nas camadas eletrônicas mais próximas dos átomos e assim predominando uma forte atração do núcleo atômico e sua eletrosfera. Exemplos de isolantes são materiais não-metals, borracha, plástico, vidro e água destilada.

A força de atração entre núcleo e eletrosfera se estabelece devido ao Princípio da Atração e Repulsão de cargas elétricas, sendo que cargas elétricas de mesmo sinal se repelem e cargas elétricas de sinais opostos, se atraem (Fig. 3.10).

**Figura 3.10** - Princípio da atração e repulsão de cargas elétricas



**Fonte:** KRUGER, Tarcísio Pollnow. AULA 1-Eletrostática.

### 3.5.2 Processos de Eletrização

Para que ocorra a eletrização de corpos neutros, partimos de três processos, por Atrito, Contato e por Indução.

Na eletrização por atrito, existirá o atrito entre certos objetos que tendem a se eletrizar com cargas elétricas de sinais opostos, ou seja, um fica com carga elétrica negativa (excesso de elétrons) e o outro com carga elétrica positiva (excesso de prótons). Neste processo, um dos corpos irá ceder elétrons para o outro corpo, deixando assim os dois corpos eletrizados. Isso ocorre quando a correia de um Gerador de Van de Graaff, feita de papel EVA, atrita-se com uma chapa de alumínio. Ocorre também entre as moléculas de água contidas no interior das nuvens, pelo processo de convecção das massas de ar quente e fria, assim deixando as nuvens no estado de polarização, ou seja, com a parte inferior da nuvem eletrizada negativamente e a parte superior eletrizada positivamente.

Já no processo de eletrização por contato, basta ocorrer um simples contato entre um corpo previamente eletrizado com outro corpo neutro, assim ambos ficam eletrizados com carga elétrica de mesmos sinais. Neste processo, ocorrerá um deslocamento de elétrons de um corpo para o outro, caso estes corpos possuam as mesmas dimensões, este deslocamento se dará de forma igual, porém se os corpos possuírem dimensões diferentes, esta distribuição se dará de forma proporcional ao diâmetro de cada corpo.

$$Q_1 = Q_2 = \frac{Q_1 + Q_2}{2} \quad (2)$$

A eq. (2) é válida para processos que envolvam o contato de apenas dois corpos com dimensões iguais. Caso envolvam vários corpos idênticos de forma simultânea, teremos a expressão encontrada na eq. (3).

$$Q_1 = Q_2 = Q_n = \frac{Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n}{n} \quad (3)$$

Caso os corpos envolvidos no processo de eletrização por contato possuam dimensões diferentes, essas cargas irão se distribuir proporcionalmente a essas dimensões.

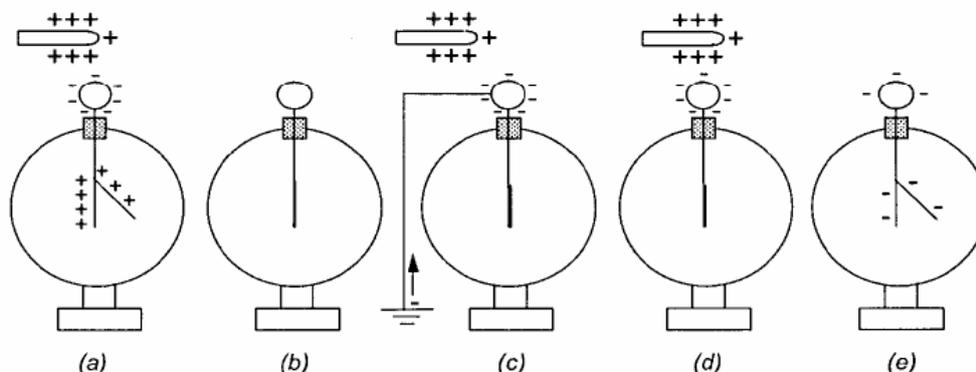
Logo, se os corpos possuírem dimensões diferentes e esféricas, teremos eq.(4):

$$\frac{Q_1}{R_1} = \frac{Q_2}{R_2} \quad (4)$$

onde,  $R_1$  e  $R_2$  são os raios dos corpos envolvidos no processo de eletrização por contato.

No processo de eletrização por indução, partimos de um corpo já eletrizado, que chamamos de indutor, aproximando-se de um eletroscópio provocamos uma polarização [Fig. 3.11(a)], caso retiremos o corpo eletrizado a carga do eletroscópio volta ao seu estado inicial [Fig. 3.11(b)]. Em seguida, é ligado um aterramento ao eletroscópio, estabelecendo contato com a terra e assim ocorrerá um deslocamento de cargas elétricas de sinais contrários ao corpo indutor [Fig. 3.11(c)]. Ao final deste processo, o eletroscópio ficará com carga elétrica contrária ao corpo induzido, assim podendo desligar o aterramento [Fig. 3.11(d)] e em seguida afastar o corpo indutor do corpo induzido [Fig. 3.11(e)].

**Figura 3.11** – Processo de eletrização por indução demonstrado em um eletroscópio.

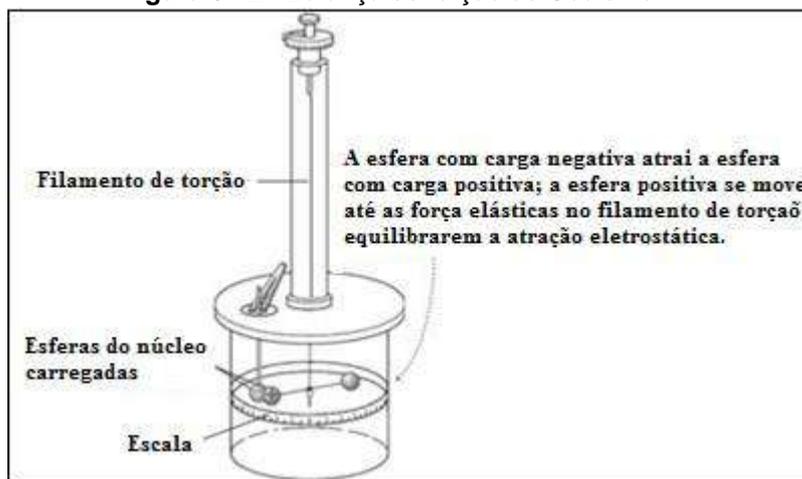


**Fonte:** Retirado da referência (NUSSENZVEIG, 1997)

### 3.5.3 Lei de Coulomb

O físico francês Charles Augustin de Coulomb (1736 - 1806) foi o cientista responsável pela criação da lei que estabelece a força de interação entre cargas elétricas, a conhecida Lei de Coulomb. Charles Coulomb utilizou uma balança de torção (Fig. 3.12), balança essa muito parecida com a mesma usada por Henry Cavendish para realizar a primeira medição da constante da Gravitação Universal (OLIVEIRA, 2016).

**Figura 3.12** - Balança de torção de Coulomb



**Fonte:** Retirado da referência (OLIVEIRA, 2016)

De acordo com a Lei de Coulomb, a intensidade da força elétrica produzida por duas cargas elétricas com dimensões desprezíveis é diretamente proporcional ao produto dessas cargas elétricas e inversamente proporcional ao quadrado da

distância que separa as mesmas. Logo, segundo o Princípio da Atração e Repulsão de cargas elétricas, se as cargas tiverem mesmos sinais essa força será de Repulsão e caso tenham sinais opostos, essa força será de Atração. Assim,teremos:

$$\vec{F} = k \frac{q_1 q_2}{(r_{12})^2} \hat{r}_{12} \quad (5)$$

onde  $\vec{F}$  é a força de interação entre as cargas,  $r$  é o vetor unitário de direção que unem as cargas 1 e 2,  $r$  é a distância que separam as cargas, e  $k$  é a constante eletrostática no vácuo, que também pode ser substituída por:

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$$

assim, teremos a equação (5) escrita da seguinte forma:

$$\vec{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{(r_{12})^2} \hat{r}_{12} \quad (6)$$

A Lei de Coulomb é aceita em qualquer situações experimentais até os dias atuais, não sendo encontrado nenhuma inconsistência, podendo ser utilizada até mesmo nas interações subatômicas, onde as Leis de Newton não se aplicam (OLIVEIRA, 2016).

#### 3.5.4 Campo Elétrico

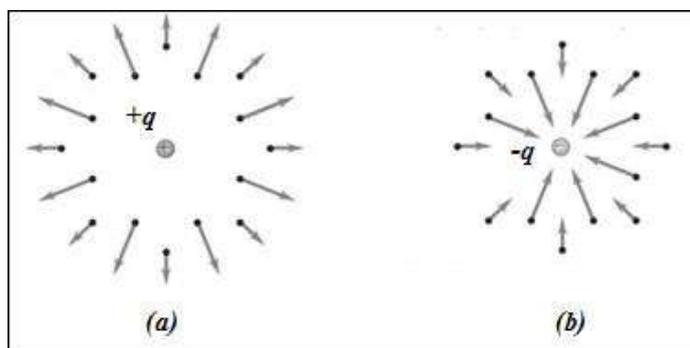
O conceito de campo elétrico foi introduzida por Michael Faraday ainda no século XIX, mas de acordo com Halliday & Resnick, o campo elétrico se define como uma distribuição de vetores nas regiões que envolvem um corpo eletrizado, e o seu módulo poderá ser determinado pela equação (7):

$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1}{(r_1)^2} \hat{r}_1 \quad (7)$$

Na Figura 3.13 é demonstrado os vetores campo elétrico em cada região que envolve duas cargas elétricas de sinais opostos. Observa-se que os vetores de campo elétrico pertencentes a carga elétrica positiva, se orientam radialmente para fora da carga, ou seja, se afastando da mesma. Os vetores de campo elétrico criados pela

carga elétrica negativa, se direcionam com sentido de aproximação da carga elétrica.

**Figura 3.13** - Vetores campos elétricos.



**Fonte:** Young & Freedman (2009).

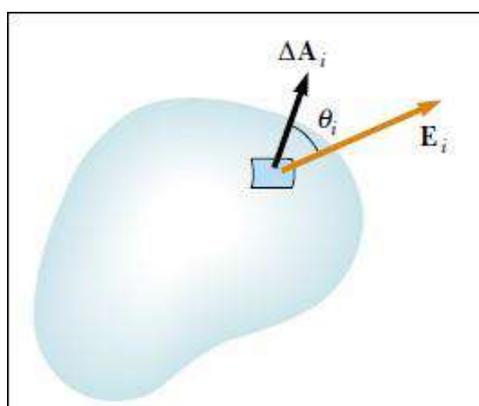
### 3.5.5 Lei de Gauss

A Lei de Gauss pode ser considerada uma consequência da Lei de Coulomb, para o cálculo de campo em situações onde as cargas elétricas se distribuem em alta simetria, relacionando com as linhas de campo elétrico que atravessam uma superfície gaussiana, ou seja, uma superfície fechada.

O fluxo de um campo elétrico através de uma superfície gaussiana (Fig. 3.14) é diretamente proporcional à intensidade desse campo elétrico e a área na qual as linhas de campo elétrico atravessam. Esse fluxo pode ser determinado pela equação (8):

$$\Phi = \sum \vec{E} \cdot \Delta \vec{A} = \oint \vec{E} \cdot d\vec{A} \quad (8)$$

**Figura 3.14** - Elemento de área de uma superfície gaussiana.



**Fonte:** Serway & Jewett (2004).

A Lei de Gauss relaciona o fluxo total do campo elétrico de uma superfície gaussiana à carga total envolvida por essa superfície, que pode ser calculada pela equação (9):

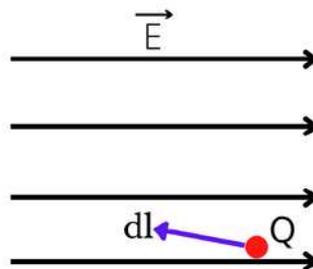
$$\epsilon_0 \oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = q_{env.} \quad (9)$$

onde, a carga elétrica total envolvida pela superfície gaussiana, é a soma algébrica de todas as cargas, tanto positiva quanto negativas, envolvidas pela superfície, com isso se a carga elétrica for positiva o fluxo de campo será de afastamento da superfície e se a carga elétrica for negativa o fluxo de campo será de aproximação da superfície gaussiana (GRIFFITHS, 2011).

### 3.6 Potencial Elétrico

Considerando que uma carga teste  $Q$ , desloca-se no sentido contrário ao campo elétrico  $\vec{E}$ , como é mostrado na Figura 3.15.

**Figura 3.15** – Carga inserida no campo elétrico.



**Fonte:** Autoria própria.

O trabalho realizado pela carga  $Q$  ao percorrer o deslocamento  $d\vec{l}$ , no sentido oposto ao campo elétrico  $\vec{E}$ , será dado por:

$$dW = \vec{F} \cdot d\vec{l} = -Q \vec{E} \cdot d\vec{l} \quad (10)$$

Caso limitemos esse deslocamento de um certo ponto A até um ponto B, teremos então:

$$W = \int_B^A \vec{F} \cdot d\vec{l} \quad (11)$$

Assim, se substituirmos a eq. (10) na eq. (11), temos:

$$W = - \int_B^A Q \vec{E} \cdot d\vec{l} \quad (12)$$

A diferença de potencial entre os pontos A e B, pode ser definida como o trabalho realizado por uma fonte externa para deslocar uma carga de B para A, inserida em um campo elétrico  $\vec{E}$ , logo:

$$V_{AB} = V_A - V_B = \frac{W}{Q} = - \int_B^A \vec{E} \cdot d\vec{l} \quad (13)$$

Concluimos que, o trabalho realizado para levar uma carga unitária de um ponto A a um ponto B, é igual a diferença de potencial entre estes pontos A e B.

### 3.7 Ruptura da Rigidez Dielétrica

Podemos calcular o maior valor possível do campo elétrico gerado pela esfera condutora de um gerador de Van de Graaff, além da carga máxima adquirida pela esfera condutora e do potencial elétrico de ruptura da rigidez dielétrica do ar. Pela Lei de Gauss, eq. (9), temos que:

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{Q}{\epsilon_0}$$

$$E(r) A(r) = \frac{Q}{\epsilon_0}$$

Assim:

$$E_{m\acute{a}x.} = \frac{Q}{4\pi R^2 \epsilon_0} \quad (14)$$

Onde  $E_{m\acute{a}x.}$  é o módulo do campo elétrico na iminência de ocorrência da ruptura da rigidez dielétrica do ar.

Ainda seguindo a Lei de Gauss, temos que o campo elétrico dentro da esfera

condutiva é nulo, sendo assim, utilizando a eq. (13), para o potencial elétrico, temos que:

$$V_{(r)} = - \int_{\infty}^r \vec{E} \cdot d\vec{l}$$

$$V_{(r)} = - \int_{\infty}^r \frac{Q}{4\pi r'^2 \epsilon_0} dr'$$

$$V_{(r)} = - \frac{Q}{4\pi \epsilon_0} \int_{\infty}^r \frac{1}{r'^2} dr'$$

Calculando a integral respeitando os limites considerados, teremos então que a tensão elétrica de ruptura se dará por:

$$V_{(r)} = - \frac{Q}{4\pi \epsilon_0 r} \quad (15)$$

Se utilizarmos a eq. (14), podemos chegar a quantidade de carga máxima  $Q_{máx.}$  gerada pela esfera condutora para quebra da rigidez dielétrica do ar, da seguinte forma:

$$E_{máx.} = \frac{Q}{4\pi R^2 \epsilon_0}$$

Logo:

$$Q_{máx.} = E_{máx.} 4\pi \epsilon_0 R^2 \quad (16)$$

Teoricamente temos que a rigidez dielétrica do ar é de  $3 \cdot 10^6 N/C$ , sendo assim quando o campo elétrico externo gerado pela esfera condutora do gerador de Van de Graaff atinge este valor, esta rigidez é quebrada e o ar passa a ser condutor elétrico. A esfera condutora do gerador utilizado nessa Sequência Didática, possui raio R de 10 cm, se considerarmos a permissividade elétrica do ar sendo  $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{C^2}{N.m^2}$  e utilizarmos a eq. (16), temos:

$$Q_{máx.} = E_{máx.} 4\pi \epsilon_0 R^2$$

$$Q_{m\acute{a}x.} = 3 \cdot 10^6 \frac{N}{C} \cdot 4 \cdot \pi \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{C^2}{N \cdot m^2} (10 \cdot 10^{-2} m)^2$$

$$Q_{m\acute{a}x.} = 12\pi \cdot 10^6 \frac{N}{C} \cdot 885 \cdot 10^{-16} \frac{C^2}{N \cdot m^2} \cdot m^2$$

$$Q_{m\acute{a}x.} = 37,68 \cdot 10^6 \frac{N}{C} \cdot 885 \cdot 10^{-16} \frac{C^2}{N \cdot m^2} \cdot m^2$$

Logo:

$$Q_{m\acute{a}x.} = 33346,8 \cdot 10^{-10} C$$

ou

$$Q_{m\acute{a}x.} = 3,33 \mu C$$

Para calcularmos o potencial el\u00e9trico m\u00e1ximo do gerador, ou seja, na imin\u00eancia do rompimento da rigidez diel\u00e9trica do ar, vamos considerar o valor deste potencial igual  $3 \cdot 10^6 V/m$ , que \u00e9 equivalente ao campo el\u00e9trico m\u00e1ximo antes dessa quebra de rigidez. Sendo assim:

$$V = \frac{3 \cdot 10^6 V}{1 m}$$

$$V = \frac{3 \cdot 10^6 V}{1 \cdot 10^2 cm}$$

Logo:

$$V = 3 \cdot 10^4 V/cm$$

Foram feitas algumas medidas aproximadas do comprimento das centelhas produzidas pelo gerador, estas medidas foram entre 2 cm e 5 cm. Sendo assim, o m\u00e1ximo valor do potencial el\u00e9trico produzido pelo gerador, foi:

$$3 \cdot 10^4 V \text{ --- } 1 cm$$

$$V_{m\acute{a}x.} \text{ --- } 5 cm$$

Logo:

$$V_{m\acute{a}x.} = 15 \cdot 10^4 V$$

ou

$$V_{m\acute{a}x.} = 150 \text{ kV}$$

### 3.8 Física de Plasma

Os estados físicos da matéria traz uma complexidade em seu entendimento quando também refere-se ao mundo microscópico. Os estados físicos sólido, líquido e gasoso são os mais conhecidos, com seus limites térmicos de transformação bem definidos, contudo, já foram detectados outros estados físicos. O plasma na ordem cronológica de descoberta se torna o quarto estado físico da matéria, terá um estudo mais aprofundado nesta seção, o condensado Bose-Einstein o quinto estado físico, o gás Fermiônico o sexto e o superfluido Polaritons o sétimo estado físico da matéria.

O Plasma é considerado o quarto estado físico da matéria, correspondendo a aproximadamente 99% da composição do universo visível (FERNANDES, JÚNIOR, 2001), mas por vezes é desconhecido por nossos estudantes, devido a pouca exploração deste assunto nas unidades escolares da Educação Básica.

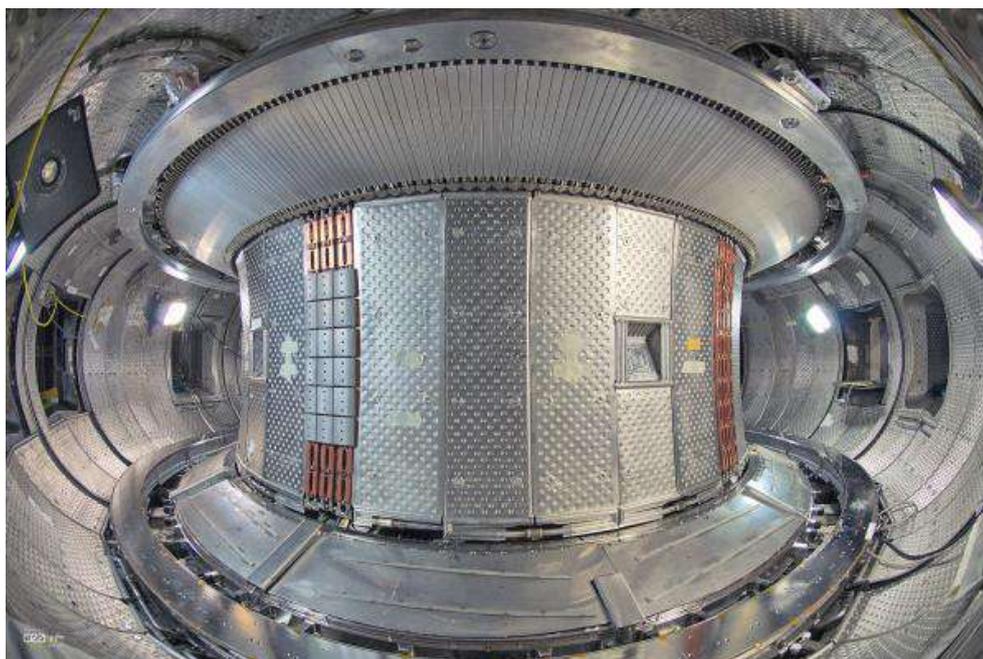
O plasma pode ser obtido a partir do super aquecimento de um gás, podendo ser caracterizado pela densidade do número de partículas por unidade de volume e pela temperatura. Plasmas utilizados em fusão termonuclear atingem temperaturas na ordem de  $10^8\text{K}$  e  $10^{22}$  partículas por  $\text{m}^3$ , enquanto plasmas que compõem a ionosfera possuem temperaturas e número de partículas com valores bem menores, na ordem de  $10^2\text{K}$  e  $10^{12} \text{ m}^{-3}$  respectivamente (FERNANDES, JÚNIOR, 2001).

O plasma é facilmente encontrado a nossa volta, estando presente nos televisores de plasma, nas lâmpadas fluorescentes, no sol, nas auroras boreais e nas descargas elétricas atmosféricas. Também pode-se encontrar plasma em tecnologias científicas atuais como o tokamak, que é um equipamento que tem a função de obter fusão termonuclear, motores de propulsão de veículos espaciais (KIKUCHI, SOUZA, BATISTA, SACHS, FILHO, 2016).

Depois da Segunda Guerra Mundial, iniciou-se uma série de estudos relacionados a energia nuclear, motivados pela destruição em massa causada pelas bombas atômicas, as quais utilizavam a fissão nuclear, gerando uma reação em cadeia, podendo chegar a níveis altíssimos de energia, tornando-se incontrolável. Sendo assim, estudos envolvendo o confinamento de plasma a fim de provocar fusão nuclear chamou a atenção da comunidade científica e deu-se início a novas

pesquisas. Sendo assim, em plena Guerra Fria, os soviéticos construíram a primeira máquina Tokamak, capaz de produzir fusão nuclear a partir do confinamento de plasma utilizando campos magnéticos, dando início a uma enorme pesquisa em busca de obter fusão termonuclear controlada. Atualmente existem aproximadamente 70 máquinas Tokamak no mundo. Na Figura 3.16, é demonstrado um reator Tokamak do INTER (International Thermonuclear Experimental Reactor), na França (WILTGEN, 2022).

**Figura 3.16** – Reator Tokamak.



**Fonte:** Site do IPEA, acesso em 08/12/2022.

O ensino da Física de Plasma pode trazer um maior interesse dos estudantes pela disciplina de Física e utilizar-se de metodologias de ensino que se correlacionam com as pesquisas científicas atuais, pode trazer um sentido maior em se estudar ciência. Conteúdos de Física que estão ligados as descobertas e estudos da ciência atual, se fazem muito importantes serem inseridos na Educação Básica, pois a própria manutenção de pesquisas futuras dependerá do interesse de estudantes do presente.

## 4. Construção do Conhecimento

A escola é um ambiente que nos proporciona o entendimento de várias áreas do conhecimento e que também nos torna pessoas com capacidade intelectual suficiente para discernir as mudanças que ocorrem na própria Educação ao longo da história. Piaget e Vygotsky são dois teóricos que contribuíram muito para esse entendimento, que por muitas vezes foram interpretados como teorias antagonistas, mas que estudos mais recentes apontam justamente o contrário, ou seja, são teorias que se complementam, demonstrando com pontos de vistas diferentes, como se dá o construção do conhecimento do indivíduo (CARVALHO, 2013).

A SEI é bastante utilizada no ensino de ciências, pois a investigação é uma das premissas da ciência. Não se faz descobertas e grandes trabalhos científicos se não houver identificação de um problema, levantamento de hipóteses e sistematização do conhecimento adquirido.

### 4.1 A importância do Problema

Piaget demonstra empiricamente a importância de um problema na construção do conhecimento e os estudantes podem participar diretamente desta construção, pois ao deparar com o problema a ser resolvido, terá a oportunidade de criar hipóteses de solução se libertando do raciocínio do professor, ou seja, criando o seu próprio raciocínio. Com isso, entendemos que o estudante tem autonomia no momento da aprendizagem, contudo, com participação ativa e orientadora do professor.

Segundo o entendimento de Carvalho (2013, p.2), “qualquer novo conhecimento tem origem em um conhecimento anterior”, sendo base das teorias construtivistas. Quando o estudante se propõe a resolver um problema proposto pelo professor, ele é levado a sair da sua “zona de conforto”, conceitualmente proposto por Piaget, como “desequilíbrio”. Ao obter a possibilidade de solucionar o problema e criar um novo conhecimento, estabelece-se o “reequilíbrio”, assim denominado por Piaget.

Na construção do conhecimento, Piaget faz menção da necessidade da “passagem da ação manipulativa para a ação intelectual”, referindo-se ao conhecimento escolar:

“O entendimento da necessidade da passagem da ação manipulativa para ação intelectual na construção do conhecimento – aqui incluindo o conhecimento escolar – tem um significado importante no planejamento do ensino, pois a finalidade das disciplinas escolares é que o aluno aprenda conteúdos e conceitos, isto é, constructos teóricos. Deste modo o planejamento de uma sequência de ensino que tenha por objetivo levar o aluno a construir um dado conceito deve iniciar por atividades manipulativas. Nesses casos a questão ou o problema, precisa incluir um experimento, um jogo ou mesmo um texto. E a passagem da ação manipulativa para a construção intelectual do conteúdo precisa ser feita, agora com a ajuda do professor, quando este leva o aluno, através de uma série de pequenas questões a tomar consciência de como resolveu o problema e porque ele deu certo, ou seja, de suas próprias ações” (CARVALHO, 2013, p.3).

Essa etapa da passagem da ação manipulativa para a ação intelectual é um momento de muito empenho tanto do professor quanto do estudante, pois tendemos a querer percorrer o caminho mais fácil, ou seja, explicar sobre algum conceito sem aguardar os questionamentos e possíveis erros. O professor deve ter sempre consciência de que o estudante que tem a oportunidade de consertar o seu próprio erro terá mais êxito do que simplesmente ouvir o professor replicar determinados conceitos.

A realidade das nossas escolas dificulta bastante a aplicação certos conceitos piagetianos, pois temos uma quantidade de estudantes por turma, incompatível com a necessidade de atenção que o professor deve prestar a cada indivíduo, ou seja, muitos estudantes para o professor individualizar o atendimento aos mesmos. Daí entra a grande importância das teorias vigotskianas no processo de construção do conhecimento de crianças e jovens inseridos nessa realidade.

#### *4.2 A importância dos Processos e Artefatos Culturais*

A importância de Vygotsky para o ensino se sustenta em dois fundamentos principais, segundo Carvalho (2013, p.3), o primeiro é que “as mais elevadas funções mentais do indivíduo se emergem de processos sociais” e o segundo é que os processos sociais e psicológicos humanos “se firmam através de ferramentas, ou artefatos culturais, que intermediam a interação entre os indivíduos e entre esses e o mundo físico”.

Vygotsky chama de interação social não só a comunicação verbal entre professor e aluno, mas todo o ambiente em que ocorre essa comunicação, bem como

os problemas, as informações e os objetos culturais que fazem parte do conteúdo ensinado e que cercam o estudante.

Outra grande contribuição do psicólogo Vygotsky para o ensino foi conceito de “zona de desenvolvimento proximal” (ZDP), que estabelece a distância entre o “nível de desenvolvimento real”, nível esse que determina o que o aprendiz consegue aprender sem o auxílio de alguém, e o “nível de desenvolvimento potencial”, determinado por quanto o aprendiz pode alcançar em conhecimento com ajuda de alguém com um nível mais alto de conhecimento. Em outras palavras, o nível de desenvolvimento real é aquilo que o estudante já tem condições de resolver de forma independente, sozinho, já o nível de desenvolvimento potencial, são habilidades que o estudante tem grandes chances de adquirir com a contribuição do professor ou de algum colega que tenha mais conhecimento específico do objeto em estudo (CORAIOLA; BIRZNEK; HIGA, 2018).

Daí vem a importância das atividades realizadas em grupos, tendo em vista que os estudantes que compõem cada grupo possuem níveis de desenvolvimento bastante próximos, fazendo com que a comunicação se estabeleça de forma mais clara do que a interação do professor com os mesmos, dando espaço para as interações discursivas. Mas Vygotsky dá muita importância ao papel do professor, pois é sob orientação dele que os novos conhecimentos serão potencializados.

Outro ponto importante, trazido por Vygotsky, é a importância dada aos conhecimentos prévios que os estudantes possuem, ajudando na construção de novos conhecimentos. Através destes conhecimentos prévios, que o estudante já possui em seu nível de desenvolvimento potencial, que ele irá tentar responder aos questionamentos e problemas propostos pelo professor.

Enquanto Piaget nos contempla com suas teorias levando-nos a dar atenção à importância de buscarmos a resolução de problemas na construção do conhecimento, Vygotsky nos mostra que estes problemas quando inseridos no âmbito social e cultural do estudante, a criação de novos conhecimentos será potencializada significativamente.

#### *4.3 Sequência de Ensino Investigativo*

A SEI é bastante utilizada no ensino de ciências, pois a investigação é uma das premissas da ciência. Não se faz descobertas e grandes trabalhos científicos se não

houver identificação de um problema, levantamento de hipóteses e sistematização do conhecimento adquirido.

A metodologia usada neste trabalho foi a Sequência de Ensino Investigativo (SEI), a qual proporciona ao estudante desenvolver um conjunto de habilidades, tais como, resolução de problemas, formulação de hipóteses, investigação, reflexão argumentativa, experimentação, criação de novos conceitos e letramento científico. Boa parte dos pesquisadores na área de ciências vem usando a resolução de problemas através do método investigativo como metodologias didático-pedagógicas, com o intuito de desenvolver o pensamento crítico e científico nos estudantes.

Segundo Carvalho (2013), a SEI pode ser organizada em quatro etapas bem definidas:

Na primeira etapa o professor apresenta o problema a ser investigado pelos estudantes, e este problema é geralmente um fenômeno natural que cerceia o cotidiano dos estudantes. É interessante que o professor organize a turma em pequenos grupos.

A segunda etapa é o momento em que os estudantes vão investigar o problema já organizados em pequenos grupos, possibilitando o diálogo, uma vez que possuem níveis intelectuais semelhantes. Levantarão hipóteses e questionamentos sobre o assunto, visto que os erros e acertos vão levá-los à construção de novos conceitos.

A terceira etapa é o momento em que os estudantes têm a oportunidade de debater sobre as hipóteses levantadas com mediação do professor, sistematizando coletivamente os conceitos envolvidos durante o processo investigativo, ao final o problema deve ser resolvido.

A quarta etapa consiste em analisar os dados, comparando com os conceitos iniciais apresentados, refletindo sobre os novos conceitos aprendidos. Nesta etapa ocorre o processo avaliativo, onde estudantes terão a oportunidade de formular respostas fundamentadas nos conhecimentos adquiridos.

A abordagem de problemas vem com o objetivo principal de construir significado aos objetos de conhecimento estudados, uma vez que boa parte dos professores na área de ciências acabam ensinando conteúdos de forma isolada, ou seja, ensina-se de forma mecanizada, tornando a aprendizagem algo sem relação com o cotidiano dos estudantes. Os problemas, a serem resolvidos, devem estar

relacionados com fenômenos naturais do cotidiano dos estudantes, despertando curiosidade e interesse em resolvê-los.

Além de despertar o interesse dos estudantes quando se investiga um determinado problema, a SEI carrega consigo a possibilidade de interações discursivas entre professor e alunos, contribuindo para a construção de significados, algo que também é defendido por Vygotsky. Segundo Mortimer e Scott (2002), as interações discursivas são consideradas constituintes do processo de construção de significados:

Essa 'nova direção' para a pesquisa em educação em ciências (Duit and Treagust, 1998) sinaliza um deslocamento dos estudos sobre o entendimento individual dos estudantes sobre fenômenos específicos para a pesquisa sobre a forma como os significados e entendimentos são desenvolvidos no contexto social da sala de aula. Muitas dessas pesquisas têm adotado, como perspectiva teórica, aquela relacionada à corrente socio-histórica ou sociocultural. Nessa tradição, o processo de conceitualização é equacionado com a construção de significados (Vygotsky, 1987), o que significa que o foco é no processo de significação. Os significados são vistos como polissêmicos e polifônicos, criados na interação social e então internalizados pelos indivíduos. Além disso, o processo de aprendizagem não é visto como a substituição das velhas concepções, que o indivíduo já possui antes do processo de ensino, pelos novos conceitos científicos, mas como a negociação de novos significados num espaço comunicativo no qual há o encontro entre diferentes perspectivas culturais, num processo de crescimento mútuo. As interações discursivas são consideradas como constituintes do processo de construção de significados. (MORTIMER, SCOTT, 2002, p.286)

Quando o professor associa os conceitos a serem ensinados a uma sequência de ensino investigativa, os estudantes têm a oportunidade de participar da construção do seu próprio conhecimento, deixando o poder de fala do professor compartilhado com os estudantes, modificando o ensino expositivo da pedagogia tradicional, na qual a análise é feita exclusivamente pelo professor. Durante o processo investigativo o professor deve deixar que os estudantes exponham suas ideias livremente.

Por anos, o uso de problemas na significação de conceitos foi estudado por Vygotsky e de acordo com suas teorias, quando o problema não está relacionado com contexto social vivido pelo estudante, corre-se o risco de termos duas situações (SOLINO, SASSERON, 2018). A primeira é o problema ser suficientemente superficial para que o estudante o considere como um exercício comum e o resolva de forma mecânica. A segunda é o problema estar além da capacidade intelectual do estudante e o mesmo não consiga desenvolver, mesmo com o intermédio do professor, uma solução para o problema.

Geralmente os professores de ciências utilizam um problema experimental para a SEI e quando este aparato experimental não pode ser manuseado pelos estudantes, o professor pode adotar a demonstração investigativa, podendo ser apresentado o experimento e a partir daí os estudantes podem formular suas hipóteses apenas observando as causas e os efeitos. Todavia, o problema também pode ser do tipo não experimental, utilizando imagens, notícias ou reportagens jornalísticas, até mesmo embalagens de produtos alimentícios, ao ponto de introduzir a análise de gráficos e tabelas, lhes apresentando uma linguagem científica do cotidiano.

Segundo Carvalho (2013), o problema deve ser escolhido pelo professor com muito cuidado:

“O problema não pode ser uma questão qualquer. Deve ser muito bem planejado para ter todas as características apontadas pelos referenciais teóricos: deve estar dentro de cultura social dos alunos, isto é, não ser alguma coisa que os espantem, sendo interessante para eles de tal modo que eles se envolvam na procura de uma solução e na busca desta solução deve permitir que os mesmos exponham os conhecimentos anteriormente adquiridos (espontâneos ou já estruturados) sobre o assunto. É a partir desses conhecimentos anteriores e da manipulação do material escolhido que os alunos irão levantar suas hipóteses e testá-las com a finalidade de resolver o problema” (CARVALHO, 2013, p.11).

Durante o processo de investigação em uma SEI, é de suma importância que o professor deixe os estudantes debaterem uns com os outros na formulação de hipóteses, para que possam estruturar dados e evidências do fenômeno experimental estudado, a fim de terem embasamento para as primeiras argumentações.

Após as primeiras etapas da SEI serem concluídas, ou seja, depois que os estudantes já conhecem o problema a ser resolvido e já realizaram o processo de investigação, vem a etapa de sistematização dos conceitos envolvidos. Uma produção textual, de forma individual, realizada pelos estudantes se torna essencial, pois o professor poderá perceber a realidade de quais alunos realmente conseguiram aprender os conceitos físicos envolvidos no processo investigativo. Durante os debates coletivos alguns alunos podem ficar em silêncio e um texto poderá trazer uma verificação mais precisa de quais estudantes realmente conseguiram resolver e compreender o problema.

Algumas Sequências de Ensino Investigativo podem necessitar aprofundar ainda mais os conceitos abordados, então essa atividade de sistematização poder ser ampliada com atividades mais dinâmicas, como a produção de pequenos vídeos,

questionários mais bem elaborados, simulações virtuais etc.

O processo final de uma SEI, se dará por uma atividade avaliativa, algo que não é nada fácil. O intuito é que o professor, ao avaliar de forma conceitual, elabore questionários mais interessantes, visto que alguns estudantes talvez nem percebam que estão sendo avaliados. O professor tem total liberdade para avaliar de forma procedimental e atitudinal, pois no decorrer da aplicação da SEI, há debates argumentativos, ações coletivas, produções de textos e vídeos. (CARVALHO, 2013)

Normalmente as escolas não usam com frequência a avaliação procedimental e atitudinal, mas na aplicação de uma SEI, essa forma de avaliar é bastante pertinente. Isso é reforçado por Carvalho (2013), da seguinte forma:

“Quando na etapa da resolução do problema em pequenos grupos, observando os alunos, se estes colaboram entre si na busca da solução do problema eles apresentam comportamento que indica uma aprendizagem atitudinal e se eles discutem buscando ideias que servirão de hipóteses e atestam isto indica uma aprendizagem processual do grupo. É preciso ver quem não participa nem em termos de atitude nem em termos de processo. Esta avaliação deve ser feita sempre que os grupos trabalharem. É esse o papel do professor nesta etapa da aula” (CARVALHO, 2013, p.19).

A realização de uma avaliação pautada nas atitudes dos estudantes deve ser valorizada e analisada pelo professor durante a aplicação de uma Sequência de Ensino Investigativo, pois faz com que o estudante possa ter uma auto reflexão e autoconhecimento dos seu próprio saber, fazendo com que reconheçam aquilo que precisa ser aperfeiçoado.

Embora existam diferentes estudos espalhados pelo mundo sobre a melhor forma de ensinar ciências, existe um consenso de que o estudante precisa interagir e compreender os fenômenos físicos que ocorrem à sua volta de forma mais crítica e assimilar com conceitos científicos.

## 5. Aplicação do Produto Educacional

Vivemos um momento de pandemia, no qual o cenário educacional passa por grandes transformações e precisa superar vários obstáculos. O ensino remoto entra nesse hall de transformações que permeiam a educação brasileira e não diferente, também a educação tocantinense. Sendo assim, o Produto Educacional deste trabalho de dissertação traz uma metodologia que se encaixa bem neste momento de distanciamento social, uma adaptação da Sequência de Ensino Investigativo. Foram criados grupos de whatsapp, para que os estudantes pudessem se comunicar e ao mesmo tempo se manterem afastados.

O Produto Educacional (Apêndice E) foi aplicado em duas turmas de ensino regular de 3º série do Ensino Médio em uma unidade escolar de tempo integral na cidade de Miracema do Tocantins, concentrando um total de 59 alunos matriculados e foi desenvolvido para aplicação em formato remoto e presencial, uma vez que a escola ofereceu no momento da aplicação, o modelo de ensino híbrido, no qual aproximadamente 80% dos estudantes continuaram de forma remota. Com isso, foi preparado um Roteiro Digital na plataforma CANVA (Apêndice C) e um Questionário Diagnóstico/Final (Apêndice A) no Google Forms, proporcionando maior acesso dos estudantes, simultaneamente foi entregue de forma impressa uma Atividade Investigativa (Apêndice B).

O problema a ser investigado, e conseqüentemente resolvido pelos estudantes, foi identificar os conceitos físicos envolvidos durante o processo de formação e incidência das descargas elétricas atmosféricas e também nas descargas elétricas produzidas pelo gerador de Van de Graaff. O problema experimental e a demonstração investigativa foi apresentada aos estudantes na Etapa 1 (Quadro 1) da sequência didática, expondo seis experimentos.

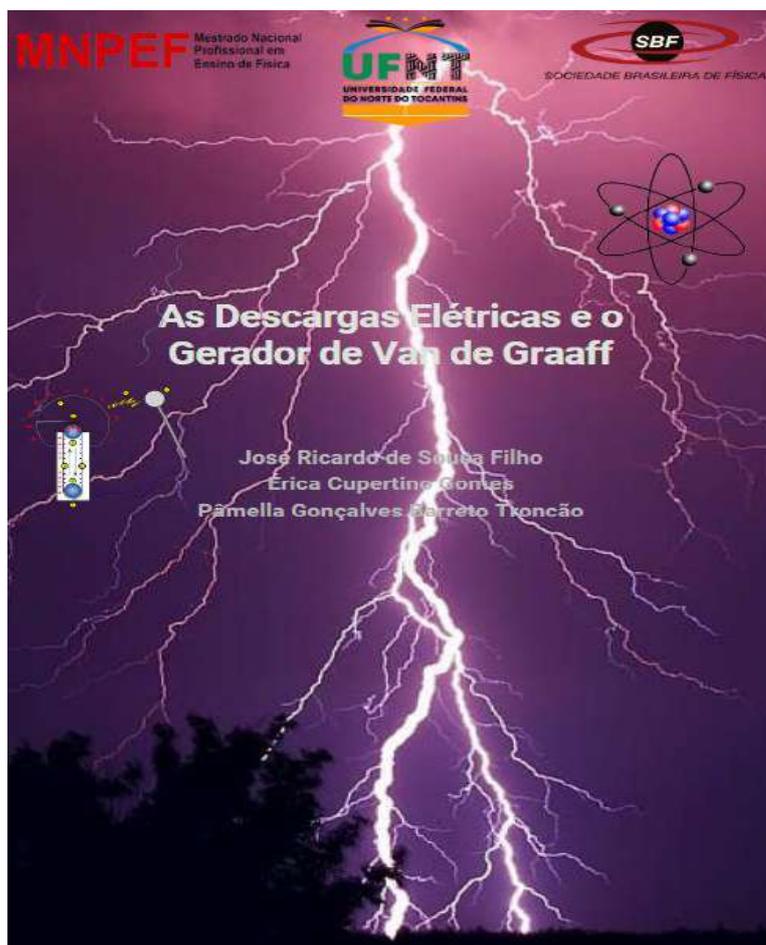
Para os estudantes que optaram pelo modelo de ensino remoto, foi proporcionado a reflexão dos experimentos feitos pelo professor (demonstrações investigativas) e apresentados em pequenos vídeos, levantando hipóteses sobre o problema e investigando sobre efeitos produzidos durante os experimentos. Já aqueles que optaram pelo ensino presencial, a análise dos experimentos e a manipulação dos mesmos foi feita pelos próprios estudantes (problema experimental), aos quais lhes atribuíam suas respectivas hipóteses sobre os fenômenos observados.

Na sistematização dos conceitos abordados durante o trabalho, é necessário que o professor ofereça liberdade intelectual aos estudantes, requisito muito importante em uma SEI, pois é de suma importância que os estudantes interajam com o material produzido para elaborarem hipóteses sobre como solucionar o problema proposto.

Desde que se iniciou a pandemia do novo coronavírus, a escola utilizou roteiros de estudos em formato impresso, devido a maioria de seus alunos serem de baixa renda, sendo assim, não possuem acesso à internet de qualidade, dificultando a realização de aulas via plataformas digitais.

A aplicação contou com enormes desafios, pois ocorreu em um momento de muitas indefinições quanto ao modelo de ensino a ser seguido, onde acabou sendo aplicado em formato híbrido. Na Figura 5.1, apresenta-se a capa do Produto Educacional (Apêndice E).

**Figura 5.1** – Capa do Produto Educacional.



**Fonte:** Autoria própria.

### 5.1 Resultados da aplicação do Produto Educacional

A principal ferramenta utilizada para que o professor pudesse se comunicar com os estudantes foi o Whatsapp, pois é bastante utilizada tanto por estudantes quanto por professores nesse momento de afastamento social. Na semana anterior à aplicação deste produto, o professor criou um grupo na plataforma Whatsapp com 56 estudantes, onde foi impossibilitado a inserção de apenas 3 estudantes por dificuldades de acesso à internet. A partir da criação deste grupo, foi criado um outro grupo contendo 9 líderes, onde estes criaram seus próprios grupos contendo 6 integrantes cada, agrupando os estudantes com o mesmo modelo de ensino (presencial e remoto). Os líderes eram responsáveis por se comunicar com o professor, intermediando o contato com os demais estudantes.

A aplicação deste produto educacional foi realizada de forma simultânea com os estudantes que optaram pelo modelo de ensino remoto e presencial, obedecendo 4 etapas que estão descritas no Quadro 1.

**Quadro 1** - Etapas da SD

ITEM	CONTEÚDO	METODOLOGIA	Nº DE AULAS (50 min)
<b>Etapa 1 (Proposição do Problema)</b>	Descargas Elétricas Atmosféricas	Vídeos, Imagens e Questionário Diagnóstico.	1
<b>Etapa 2 (Processo Investigativo)</b>	Condutores e Isolantes; Princípio da Atração e Repulsão de Cargas Elétricas; Processos de eletrização; Força Elétrica.	Investigação Demonstrativa e Atividade Investigativa.	2
<b>Etapa 3 (Sistematização dos Conhecimentos)</b>	Solução do Problema	Aula via Google Meet, debate de hipóteses.	2
<b>Etapa 4</b>	Avaliação dos Questionários e Produções de vídeos.	Questionário Final e Produção escrita ou vídeos.	1
<b>Total de aulas</b>			<b>6</b>

Fonte: autoria própria

Na primeira etapa, os estudantes puderam responder ao Questionário Diagnóstico (Apêndice A) online, elaborado no Google Forms, contendo 14 questões objetivas e 1 subjetiva, com o intuito de diagnosticar os conhecimentos prévios dos mesmos a respeito das descargas elétricas atmosféricas e se alguns destes conhecimentos recebiam influência da mitologia brasileira.

O link do Questionário Diagnóstico foi disponibilizado nos grupos de whatsapp, citados anteriormente, sendo respondido por 50 estudantes, alcançando aproximadamente 85% dos estudantes matriculados nas duas turmas de 3ª série.

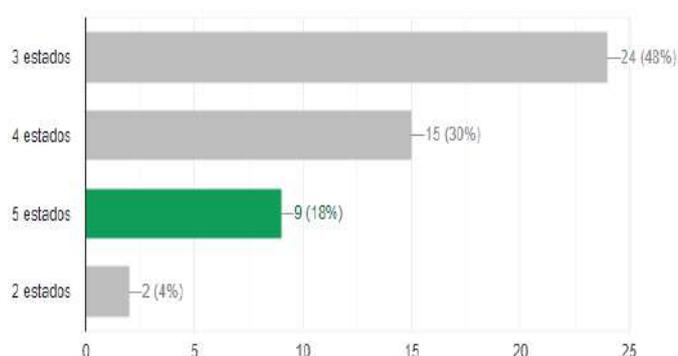
Com a intenção de verificar se haviam estudantes que já conheciam algum estado físico da matéria além dos 3 estados mais conhecidos (sólido, líquido e gasoso), foi inserida uma questão no Questionário Diagnóstico com este propósito. Devido a grande maioria dos estudantes terem optado pelo ensino remoto, não foi possível monitorar se aqueles que responderam mais de 3 estados físicos utilizaram de alguma fonte de pesquisa. A intenção de inserir tal questão no Questionário, é fazer com que os estudantes comecem a se habituar e reconhecer a existência de outros estados físicos que estão além do que geralmente são ensinados no Ensino Médio.

Na Figura 5.2(a) é demonstrado as respostas de uma questão do Questionário Diagnóstico, onde os estudantes puderam marcar o item correspondente a quantidade de estados físicos da matéria já descobertos, onde 48% dos estudantes responderam conhecer apenas os 3 estados físicos e outros 48% responderam os itens “4 estados” e “5 estados”. Na Figura 5.2(b), 73,8% dos estudantes já responderam reconhecer a existência de 4 ou 5 estados físicos. Podendo haver alguns estudantes que marcaram sem ter conhecimento destes estados físicos, a questão seguinte foi elaborada em formato discursivo.

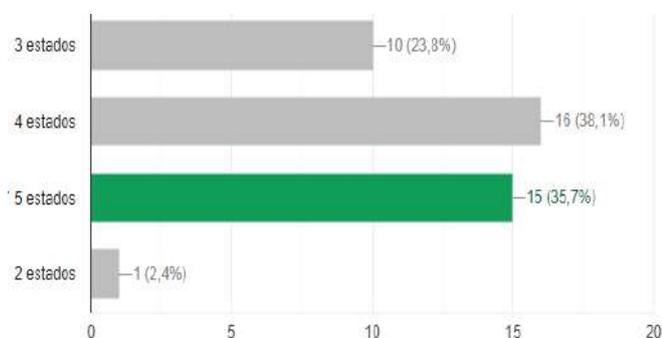
**Figura 5.2 - “Quantos estados físicos da matéria já foram descobertos?”: a)**

Questionário Diagnóstico; b) Questionário Final.

**a)**



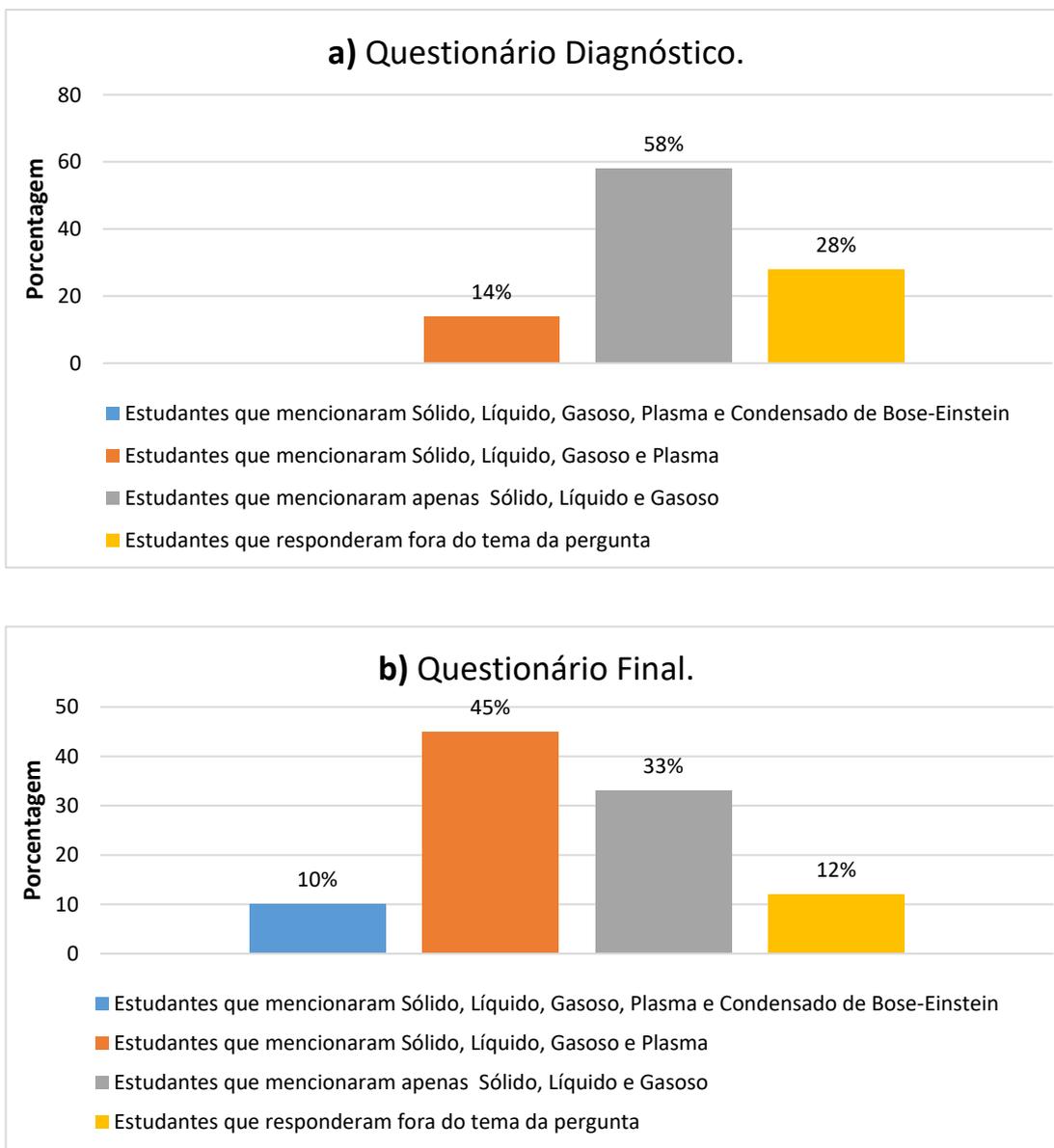
**b)**



**Fonte:** Autoria própria.

Uma questão discursiva, foi inserida com a intenção de verificar se os estudantes que marcaram os itens “4 estados” e “5 estados” na questão da Figura 5.2, perguntando: “Quais estados físicos você conhece?”. Na Figura 5.3, demonstra de forma compacta os resultados obtidos.

**Figura 5.3 - “Quais estados físicos você conhece?”:** a) Questionário Diagnóstico; b) Questionário Final.



**Fonte:** Autoria própria.

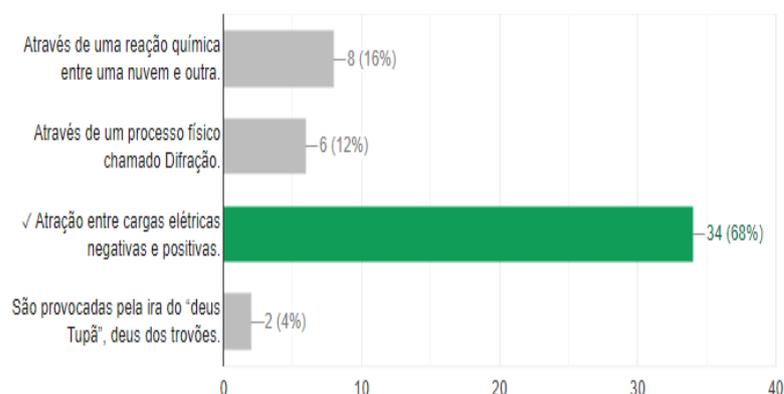
Com os resultados apresentados na Figura 5.3(a), observa-se que mesmo havendo 18% estudantes que marcaram o item “5 estados” [5.2(a)], nenhum deles mencionaram os nomes destes estados. Analisando os resultados da Figura 5.3(b), nota-se uma significativa evolução na quantidade de estudantes que mencionaram o estado Condensado de Bose-Einstein e o Plasma, sendo que apenas 14% dos estudantes mencionaram o Plasma [Fig. 5.3(a)], sendo que 55% dos estudantes mencionaram 4 ou 5 estados físicos no Questionário Final [Fig. 5.3(b)], ficando

constatado a construção de novos conhecimentos, uma vez que, a intenção principal era destacar a presença do Plasma nos fenômenos observados tanto com gerador de Van de Graaff, quanto nas descargas elétricas atmosféricas.

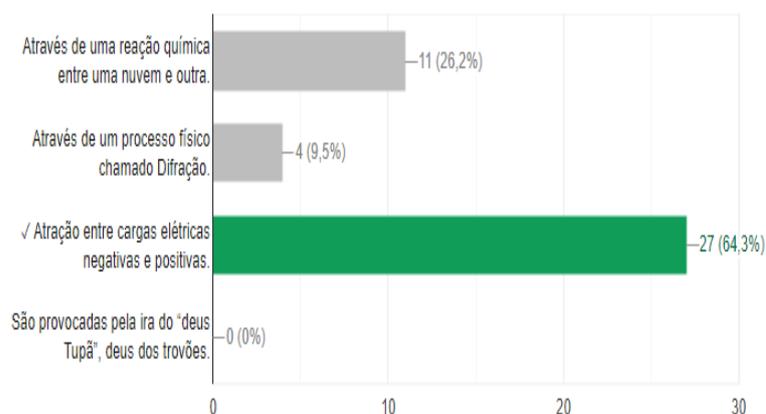
Em outra questão do Questionário Diagnóstico, demonstrado na Figura 5.4(a), destaca-se a quantidade de estudantes que já possuíam conhecimento sobre o processo de formação dos relâmpagos, os quais 68% dos estudantes responderam que os relâmpagos se formam devido a “atração entre cargas elétricas negativas e positivas”. Houve um resultado adverso nesta questão, uma vez que a quantidade de estudantes que responderam o Questionário Final foi menor do que os estudantes que responderam o Questionário Diagnóstico, como é demonstrado na Figura 5.4(b). Esta questão serviu como provocação ao estudante, para realizarem uma pesquisa mais aprofundada sobre Eletrostática, após a aplicação do Questionário Diagnóstico.

**Figura 5.4 - “Como se formam os Relâmpagos?”** a) Questionário Diagnóstico; b) Questionário Final.

a)



b)

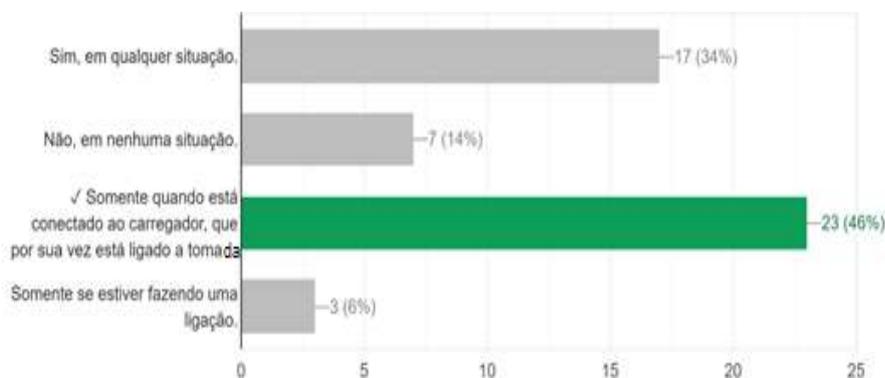


Fonte: Autoria própria.

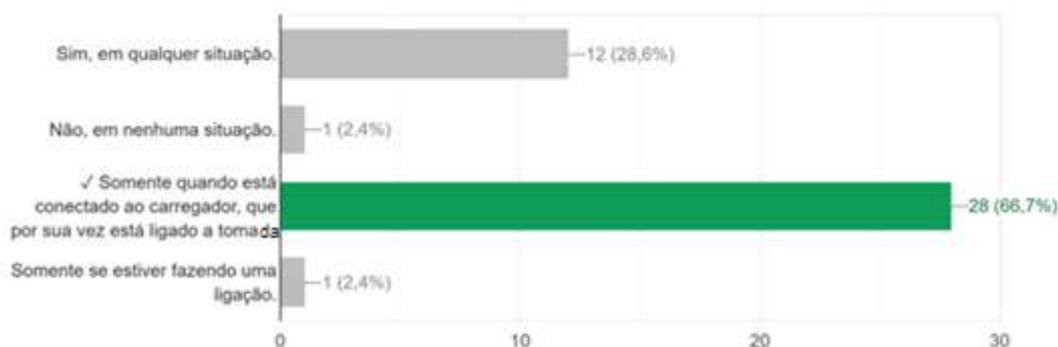
Outra questão do Questionário Diagnóstico, demonstrado na Figura 5.5(a), 54% dos estudantes responderam de forma equivocada, apontando que o uso do celular em dias de tempestades se torna perigo em qualquer situação ou em nenhuma situação ou somente no momento em que se faz uma ligação para outra pessoa. Na mesma questão do Questionário Final, Fig. 5.5(b), somente 33,4% dos estudantes responderam alguma destas alternativas, tendo um avanço quanto à compreensão dos riscos causados pelo uso do celular quando conectado a rede elétrica em momentos de tempestades.

**Figura 5.5 - “Fazer uso de telefones celulares em momentos de tempestades, pode ser perigoso?”** a) Questionário Diagnóstico; b) Questionário Final.

a)



b)



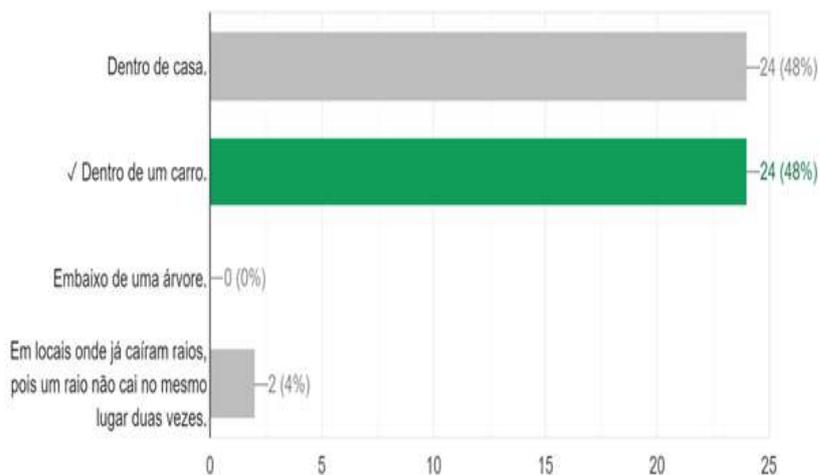
Fonte: Autoria própria.

Na Figura 5.6(a) do Questionário Diagnóstico, 48% dos estudantes responderam que um dos lugares mais seguros contra raios é dentro de casa, todavia, na mesma questão do questionário final, na Figura 5.6(b), somente 31% responderam esta mesma alternativa, onde 64% conseguiram assimilar o carro com o fenômeno da

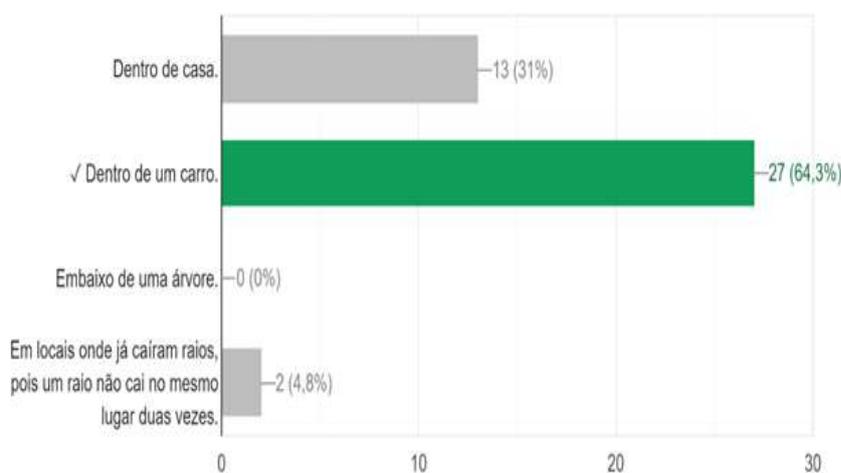
“Gaiola de Faraday”.

**Figura 5.6 - “Qual dos lugares a seguir você acredita ser mais seguro contra os Raios?”: a) Questionário Diagnóstico; b) Questionário Final.**

a)



b)



Fonte: Autoria própria.

Ainda na primeira etapa, os estudantes tiveram acesso a um Roteiro Digital (Apêndice C) produzido pelo professor. Este roteiro explora vídeos de descargas elétricas, uma reportagem informando que o Estado Tocantins é líder nacional em incidências de raios no país (Apêndice D) e vídeos demonstrativos de seis experimentos com o gerador de Van de Graaff que também foi construído pelo professor. Este material digital foi produzido na plataforma Canva, onde foi disponibilizado o link com a função “assistir”, pois o envio do vídeo por Whatsapp era inviável devido ao tamanho do arquivo.

No vídeo do primeiro experimento, o gerador de Van de Graaff é apresentado pelo professor, que por sua vez destaca os materiais que compõem o equipamentos, a fim de que os estudantes observem e investiguem estes materiais classificando-os em condutores e isolantes elétricos, onde as respostas foram registradas na pergunta pertinente ao experimento 1 da Atividade Investigativa (Apêndice B). Na Figura 5.7, mostra-se uma das imagens deste experimento.

Neste experimento não requer nenhuma medida de segurança, uma vez que o equipamento não esteve conectado com a rede de energia elétrica.

**Figura 5.7** – Experimento 1.



**Fonte:** Autoria própria.

No vídeo do segundo experimento, o gerador é ligado e se aproxima da esfera condutora um bastão com uma esfera metálica neutra, onde se forma uma centelha elétrica. O intuito é fazer com que os estudante visualizassem o fenômeno e detectassem a composição desta centelha e se as cargas elétricas se concentram na parte externa ou interna da esfera metálica, registrando suas argumentações na pergunta pertinente ao experimento 2 da Atividade Investigativa (Apêndice B). Na Figura 5.8, mostra-se uma das imagens deste experimento.

Neste experimento requer alguns cuidados, pois ao ligar o gerador a esfera metálica irá carregar eletricamente, contudo não se deve encostar nenhuma parte do corpo na esfera. O intuito deste experimento é somente aproximar o bastão, que por sua vez possui um cabo de material isolante (madeira).

**Figura 5.8** – Experimento 2.



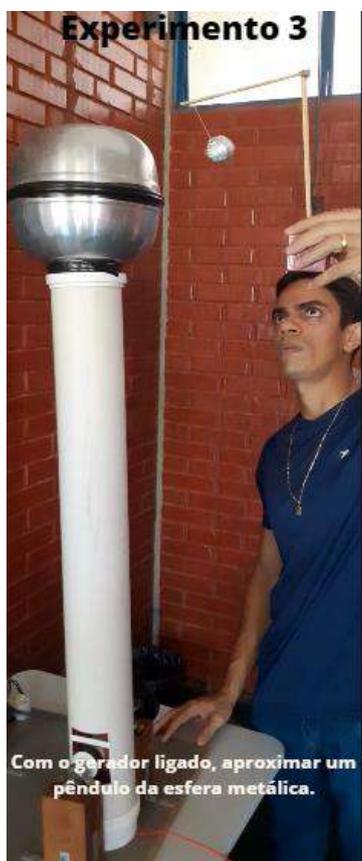
Fonte: Autoria própria.

No vídeo do terceiro experimento, aproxima-se um pêndulo com uma pequena esfera de isopor encapada com papel alumínio da esfera metálica já eletrizada. Os estudantes puderam observar o fenômeno ocorrido com a aproximação e assim também puderam registrar na pergunta pertinente ao experimento 3 da Atividade Investigativa (Apêndice B). Na Figura 5.9, mostra-se uma das imagens deste experimento.

Neste experimento requer alguns cuidados, pois ao ligar o gerador a esfera metálica irá carregar eletricamente, contudo não se deve encostar nenhuma parte do corpo na esfera. O intuito deste experimento é somente aproximar o pêndulo, o qual

possui estrutura de material isolante (madeira e plástico).

**Figura 5.9** – Experimento 3.



**Fonte:** Autoria própria.

No quarto experimento, uma pessoa com cabelos longos sobe e uma cadeira de material isolante e coloca a mão sobre a esfera metálica do gerador ainda desligado. Ao ligar o gerador os cabelos da pessoa se levantam e os estudantes observaram e registraram as suas argumentações, tentando explicar o fenômeno ocorrido, na pergunta pertinente do experimento 4 da Atividade Investigativa (Apêndice B). Na Figura 5.10, mostra-se uma das imagens deste experimento.

Neste experimento necessita-se de algumas medidas de segurança, no intuito de evitar uma descarga que possa trazer perigo à pessoa, será necessário subir em uma cadeira de material isolante, encostar a mão com o gerador ainda desligado e somente depois de estabelecer o contato que o gerador deve ser ligado. A mão deve ser retirada da esfera somente após o desligamento do gerador. É recomendado que a pessoa fique alguns segundos sobre a cadeira para se descarregar, evitando uma diferença de potencial em relação ao solo.

**Figura 5.10** – Experimento 4.



**Fonte:** Autoria própria.

No quinto experimento, uma pessoa sobre a mesma cadeira do experimento 4, coloca uma das mãos sobre a esfera do gerador ainda desligado, estende-se a outra mão que receberá papéis picotados. Liga-se o gerador e os estudantes observaram o que ocorreu com os fragmentos de papel que estavam sobre a mão da pessoa e assim também registraram na pergunta pertinente ao experimento 5 da Atividade Investigativa (Apêndice B). Na Figura 5.11, mostra-se uma das imagens deste experimento.

Neste experimento necessita-se das mesmas medidas de segurança do experimento anterior (experimento 4), devido os procedimentos serem semelhantes.

**Figura 5.11** – Experimento 5.



**Fonte:** Autoria própria.

No sexto e último experimento, uma pessoa sobre a mesma cadeira do experimento 5, coloca uma das mãos sobre a esfera do gerador ainda desligado. Liga-se o gerador e depois de alguns segundos o mesmo é desligado. Com a pessoa ainda em cima da cadeira, faz-se o contato com a ponta de um dos dedos da mão com outra pessoa que está no solo. Os estudantes observam o fenômeno e registram suas argumentações, tentando explicar o fenômeno ocorrido durante o contato, também na pergunta pertinente ao experimento 6 da Atividade Investigativa (Apêndice B). Na Figura 5.12, mostra-se uma das imagens deste experimento.

Neste experimento necessita-se das mesmas medidas de segurança dos experimentos 4 e 5, devido os procedimentos serem semelhantes.

**Figura 5.12** – Experimento 6.



**Fonte:** Autoria própria.

A segunda etapa é o momento em que os estudantes puderam investigar e elaborar hipóteses para os experimentos com o gerador e tentar responder o problema principal “Quais as semelhanças das Descargas Elétricas Atmosféricas com as Descargas Elétricas produzidas pelo gerador de Van de Graaff?”

Nesta segunda etapa, os estudantes receberam uma Atividade Investigativa de forma impressa (Apêndice B), que continham questões discursivas sobre os experimentos realizados pelo professor e gravados em vídeos no Roteiro Digital. Essa atividade foi aplicada e discutida em grupos, tanto remotamente através do grupo construído pelo Whatsapp, quanto presencialmente com os estudantes que estavam frequentando a unidade escolar.

Nas aulas presenciais haviam presentes 3 grupos, os quais puderam testar o gerador de Van De Graaff e realizar os experimentos presentes no roteiro digital. Os estudantes analisaram o equipamento e testaram outros experimentos que não constavam na Atividade Investigativa, como por exemplo, aproximaram o pêndulo da pessoa que mantinha contato com a esfera eletrizada do gerador e perceberam que a pessoa também atraía a esfera do pêndulo.

Na figura 5.13, demonstram o momento em que os estudantes, aqueles que optaram pelo modelo de ensino presencial, analisam o experimento de Van De Graaff e investigam os fenômenos observados, registrando suas respostas na Atividade Investigativa (Apêndice D).

**Figura 5.13** - Estudantes no modelo presencial analisando os experimentos.



Fonte: autoria própria

Nas figuras 5.14 a 5.16, demonstram algumas respostas produzidas por alguns estudantes, que optaram pelo modelo de ensino remoto, durante a aplicação da Atividade Investigativa (Apêndice B). Observa-se que os estudantes tiveram dificuldades em responder às questões, muitas vezes deixadas em branco, no ensino remoto, devido à distância mantida do professor, dos outros estudantes e do próprio experimento.

**Figura 5.14** - Atividade Investigativa respondida por uma estudante que optou pelo ensino remoto.

**Atividade Investigativa**

➤ **Experimento 1 - Demonstrar os materiais que compõem o Gerador de Van de Graaff.**

1) Quais materiais compõem o Gerador de Van de Graaff que são classificados como Isolantes Elétricos?

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

2) Quais materiais compõem o Gerador de Van de Graaff que são classificados como Condutores Elétricos?

Plástico (casacos), silicone, borracha, madeira, (cerâmicos), óleo, água pura desmineralizada.

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

➤ **Experimento 2 - Ligar o Gerador e aproximar o bastão com uma esfera metálica.**

1) Qual o estado físico que constitui a Centelha formada pela esfera metálica do gerador de Van de Graaff?

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**Fonte:** Autoria própria.

**Figura 5.15** - Atividade Investigativa respondida por uma estudante que optou pelo ensino remoto.

**Atividade Investigativa**

➤ **Experimento 1 - Demonstrar os materiais que compõem o Gerador de Van de Graaff.**

1) Quais materiais compõem o Gerador de Van de Graaff que são classificados como Isolantes Elétricos?

Vidro, borracha, Plástico

2) Quais materiais compõem o Gerador de Van de Graaff que são classificados como Condutores Elétricos?

Cobre, Alumínio, Estanho

➤ **Experimento 2 - Ligar o Gerador e aproximar o bastão com uma esfera metálica.**

1) Qual o estado físico que constitui a Centelha formada pela esfera metálica do gerador de Van de Graaff?

**Fonte:** Autoria própria.

**Figura 5.16** - Atividade Investigativa respondida por uma estudante que optou pelo ensino remoto.

➤ Experimento 5 - A pessoa em cima da cadeira com a mão em contato com a esfera estende a outra mão com papéis picados.

1) O que foi observado em relação aos papéis picados na mão da pessoa?

*Eles saíram quando da mão dela*

➤ Experimento 6 - Uma pessoa sobre uma cadeira isolante coloca a mão em contato com a esfera metálica do Gerador, em seguida é desligado o gerador e a pessoa encosta-se a outra pessoa que está no chão.

1) Se essa pessoa que está em cima da cadeira encosta-se na outra pessoa que está no chão, o que se observa? Qual a explicação para o fato ocorrido?

*Nada, pois o vidro acabou antes de ser mostrado*

**Pergunta Final**

Qual a relação do Gerador de Van de Graaff com as Descargas Elétricas Atmosféricas, ou seja, na sua concepção os raios se assemelham em algo que acontece com os experimentos realizados? Faça um comentário explicando estas semelhanças.

*Sim, pois através da movimentação de uma corrente que é obrigada por atrito na parte inferior do aparelho.*

**Fonte:** Autoria própria.

Nas figuras 5.17 a 5.19, demonstram as respostas produzidas por uma estudante que optou pelo modelo de ensino presencial. Observa-se que as respostas realizadas pela estudante, foram melhor elaboradas, devido ao contato presencial com o professor, com os próprios colegas e com o Gerador de Van de Graaff.

**Figura 5.17** - Atividade Investigativa respondida por uma estudante que optou pelo ensino

presencial.

### Atividade Investigativa

➤ **Experimento 1 - Demonstrar os materiais que compõem o Gerador de Van de Graaff.**

1) Quais materiais compõem o Gerador de Van de Graaff que são classificados como Isolantes Elétricos?

- Borracha, fita isolante, cano PVC, fio, madeira

2) Quais materiais compõem o Gerador de Van de Graaff que são classificados como Condutores Elétricos?

setor de torque de base nylon Esfera metálica  
papel alumínio, na geração.

➤ **Experimento 2 - Ligar o Gerador e aproximar o bastão com uma esfera metálica.**

1) Qual o estado físico que constitui a Centelha formada pela esfera metálica do gerador de Van de Graaff?

Plasma

Fonte: Autoria própria.

**Figura 5.18** - Atividade Investigativa respondida por uma estudante que optou pelo ensino presencial.

2) As cargas elétricas se concentram na parte interna ou externa da esfera metálica? Se conseguir, justifique.

Interna, a carga fica na parte da esfera metálica quando se aproxima um condutor, fica repulsa.

➤ **Experimento 3 - Com o gerador ligado, aproximar um pêndulo da esfera metálica.**

1) Por que a esfera do pêndulo foi atraída pela esfera metálica do Gerador?

Porque a pequena lâmpada que constitui o pêndulo é um condutor de energia.

2) O que foi observado depois que houve o contato entre as esferas? Elas se atraíram ou se repeliram? Por quê?

Elas se atraíram e se repeliram. Porque no momento inicial a esfera do pêndulo estava sem nenhuma carga, então quando se aproximou a esfera metálica, ela atraiu a esfera do pêndulo, adquiriu carga e a partir do momento que a esfera do pêndulo adquiriu carga suficiente ela passou a ser repulsa.

➤ **Experimento 4 - Uma pessoa sobre uma cadeira isolante coloca a mão em contato com a esfera metálica do Gerador.**

1) Por que a cadeira deve ser de material isolante?

Porque o material predominante da cadeira é o plástico, que é um isolante.

2) O que aconteceu com os cabelos da pessoa? Por que você acha que isso aconteceu?

Eles se levantaram e se repeliram com a esfera metálica por causa da energia conduzida pelo cabelo.

Fonte: Autoria própria.

**Figura 5.19** - Atividade Investigativa respondida por uma estudante que optou pelo ensino presencial.

➤ Experimento 5 - A pessoa em cima da cadeira com a mão em contato com a esfera estende a outra mão com papéis picados.

1) O que foi observado em relação aos papéis picados na mão da pessoa?

Eles começaram a se repeler da mão da pessoa

➤ Experimento 6 - Uma pessoa sobre uma cadeira isolante coloca a mão em contato com a esfera metálica do Gerador, em seguida é desligado o gerador e a pessoa encosta-se a outra pessoa que está no chão.

1) Se essa pessoa que está em cima da cadeira encosta-se na outra pessoa que está no chão, o que se observa? Qual a explicação para o fato ocorrido?

As 2 pessoas chocam-se. A pessoa que está em cima da cadeira tem energia armazenada em seu corpo e quando toca na pessoa que está no chão, ocorre uma descarga elétrica.

**Pergunta Final**

Qual a relação do Gerador de Van de Graaff com as Descargas Elétricas Atmosféricas, ou seja, na sua concepção os raios se assemelham em algo que acontece com os experimentos realizados? Faça um comentário explicando estas semelhanças.

Sim. Há semelhanças entre o gerador e os raios, e- que ambos produzem descargas elétricas. Só que o gerador produz uma quantidade menor de energia e também tem o mesmo estado físico, que é o plasma.

**Fonte:** Autoria própria.

De um modo geral, os estudantes que optaram pelo ensino presencial tiveram respostas mais bem elaboradas do que os estudantes que estavam distantes da unidade escolar, observando que a importância dada pelos estudantes às atividades propostas se sobressaem quando são supervisionadas pelo professor e quando o estudante tem a oportunidade de participar do experimento de forma presencial

provoca mais curiosidade e interesse pelos conteúdos abordados.

Na terceira etapa foi realizada uma aula via Google Meet (Fig. 5.20 e 5.21), em horário noturno, visando alcançar o maior número de estudantes possíveis, uma vez que boa parte destes estudantes estavam trabalhando durante o dia. A duração da aula foi de aproximadamente 2 horas, e teve o objetivo de sistematizar os conceitos envolvidos na atividade investigativa e debater hipóteses elaboradas pelos próprios estudantes.

Nessa aula, estiveram presentes um total de 22 estudantes, onde puderam expor suas hipóteses sobre as questões da atividade investigativa argumentando possíveis soluções para o problema proposto. O professor realizou uma apresentação em powerpoint dos conceitos físicos envolvidos na atividade investigativa e concomitantemente com as devidas intervenções as hipóteses elaboradas pelos estudantes.

**Figura 5.20** - Aula realizada no Google Meet para realização da Etapa 3.



**Fonte:** Autoria própria.

**Figura 5.21** - Aula realizada no Google Meet para realização da Etapa 3.



**Fonte:** Autoria própria.

Na quarta e última etapa, os estudantes puderam responder novamente o mesmo questionário diagnóstico online, desta vez, 42 alunos realizaram esta tarefa, alcançando aproximadamente 71% dos estudantes matriculados na 3ª série.

Ainda na quarta etapa, os grupos realizaram vídeos abordando o assunto ministrado durante toda esta sequência didática, sistematizando os conceitos aprendidos e principalmente respondendo ao problema principal mencionado na segunda etapa desta sequência didática. Foi possível perceber que os estudantes demonstraram ter adquirido novos conhecimentos, nos vídeos produzidos percebe-se algumas falas que confirmam a construção de novos conceitos. Depois de gravar imagens de uma árvore atingida por um raio, a estudante afirma, “árvores são pontiagudas e pontas possuem maior densidade de cargas elétricas”. No mesmo vídeo uma outra estudante demonstra alguns materiais que são considerados bons isolantes e afirma “ os isolantes elétricos são tão importantes quanto os condutores, uma vez que os elétrons que compõem os isolantes não possuem facilidade de movimentação, isso por que existe uma forte ligação entre eles e o núcleo atômico”. Em outro vídeo, outra estudante afirma, “para ocorrer a formação dos raios é necessário que haja atração entre cargas positivas e negativas, entre a nuvem e o

solo”. Uma outra fala merece destaque, pois a estudante demonstra ter compreendido bem a relação do gerador de Van de Graaff com as descargas elétricas atmosféricas, quando ela afirma, “o estado físico que compõe os raios é o plasma, nos experimentos feitos com o gerador de Van de Graaff foi possível observar que, o que acontece ali é algo bem parecido com a formação dos raios, mas em uma escala muito menor”. Nessa última fala percebe-se o reconhecimento do Plasma como quarto estado físico da matéria e onde ele é encontrado.

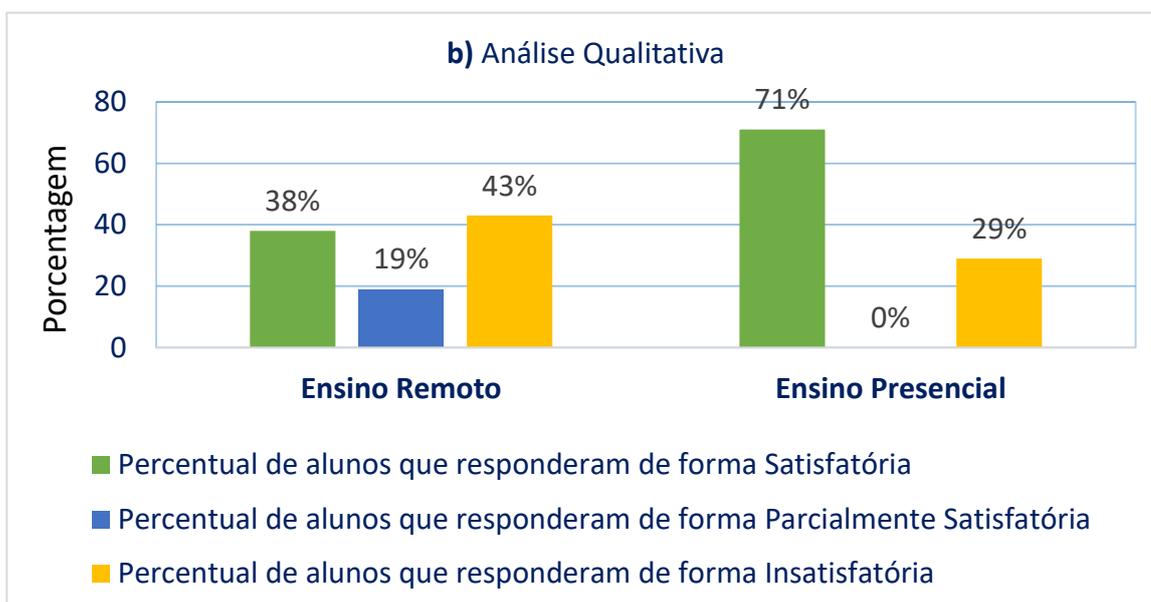
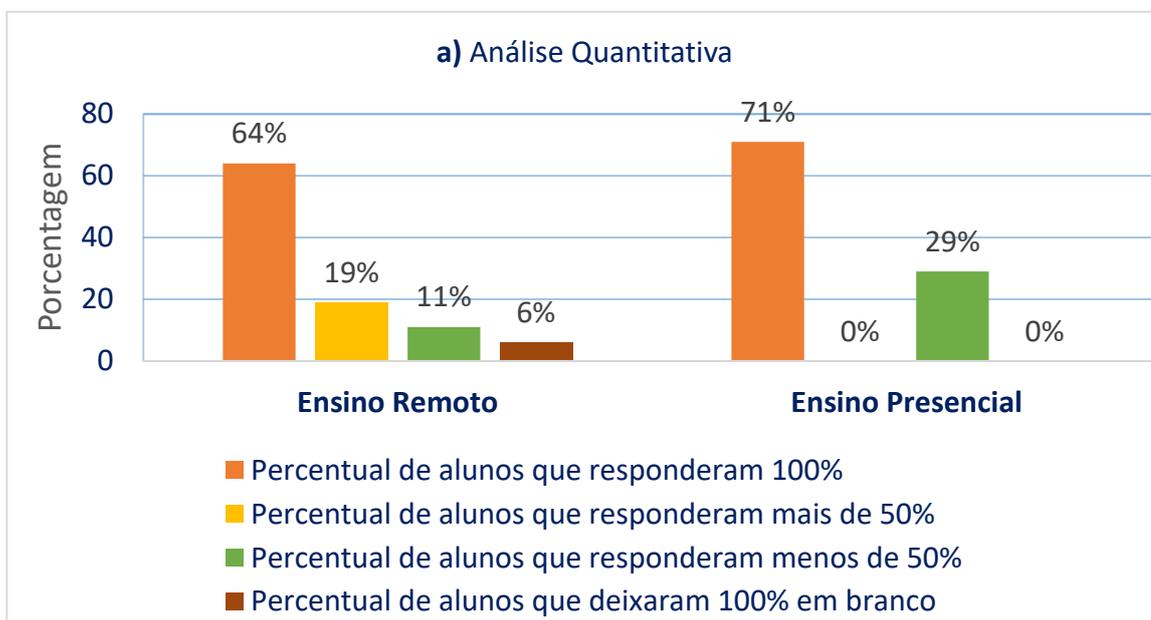
Nestes vídeos, os estudantes sistematizaram os novos conhecimentos adquiridos tanto no processo investigativo quanto com a aula expositiva ministrada pelo professor para discussão das atividades desenvolvidas. Os vídeos produzidos pelos estudantes foram publicados nas redes sociais da escola após o término da aplicação desta Sequência Didática.

## *5.2 Análise dos Resultados*

As atividades desenvolvidas nesta Sequência Didática foram aplicadas tanto aos estudantes que optaram pelo ensino remoto quanto aos estudantes que optaram pelo ensino presencial. Os estudantes que optaram pelo ensino presencial, tiveram a oportunidade de interagir com o experimento, com o professor e com os próprios colegas, ou seja, buscando resolver o problema experimental. Já os estudantes que permaneceram em casa tiveram a oportunidade de visualizar os vídeos com os experimentos, com as interações interpessoais limitadas ao uso do whatsapp e videochamadas no Google Meet, quando possível, assim realizando uma investigação demonstrativa, uma vez que não era possível um contato dos estudantes com o experimento.

É perceptível que os estudantes que optaram pelo ensino presencial tiveram mais envolvimento com as atividades desenvolvidas e com o próprio experimento de Van De Graaff. Diversos questionamentos eram feitos por estes estudantes, demonstrando o quanto é importante as interações discursivas entre aluno-aluno e aluno-professor. Essa diferença de envolvimento com a atividade investigativa é percebido de forma quantitativa como é demonstrado na Figura 5.22(a) e de forma qualitativa como é apresentado na Figura 5.22(b).

**Figura 5.22 – Análises da Atividade Investigativa:** a) Análise Quantitativa; b) Análise Qualitativa.



**Fonte:** Autoria própria.

Analisando a Figura 5.22(a), observa-se que 64% dos estudantes que optaram pelo ensino remoto responderam 100% das perguntas da Atividade Investigativa, porém que respondem de forma satisfatória somente 38% destes estudantes, como é apontado na Figura 5.22(b). No ensino presencial, percebe-se que 71% dos estudantes responderam 100% das atividades [Fig. 5.22(a)] e os mesmos 71%

responderam de forma satisfatória, ou seja, com respostas que demonstram melhor investigação dos experimentos.

Com a aplicação deste produto educacional, observou-se um avanço quanto ao pensamento e letramento científico, no qual distinguem o misticismo da investigação científica e na construção de novos conhecimentos. Acreditamos que, caso este trabalho contasse com a integralidade e normalidade do ensino presencial, os resultados obtidos seriam melhores. Na Figura 5.23 é apresentado uma análise compctada entre os dois modelos de ensino, remoto e presencial.

**Figura 5.23** – Análise qualitativa dos modelos de ensino.

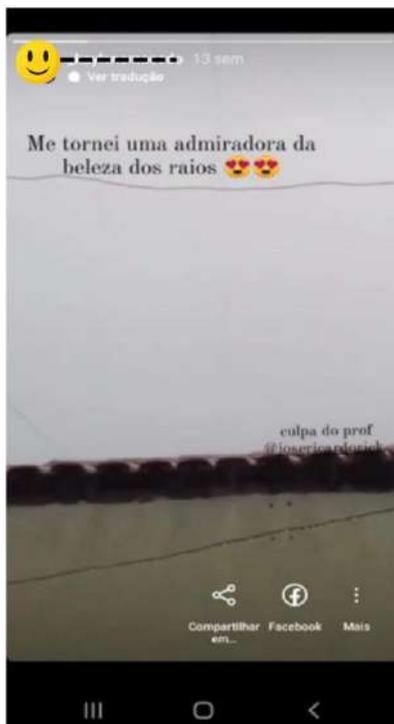
<b>Ensino Remoto</b>	<b>Ensino Presencial</b>
→ Dificuldades em entender a proposta das atividades.	→ Maior e melhor interação com o equipamento experimental.
→ Dificuldades em relacionar-se de forma interpessoal com os integrantes do grupo.	→ Interações discursivas com os colegas e com o professor.
→ Desinteresse pelo modelo de ensino.	→ Assiduidade na entrega das atividades.
→ Distanciamento do professor.	→ Monitoramento da realização das atividades.
→ Acesso limitado ao uso de dispositivos tecnológicos.	→ Feedback do professor e também do aluno em tempo real durante os questionamentos e investigações.

**Fonte:** Autoria própria.

Devido ao fato da aplicação deste trabalho ter sido realizada pouco antes do período de chuvas e tempestades na região de Miracema do Tocantins, alguns estudantes fizeram registros de ocorrências de descargas elétricas atmosféricas em suas redes sociais, demonstrando admiração pelo aprendizado sobre o assunto.(Fig.

5.24)

**Figura 5.24** - Postagem realizada por estudante e repostada pelo professor no Instagram.



**Fonte:** Autoria própria.

## 6. Considerações Finais

O ensino de Física no Brasil demonstra ser uma tarefa bastante complexa do ponto de vista de alcançar uma aprendizagem totalmente significativa, pois passa por vários percalços que impossibilitam atingir o interesse dos estudantes. Mas mesmo assim, nós professores não nos entregamos a falta de estrutura financeira e reconhecimento tanto da sociedade quanto de nossas autoridades políticas.

No momento em que o Produto Educacional foi aplicado, vivíamos um momento cheio de incertezas quanto ao modelo de ensino a ser seguido, remoto ou presencial, mas acabou sendo de forma híbrida, com a presença de uma pequena parcela dos estudantes optando pelo modelo de ensino presencial. Diante destas incertezas, foram necessárias várias adaptações e muita resiliência, pois foi um momento jamais vivido por nós, em termos de saúde pública mundial.

Mesmo diante de tantos obstáculos, a realização deste trabalho nos deixa bastante satisfeitos quanto aos resultados conquistados. Observando o processo de desenvolvimento das atividades propostas, tanto dos questionários quanto da Atividade Investigativa, presentes nos Apêndices desta dissertação, foi possível notar claramente o envolvimento dos estudantes, mesmo contendo muitas dificuldades de compreensão e comunicação com os conteúdos propostos, a devolutiva destes alunos foram bem satisfatórias.

Esperava-se que os mitos predominantes da mitologia brasileira realmente influenciassem uma parcela maior dos estudantes do que a apresentada, a terem um conhecimento equivocado em relação as descargas elétricas atmosféricas. As dificuldades de monitoramento dos estudantes durante as resoluções dos questionários, certamente estimularam tais resultados, uma vez que passávamos por isolamento social por quase 2 anos. Recomenda-se um trabalho de pesquisa de campo mais aprofundado com as sobre as culturas místicas herdadas pelos brasileiros, sendo as principais, as culturas indígenas, africanas e portuguesa, uma vez que observa-se uma carência de estudos unifiquem essa mitologia brasileira com o estudo de descargas elétricas atmosféricas.

Depois da aplicação da Sequência Didática, foi possível perceber notória evolução tanto no pensamento científico do próprio fenômeno, quanto nos conceitos físicos de Eletrostática. Nos vídeos produzidos, é perceptível a criação de

novos conceitos, o letramento científico, reflexão argumentativa.

Alguns estudantes se interessaram em seguir carreira na áreas de ciências, sendo que uma fala registrada na seção 5.1 deste trabalho de dissertação é de autoria de uma estudante que está matriculada no curso de Física. Outros estudantes declararam apreço pela disciplina de Física e que pretendiam seguir carreira em alguma área de ciências e alguns outros relataram não gostarem da disciplina e que passaram a apreciar depois da aplicação deste trabalho.

Com a implantação do Novo Ensino Médio, acredita-se ser interessante a aplicação desta Sequência Didática para turmas de 1ª Série, nas quais o professor poderá trabalhar de forma interdisciplinar e, assim, proporcionar um maior interesse aos estudantes pela área da ciência, levando-os a terem maior interesse na disciplina de Física nas séries seguintes.

Certamente este trabalho servirá para potencializar o ensino não só de Eletrostática, mas com possibilidades de se adaptara qualquer conteúdo de Física, dadas as especificidades de cada assunto e a versatilidade de cada professor, visto que este profissional sempre se baseia pela ética e pela vontade de aperfeiçoar suas próprias metodologias, abrindo portas para um novo ser modificador de realidades.

## 7. Referencial Bibliográfico

ALMEIDA, F. P. **Gaiola de Faraday: Uma Proposta para o Ensino de Eletromagnetismo com Ênfase nas Desgargas Elétricas Atmosféricas**. 2014. 37f. Trabalho de Conclusão de Curso – Faculdade de Educação e Meio Ambiente, Ariquemes, 2014.

BERNARDO, L. M. **Histórias da Luz e das Cores**. 2ª ed. Porto: Editora Universidade de Porto, 2009.

BRASIL. Ministério da Educação; Secretaria Executiva. Secretaria da Educação Básica; Conselho Nacional de Educação. **Base Nacional Comum Curricular: Ensino Médio**. Brasília. 2017. Disponível em: <<http://basenacionalcomum.mec.gov.br/>>. Acesso em: 01 de Jun. 2022.

CARVALHO, A. M. P.; OLIVEIRA, C. M. A.; SCARPA, D. L.; SASSERON, L. H.; SEDANO, L.; SILVA, M. B.; CAPECCHI, M. C. V. M.; ABIB, M. L. V. S.; BRICCIA, V. **Ensino de Ciências por investigação: condições para implementação em sala de aula**. São Paulo. Cengage Learning. 2013.

CASCUDO, L. C. **Geografia dos Mitos Brasileiros**. 1ª ed. Digital. São Paulo: Editora Global, 2012.

CHAPMAN, S. J.; HEWETT, D. P.; TREFETHEN, L. N. Mathematics of the Faraday Cage. Society for Industrial and Applied Mathematics. v 57, n 3, p. 398–417, 2015. DOI: 10.1137/140984452.

CORAIOLA, A. S.; BIRZNEK, F. C.; HIGA, I. **Contribuições da Interação Discursiva Durante a Resolução de Problemas na Aprendizagem de Física**. IV ENCONTRO REGIONAL DE ENSINO DE FÍSICA (EREF): perspectivas e desafios para o ensino de física. v 22, n 3, p. 1-10, 2018. Curitiba (PR).

FERNANDES A. S.; JUNIOR, W. M. **Propagação de Ondas Longitudinais Eletrostáticas em Plasmas**. 2001, Revista Brasileira de Ensino de Física, Curitiba, Brasil, vol. 23 no. 2, Jun. 2001.

GRAAFF, R, J. Van de. Electrostatic Generator: Patent number 1.991.236. Massachusetts, United States Patent Office, 1935, 12p.

GRIFFITHS, D. J. **Eletrodinâmica**. 4ª ed. São Paulo: Pearson Edition, 2011.

Grupo de Eletricidade Atmosféricas-ELAT. **Histórico**. Disponível em: <<http://www.inpe.br/webelat/homepage/menu/elat/elat.historico.php>>. Acesso em: 01 de Maio de 2022.

Grupo de Eletricidade Atmosféricas-ELAT. **Relâmpagos e Efeitos**. Disponível em:<<http://www.inpe.br/webelat/homepage/menu/elat/elat.historico.php>.> Acesso em: 08 de Agosto de 2022.

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais-INPE. **Levantamento inédito sobre mortes por raios no Brasil resulta em segunda melhor matéria de divulgação científica em 2020**. Disponível em: <<https://www.gov.br/inpe/pt-br/assuntos/ultimas-noticias/levantamento-inedito-sobre-mortes-por-raios-no-brasil-resulta-em-segunda-melhor-materia-de-divulgacao-cientifica-em-2020>>. Acesso em: 06 de Dezembro de 2022.

JESUS, G. **Abordando o ensino de eletrostática através da construção do gerador de Van de Graaff**. 2021. 222f. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Mato Grosso, Barra do Garças, 2021.

JÚNIOR, L. A. F. **A história do desenvolvimento das máquinas eletrostáticas como estratégia para o ensino de conceitos de Eletrostática**. 2008. 55f. Trabalho de Conclusão de Curso – Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul: Faculdade de Física, Porto Alegre, 2008.

JÚNIOR, O. P.; CARDOSO, I. **Brasil: Que Raio de História**. São Paulo. Oficina de Textos,2015.

JÚNIOR, O. P.; PINTO, I. A. **Relâmpagos**. São Paulo. Editora Brasiliense, 2008.

KIKUCHI, L. A.; SOUZA, D. C.; BATISTA, I. L.; SACHS, J. P. D.; FILHO, W. A. R. **Física do Plasma em Pesquisas no Ensino de Ciências**. V Simpósio Nacional de Ensino de Ciência e Tecnologia. Londrina, 2016.

LEITE, F. B. R. **Montagem do gerador de Van de Graaff para o uso em atividades experimentais no ensino de Física**. 2015. 25f. Trabalho de Conclusão de Curso – Faculdade UnB de Planaltina, Planaltina, 2015.

MEDEIROS S. F. Daniele; SOUZA V. S. Paulo, SABA M. F. Marcelo, **A física dos relâmpagos – Uma sequência didática referenciada na aprendizagem significativa de Ausubel**. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Estado do Rio de Janeiro, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP, Brasil. v 13, n 1, p. 1-7, 2019. Rio de Janeiro (RJ).

MIRANDA, T. A. **Projeto de um gerador eletrostático de Van de Graaff e aplicações no ensino de eletrostática**. 2019. 148f. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2019.

MORTIMER, E. F.; SCOTT, P. **Atividades discursivas nas salas de aula de ciências: Uma ferramenta sociocultural para analisar e planejar o ensino**. Investigações em Ensino de Ciências, v7(3), p. 283-306, 2002.

NETO, L. C. B. T. **Os interesses e posturas de jovens alunos frente as ciências: Resultados do Projetos ROSE aplicado no Brasil**, 2008. 172f. Tese de Doutorado – Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo. São Paulo. 2008.

NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de Física Básica 3: Eletromagnetismo**. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 1997.

OLIVEIRA, S. **Uma Releitura Sobre a Abordagem da Lei de Coulomb e da Lei de Gauss no Ensino de Física para os Cursos de Engenharia**. Revista Conexão Ciência, Formiga, Brasil, v. 11, n 2, 2016.

SOLINO, A. P.; SASSERON, L. H. **Investigando a significação de problemas em Sequências de Ensino Investigativa**. Investigações em Ensino de Ciências. v. 23, n 2, 2018.

SILVA, C. C.; PIMENTEL, A. C. **Uma análise da história da eletricidade presente em livros didáticos: o caso de Benjamin Franklin**. Instituto de Física – USP, São Carlos, SP, Brasil, 2008.

WILTGEN, F. **Futuro Reator a Fusão Nuclear do tipo Tokamak – Máquina de Engenharia Desafiadora**. XI Congresso Nacional de Engenharia Mecânica. Teresina-PI, 2022.

## 8. Apêndices

### *A. Questionário Dignóstico e Final*

1) Quantos estados físicos da matéria já foram descobertos?

- a) 3 estados
- b) 4 estados
- c) 5 estados
- d) 2 estados

2) Quais estados físicos da matéria você conhece?

---

3) Em relação aos raios, qual estado físico faz parte da composição dele?

- a) Sólido
- b) Líquido
- c) Plasma
- d) Gasoso

4) Na sua opinião, os raios são um tipo de:

- a) Pedra
- b) Pídro
- c) Luz
- d) Corrente elétrica

5) De onde podem ser originados os raios?

- a) Das nuvens
- b) Da terra
- c) Das nuvens e da terra

d) Dos raios solares

**6) Como se formam os Relâmpagos?**

a) Através de uma reação química entre uma nuvem e outra.

b) Através de um processo físico chamado Difração.

c) Atração entre cargas elétricas negativas e positivas.

d) São provocadas pela ira do “deus Tupã”, deus dos trovões.

**7) Espelhos atraem raios?**

a) Sim, pois o raio pode ser refletido pelo espelho.

b) Não, pois o que é refletido é somente a luz.

c) Sim, pois o vidro é condutor elétrico e todos os condutores atraem raios.

d) Somente se você estiver em frente ao espelho.

**8) Fazer uso de telefones celulares em momentos de tempestades, pode ser perigoso?**

a) Sim, em qualquer situação.

b) Não, em nenhuma situação.

c) Somente quando está conectado ao carregador, que por sua vez está ligado a tomada.

d) Somente se estiver fazendo uma ligação.

**9) Praias e rios, devem ser evitados durante as tempestades?**

a) Sim, pois lugares abertos podem ser mais perigosos e a presença de água potencializa ainda mais o choque elétrico.

b) Não, pois a água dos rios funcionam como isolantes elétricos.

c) Não, pois não faz diferença alguma, os raios são destrutivos em qualquer lugar.

d) Nenhuma das anteriores.

**10)** Depois que os raios atingem o solo, para onde vão?

- a) Transformam em pedras.
- b) Se isolam na terra.
- c) Evaporam.
- d) Eles não atingem o solo.

**11)** Você acredita que as descargas elétricas são provenientes de uma manifestação divina que visa punir as pessoas por maltratarem a natureza?

- a) Sim, pois é uma forma de punição aquelas pessoas que maltratam “a mãe natureza”.
- b) Não, o raio não é uma forma de punição, mas uma manifestação de alegria dos deuses.
- c) Sim, pois não é possível comprovar a natureza dos raios.
- d) Não, pois as descargas elétricas são fenômenos físicos que ocorrem a partir de processos de eletrização.

**12)** Marque aqueles lugares que você acredita ser perigoso em momentos de tempestades.

- a) Lugares abertos, embaixo de árvores, dentro do carro.
- b) Dentro de um carro, em cima de uma árvore, dentro de casa.
- c) Lugares abertos, embaixo de árvores, próximo a uma cerca de arame.
- d) Nenhuma das anteriores, pois os raios funcionam como punição às pessoas que não respeitam a natureza.

**13)** Um raio pode cair em um mesmo lugar mais de uma vez?

- a) Sim, pois quando um raio cai em algum lugar é porque ali já possui algum aspecto que favorece a ocorrência de raios.
- b) Não, pois segundo as culturas indígenas um raio nunca cai em um mesmo lugar.
- c) Só com a permissão do deus Tupã, o deus dos raios e trovões.

d) Não, pois a probabilidade é muito pequena e isso jamais aconteceu.

**14)**Qual dos lugares abaixo você acredita ser mais seguro contra os Raios.

a) Dentro de casa.

b) Dentro de um carro.

c) Embaixo de uma árvore.

d) Em locais onde já caíram raios, pois um raio não cai no mesmo lugar duas vezes.

**15)**Qual objeto pode oferecer proteção contra os raios?

a) Arame.

b) Para-raios.

c) Troncos de árvores que já foram atingidos por raios anteriormente.

d) Água.

*B. Atividade Investigativa*

➤ **Experimento 1 - Demonstrar os materiais que compõem o Gerador de Van de Graaff.**

- 1) Quais materiais compõem o Gerador de Van de Graaff que são classificados como Isolantes Elétricos?

---

---

---

---

---

- 2) Quais materiais compõem o Gerador de Van de Graaff que são classificados como Condutores Elétricos?

---

---

---

➤ **Experimento 2 - Ligar o Gerador e aproximar o bastão com uma esfera metálica.**

- 1) Qual o estado físico que constitui a Centelha formada pela esfera metálica do gerador de Van de Graaff?

---

---

---

- 2) As cargas elétricas se concentram na parte interna ou externa da esfera metálica? Se conseguir, justifique.

---

---

---

➤ **Experimento 3 - Com o gerador ligado, aproximar um pêndulo da esfera metálica.**

1) Por que a esfera do pêndulo foi atraída pela esfera metálica do Gerador?

---

---

---

---

2) O que foi observado depois que houve o contato entre as esferas, elas se atraíram ou se repeliram? Por quê?

---

---

---

---

---

---

➤ **Experimento 4 - Uma pessoa sobre uma cadeira isolante coloca a mão em contato com a esfera metálica do Gerador.**

1) Por que a cadeira deve ser de material isolante?

---

---

2) O que aconteceu com os cabelos da pessoa? Por que você acha que isso aconteceu?

---

---

---

---

➤ **Experimento 5 - A pessoa em cima da cadeira com a mão em contato com a esfera estende a outra mão com papéis picados.**

1) O que foi observado em relação aos papéis picados na mão da pessoa?

---

---

---

---

---

➤ **Experimento 6 - Uma pessoa sobre uma cadeira isolante coloca a mão em contato com a esfera metálica do Gerador, em seguida é desligado o gerador e a pessoa encosta-se a outra pessoa que está no chão.**

1) Se essa pessoa que está em cima da cadeira encosta-se na outra pessoa que está no chão, o que se observa? Qual a explicação para o fato ocorrido?

---

---

---

---

---

---

---

### **Pergunta Final**

Qual a relação do Gerador de Van de Graaff com as Descargas Elétricas Atmosféricas, ou seja, na sua concepção os raios se assemelham em algo que acontece com os experimentos realizados? Faça um comentário explicando estas semelhanças.

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### *C. Roteiro Digital*

[https://www.canva.com/design/DAEqSX4HotY/U5XrVe2Z4QKuYGpDf1Ymaw/watch?utm\\_content=DAEqSX4HotY&utm\\_campaign=designshare&utm\\_medium=link&utm\\_source=sharebutton.](https://www.canva.com/design/DAEqSX4HotY/U5XrVe2Z4QKuYGpDf1Ymaw/watch?utm_content=DAEqSX4HotY&utm_campaign=designshare&utm_medium=link&utm_source=sharebutton)

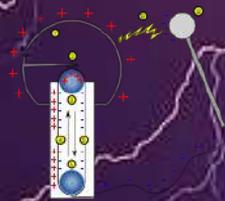
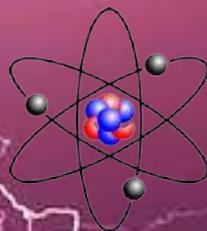
### *D. Reportagem Jornalística*

[https://www.youtube.com/watch?v=F\\_H-cS51d-c](https://www.youtube.com/watch?v=F_H-cS51d-c)

### *E. Produto Educacional*

# As Descargas Elétricas e o Gerador de Van de Graaff

José Ricardo de Sousa Filho  
Érica Cupertino Gomes  
Pâmella Gonçalves Barreto Tronção



José Ricardo de Sousa Filho  
Érica Cupertino Gomes  
Pâmella Gonçalves Barreto Troncão

Descargas Elétricas Atmosféricas: uma proposta  
pedagógica para o ensino de Eletrostática

1ª Edição

Araguaína- TO  
2022

©2022 Érica Cupertino Gomes

1ª Edição - 2022

ISBN 978-65-00-55992-7

---

Ficha Catalográfica

---

Filho, José Ricardo de Sousa, Gomes, Érica Cupertino e Troncão, Pâmella  
Gonçalves Barreto

Descargas Elétricas Atmosféricas: uma proposta pedagógica para o ensino  
de Eletrostática/ José Ricardo de Sousa Filho, Érica Cupertino Gomes e  
Pâmella Gonçalves Barreto Troncão – 1ª edição –  
Araguaína: Editora Érica Cupertino Gomes, 2022.

Bibliografia

ISBN 978-65-00-55992-7

Conteúdo: Física

1. Ensino de Física 2. Eletrostática 3. Gerador de Van de Graaff. I. Título.

---

**Índices para catálogo sistemático:**

1. Física 530

# Apresentação

As descargas elétricas atmosféricas, também conhecidas por "raios", são fenômenos que despertam bastante curiosidade nas pessoas, talvez devido à beleza e a periculosidade que as acompanham. O estado do Tocantins é líder em incidência de raios no Brasil.

Os raios trazem um aspecto místico bastante predominante na mitologia brasileira, os quais foram herdados, essencialmente, das culturas portuguesa e indígena. Segundo Júnior (2015), algumas lendas que relacionam os raios às pedras, perduram em nossa cultura até os dias atuais. Outras crenças, em relação às descargas elétricas, foram trazidas pelos portugueses no período de colonização, como por exemplo, a história de que os espelhos atraem raios.

No Estado do Tocantins, residem aproximadamente 13.171 índios em 16 municípios divididos em nove etnias. Miracema do Tocantins, cidade na qual se localiza a unidade escolar que recebeu a aplicação deste trabalho, faz divisa com a cidade de Tocantínia, a qual possui dezenas de aldeias indígenas. Alguns povos indígenas encaram os raios como uma divindade dos trovões por nome Tupã, acreditando que tais manifestações eram enviadas para punir o homem.

Sendo assim, este produto utilizará inverdades e mitos que os alunos adquiriram ao longo de suas vidas, reforçado por histórias contadas por seus familiares, como subsunçores para aprenderem conceitos de Eletrostática. O conteúdo poderá ser abordado de forma interdisciplinar com a participação dos professores das disciplinas de História e Geografia.

A disciplina de História poderá trazer o contexto histórico das descargas elétricas, enfatizando o surgimento de alguns mitos que surgiram ao longo do tempo e como ocorreu a evolução do pensamento científico em relação aos raios.

A disciplina de Geografia poderá abordar os fenômenos meteorológicos, dando destaque a formação de nuvens e tempestades. O professor pode enfatizar sobre o deslocamento das massas de ar no território nacional correlacionando com tipo de vegetação e clima predominantes na região Norte, onde existe maior incidência de raios.

O objetivo deste Produto Educacional é proporcionar aos alunos do Ensino Médio da Educação Básica uma aprendizagem sobre conceitos de Eletrostática, utilizando uma Sequência de Ensino Investigativo com experimentação, visando relacionar conceitos de Física com as Descargas Elétricas Atmosféricas através do Experimento de Van De Graaff.

Este produto educacional poderá auxiliar os professores da Educação Básica em regiões do Brasil as quais possuem a presença de povos indígenas, a fim de desmistificar o tema, transformando o conhecimento popular em conhecimento científico, com o intuito de popularizar a Física em contextos nos quais ela se faz ausente, além de ensinar Eletrostática utilizando metodologias diversificadas, também na forma de ensino remoto, visando proporcionar um aprendizado de qualidade e de forma significativa.

<b>1. GERADOR DE VAN DE GRAAFF</b>	<b>1</b>
1.1. <i>Materiais Utilizados</i>	<b>1</b>
1.2. <i>Montagem</i>	<b>10</b>
<b>2. SEQUÊNCIA DE ENSINO INVESTIGATIVO</b>	<b>19</b>
<b>3. SEQUÊNCIA DIDÁTICA</b>	<b>21</b>
3.1. <i>Etapa 1</i>	<b>22</b>
3.2. <i>Etapa 2</i>	<b>23</b>
3.3 <i>Etapa 3</i>	<b>24</b>
3.4 <i>Etapa 4</i>	<b>25</b>
<b>4. CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>26</b>
<b>5. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>27</b>
<b>6. APÊNDICE</b>	<b>28</b>
6.1. <i>Questionário Diagnóstico</i>	<b>28</b>
6.2. <i>Atividade Investigativa</i>	<b>32</b>
6.3. <i>Roteiro de Estudos Digital</i>	<b>36</b>
6.3.1. <i>Reportagem jornalística</i>	<b>36</b>
6.4. <i>Gabaritos do Questionário Diagnóstico e da Atividade Investigativa</i>	<b>37</b>
6.4.1. <i>Questionário Diagnóstico</i>	<b>37</b>
6.4.2. <i>Atividade Investigativa</i>	<b>38</b>

# 1. Gerador de Van de Graaff

A aplicação deste produto contou inicialmente com a construção do gerador de Van de Graaff, que foi utilizado para a demonstração dos experimentos que constam no roteiro digital(Ver Apêndice 6.3).

## 1.1. Materiais

Foi preciso utilizar alguns equipamentos para efetuar os cortes de alguns materiais, tais como: canos de pvc, papel EVA, fios de cobre, alumínio, ferro e fita isolante. A seguir, das figuras 1 a 3 , pode-se visualizar partes destes equipamentos.

**Figura 1** - Micro retífica



Fonte: autoria própria

**Figura 2** - Tesoura



Fonte: autoria própria

**Figura 3** - Alicete



Fonte: autoria própria

Foi necessário a utilização de algumas chaves (Fig. 4 e 5) para fixar os parafusos na madeira MDF (Fig. 7), nos pedaços de madeira(Fig. 9) e das porcas que vão na barra rosqueada (Fig. 17).

**Figura 4** - Chave Philips



Fonte: autoria própria

**Figura 5** - Chave combinada nº13



Fonte: autoria própria

A fita isolante, Fig. 6, é usada para unir as duas bacias de alumínio que formam a esfera condutora e fazer o isolamento nos fios energizados.

**Figura 6** - Fita isolante



**Fonte:** autoria própria

Foram utilizados 50 cm de comprimento por 40 cm de largura de madeira MDF com 10mm de espessura, Fig. 7, a qual servirá como base do gerador, comportando o motor e a coluna de sustentação dele.

**Figura 7** - Madeira MDF



**Fonte:** autoria própria

Para girar a correia, foi necessário utilizar um motor de máquina de lavar, Fig. 8, com  $\frac{1}{4}$  de cavalos de potência.

**Figura 8** - Motor 1/4 de cavalos



**Fonte:** autoria própria

Foram utilizados 3 pedaços de madeira com dimensões 13 cm x 7 cm x 6 cm, Fig. 9, que servem de suporte para o motor e para o eixo do rolete inferior.

**Figura 9** - Pedacos de madeira



**Fonte:** autoria própria

Fez-se necessário a utilização de 10 cantoneiras de 3cm, Fig. 10, para fixar os 3 pedaços de madeira (Fig. 9).

**Figura 10** - Cantoneira



**Fonte:** autoria própria

Foram utilizados 10 parafusos de rosca soberba de 2,5 mm, Fig. 11, para fixar as cantoneiras (Fig. 10), o kep inferior (Fig. 14) e as abraçadeiras de metal (Fig. 19).

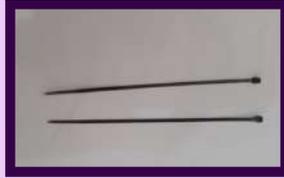
**Figura 11** - Parafusos



**Fonte:** autoria própria

As abraçadeiras de nylon, Fig. 12, são responsáveis por amarrar o motor (Fig. 8).

**Figura 12** - Abraçadeiras de nylon



**Fonte:** autoria própria

Foi utilizado 1 metro de cano pvc de 100 mm de diâmetro, Fig. 13, como coluna de sustentação da esfera condutora e dos roletes inferior e superior.

**Figura 13** - Cano pvc 100 mmm



**Fonte:** autoria própria

Foram utilizados dois keps, Fig. 14, um encaixado na parte inferior da coluna de sustentação (Fig. 13) e o outro na parte superior da coluna. O kep inferior serve de aporte do aterramento e da lâmina de alumínio responsável pelo atrito com a correia de EVA (Fig. 28).

**Figura 14** - Kep's 100 mmm



**Fonte:** autoria própria

Foram utilizadas duas polias, uma com diâmetro 10 cm, Fig. 15, e a outra com diâmetro de 7 cm, Fig. 16, que possuem a função de comportar a correia rotacionada pelo motor, fazendo o rolete inferior girar.

**Figura 15** - Polia de 10 cm de diâmetro



**Fonte:** autoria própria

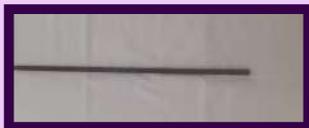
**Figura 16** - Polia de 7 cm de diâmetro



**Fonte:** autoria própria

Para a construção do eixo inferior foi utilizado uma barra rosqueada de 30 cm de comprimento por 8 mm de espessura, Fig. 17, comportando a polia de menor diâmetro (Fig. 16).

**Figura 17** - Barra rosqueada



**Fonte:** autoria própria

Utilizou-se dois rolamentos de 30 mm de diâmetro externo e 10 mm de diâmetro interno, Fig. 18, que são responsáveis por sustentar a barra rosqueada que forma o eixo do rolete inferior.

**Figura 18** - Rolamento



**Fonte:** autoria própria

Utilizou-se duas abraçadeiras 3/4 de metal, Fig. 19, as quais são responsáveis por fixar os rolamentos do eixo inferior.

**Figura 19** - Abraçadeira de metal



**Fonte:** autoria própria

Foi utilizado 10 cm de cano pvc de 40 mm de diâmetro, Fig. 20, para servir como rolete inferior. Este rolete é responsável por portar uma das polias que fará o giro da correia.

**Figura 20** - Cano pvc 40 mm



**Fonte:** autoria própria

Foram utilizados 3 metros de fio com 2,5 mm de diâmetro, sendo 1,3 metros para o aterramento, Fig. 21(a), 0,2 metros para fixar na parte superior da coluna de sustentação, Fig. 21(b), e 1,5 metros para o cabo de força, Fig. 21(c).

**Figura 21(a)**



**Fonte:** autoria própria

**Figura 21(b)**



**Fonte:** autoria própria

**Figura 21(c)**



**Fonte:** autoria própria

Para formar a esfera condutora, utilizou-se duas bacias de alumínio com 22 cm de diâmetro, Fig. 22, que é fixada na parte superior da coluna de sustentação do gerador.

**Figura 22-** Bacia de alumínio



**Fonte:** autoria própria

De uma lata de alumínio foi retirado um pedaço em formato retangular (13cm x 6cm), Fig. 23, para servir como lâmina para atritar com a correia de papel EVA.

**Figura 23** - Lâmina de alumínio



**Fonte:** autoria própria

Para formar o rolete superior, utilizou-se um cubo aço traseiro de bicicleta 36 furos, Fig. 24, utilizado para sustentar e girar a correia de EVA (Fig. 38).

**Figura 24** - Cubo de aço



**Fonte:** autoria própria

Foi utilizada uma correia de borracha lisa 3L - 350, Fig. 25, ligando a polia do motor a polia do eixo inferior.

**Figura 25** - Correia de borracha



**Fonte:** autoria própria

Foram utilizados dois keps de 40mm, Fig. 26, de diâmetro para serem encaixados no cano de 40 mm, completando o rolete inferior.

**Figura 26** - Kep's 40 mm



**Fonte:** autoria própria

Utilizou-se veda rosca de 18 mm de largura, Fig. 27, para envolver o rolete inferior dando mais aderência ao giro da correia.

**Figura 27** - Veda rosca



**Fonte:** autoria própria

Foram utilizadas algumas folhas de EVA para confeccionar uma correia com 80 cm de comprimento, Fig. 28, responsável pelo atrito com a lâmina de alumínio.

**Figura 28** - Correia de EVA



**Fonte:** autoria própria

Um tubo de cola para isopor foi necessário para confeccionar a correia de EVA (Fig. 29).

**Figura 29** - Cola para isopor



**Fonte:** autoria própria

Utilizou-se um plug macho de 10A com 2 pinos, Fig. 30, que é responsável por conectar o motor a rede de energia elétrica.

**Figura 30** - Plug 2 pinos



**Fonte:** autoria própria

Como chave liga/desliga, um interruptor simples foi utilizado (Fig. 31).

**Figura 31** - Interruptor

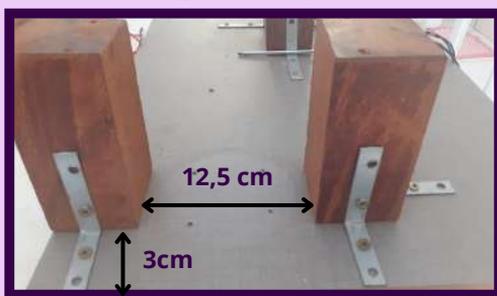


**Fonte:** autoria própria

## 1.2. Montagem

1º passo - fixar dois pedaços de madeira (Fig. 9) em posição vertical na madeira MDF (Fig. 7) usando as cantoneiras (Fig. 10) e os parafusos (Fig. 10). Na Figura 32, demonstra-se o esboço deste procedimento com as medidas entre os pedaços de madeira e a distância dos mesmos a extremidade da madeira MDF.

Figura 32 - 1º passo



Fonte: autoria própria

2º passo - fixar um kep de 100 mm (Fig. 14) entre os dois pedaços de madeira (Fig. 30), usando os parafusos (Fig. 11) como demonstrado na Figura 31.

Figura 33 - 2º passo



Fonte: autoria própria

**3º passo** - fixar a lâmina de alumínio (Fig. 23) no kep, conectando-a juntamente com o fio de aterramento (Fig. 21a), como é demonstrado na Figura 34.

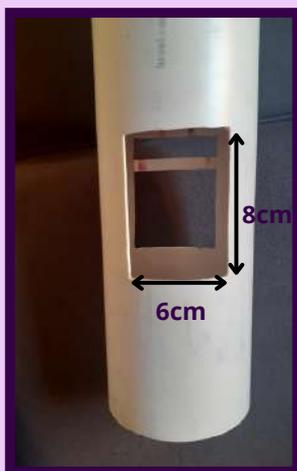
**Figura 34** - 3º passo



**Fonte:** autoria própria

**4º passo** - realizar dois recortes retangulares concêntricos no cano de pvc de 100 mm (Fig. 13), com medidas expressas na figura 35, usando a micro retífica (Fig. 1).

**Figura 35** - 4º passo



**Fonte:** autoria própria

**5º passo** - construir o rolete inferior, como demonstrado na Figura 36. Primeiramente, encaixe e cole os kep's de 40mm (Fig. 26) nas extremidades do cano pvc de 40 mm (Fig. 20). Em seguida faça dois furos concêntricos nos dois kep's e passe a barra rosqueada (Fig. 17) por dentro dos furos. Trave os kep's, com as medidas indicadas na Figura 36, com duas porcas de cada lado. Posteriormente, passe um rolamento de cada lado e os trave com mais duas porcas de cada lado. Em uma das extremidades da barra, encaixe a polia (Fig. 16) travando-a com mais duas porcas de cada lado. Por fim, envolva o cano pvc com veda rosca e fixe as pontas com fita isolante.

**Figura 36** - 5º passo



**Fonte:** autoria própria

**6° passo** - recortar um kep 100 mm, Fig. 37(a), a fim de encaixar o cubo de bicicleta, Fig. 37(b), formando o rolete superior da coluna de sustentação do gerador.

**Figura 37(a)**



**Fonte:** autoria própria

**Figura 37(b)**



**Fonte:** autoria própria

**7° passo** - construir a correia de EVA, Fig. 38, realizando recortes das folhas de EVA com uma largura de 5 cm, usando cola (Fig. 29) para montar uma correia dupla face. Deixe a correia em descanso de um dia para o outro, afim de secar a cola.

**Figura 38 - 7° passo**



**Fonte:** autoria própria

**8º passo** - encaixar a coluna de sustentação no kep inferior, inserir a correia de EVA por dentro da coluna de sustentação através do kep superior. Em seguida, encaixar o cubo de bicicleta no kep superior, Fig. 39(b). Por fim, passar o rolete inferior pelos orifícios retangulares, Fig. 39(a).

**Figura 39(a)**



**Fonte:** autoria própria

**Figura 39(b)**



**Fonte:** autoria própria

**9º passo** - fixar o rolete inferior nos pedaços de madeira, Fig. 39(a), com as abraçadeiras de metal (Fig. 19) sobre os rolamentos, segundo a Figura 40.

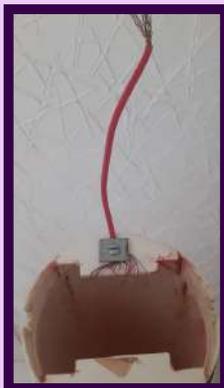
**Figura 40 - 9º passo**



**Fonte:** autoria própria

**10º passo** - fixar 20 cm de fio 2,5 mm, Fig. 21(b), e com as extremidades desencapadas, Fig. 41, no kep superior. A extremidade fixada deve ser espalhada, agindo como escova que terá contato com a correia de EVA.

**Figura 41-** 10º passo



**Fonte:** autoria própria

**11º passo** - fazer um recorte circular, com 100 mm de diâmetro, em uma das bacias de alumínio e depois unir as duas com fita isolante em forma de uma esfera, como demonstrado na Figura 42.

**Figura 42 -** 11º passo



**Fonte:** autoria própria

**12° passo** - encaixar a esfera metálica na parte superior da coluna de sustentação, Fig. 43, mantendo a extremidade do fio(Fig. 41) em contato com o interior da esfera metálica (Fig. 42).

**Figura 43** - 12° passo



**Fonte:** autoria própria

**13° passo** - fixar a polia (Fig. 15) no motor (Fig. 8), como demonstrado da Figura 44.

**Figura 44** - 13° passo



**Fonte:** autoria própria

**14° passo** - fixar o terceiro pedaço de madeira (Fig. 9) em posição horizontal na placa de MDF, usando as cantoneiras (Fig. 10). Em seguida, fixar o motor (Fig. 8) sobre o pedaço de madeira e, por fim, encaixar a correia de borracha (Fig. 25) nas polias do rolete inferior e do motor, como é demonstrado na Figura 45.

**Atenção! A posição do motor deve ser ajustada de acordo com o tamanho da correia de borracha.**

**Figura 45** - 14° passo



**Fonte:** autoria própria

**15° passo** - fazer a instalação elétrica do motor com o interruptor, Fig. 46(a), e, em seguida, com o cabo de força já conectado com o plug de dois pinos, Fig. 46(b).

**Figura 46(a)**



**Fonte:** autoria própria

**Figura 46(b)**



**Fonte:** autoria própria

**Figura 47** - Montagem do Gerador completo



**Fonte:** autoria própria

## 2. Sequência de Ensino Investigativo

Vivemos um momento de pandemia, no qual o cenário educacional passa por grandes transformações e precisa superar vários obstáculos. O ensino remoto entra nesse hall de transformações que permeiam a educação brasileira e não diferente, também a educação tocantinense. Sendo assim, esse trabalho traz uma metodologia que se encaixa bem neste momento de distanciamento social, uma adaptação da Sequência de Ensino Investigativo. Foram criados grupos de whatsapp, para que os estudantes pudessem se comunicar e ao mesmo tempo se manterem afastados.

A SEI é bastante utilizada no ensino de ciências, pois a investigação é uma das premissas da ciência. Não se faz descobertas e grandes trabalhos científicos se não houver identificação de um problema, levantamento de hipóteses e sistematização do conhecimento adquirido.

O problema a ser investigado, e conseqüentemente resolvido pelos estudantes, é identificar os conceitos físicos envolvidos durante o processo de formação e incidência das descargas elétricas atmosféricas e também nas descargas elétricas produzidas pelo gerador de Van de Graaff.

Os estudantes terão a oportunidade de refletir sobre os experimentos feitos pelo professor (demonstrações investigativas) e apresentados em pequenos vídeos, levantando hipóteses sobre o problema e investigando sobre efeitos produzidos durante os experimentos.

Na sistematização dos conceitos abordados durante o trabalho, é necessário que o professor ofereça liberdade intelectual aos estudantes, requisito muito importante em uma SEI, pois é de suma importância que os estudantes interajam com o material produzido para elaborarem hipóteses sobre como solucionar o problema proposto.

Esta Sequência de Ensino Investigativa foi desenvolvida para aplicação em formato remoto, mesmo que a escola tenha nesse momento oferecido o modelo de ensino híbrido, aproximadamente 80% dos alunos da 3ª Série continuaram de forma remota. Com isso, foi preparado um roteiro na plataforma CANVA, proporcionando o acesso total dos estudantes, simultaneamente foi entregue de forma impressa, o questionário diagnóstico e a atividade investigativa.

### 3. Sequência Didática

A Sequencia Didática é fomada de quatro etapas como é demonstrada pela Tabela 1.

**Tabela 1** - Etapas da SD

ETAPAS	CONTEÚDO	METODOLOGIA	QUANTIDADE DE AULAS
Etapa 1 (Proposição do Problema)	Descargas Elétricas Atmosféricas	Vídeos, Imagens e Questionário Diagnóstico.	1
Etapa 2 (Processo Investigativo)	Condutores e Isolantes, Princípio da Atração e Repulsão de Cargas Elétricas, Processos de Eletrização e Força Elétrica.	Investigação Demonstrativa e Atividade Investigativa.	2
Etapa 3 (Sistematização dos Conhecimentos)	Solução do Problema	Aula via Google Meet, debate de hipóteses.	2
Etapa 4	Avaliação dos Questionários e Produções de vídeos.	Reaplicação do Questionário Diagnóstico e Produção escrita ou vídeos.	1
Total de aulas			6

Fonte: Elaboração do autor

### 3.1. Etapa 1

**Tempo previsto:** 01 aula.

**Conteúdo abordado:** Descargas Elétricas Atmosféricas.

**Organização da turma:** Em grupos de Whatsapp.

#### **Desenvolvimento:**

Primeiramente, os alunos vão responder a um questionário diagnóstico que visa colher informações sobre seus conhecimentos prévios em relação às descargas elétricas atmosféricas. Esse questionário (Anexo 1), visa investigar, dentre várias questões, se existe influência das culturas indígenas no conhecimento prévio dos estudantes.

Na primeira etapa desta Sequência Didática Investigativa, será produzido um roteiro digital contendo alguns vídeos de relâmpagos, onde os estudantes terão seus primeiros contatos com o tema abordado neste produto. Dentro deste roteiro também estarão contidos seis vídeos demonstrativos(Anexo 3) de experimentos realizados com o Gerador de Van De Graaff.

#### **Considerações:**

Esta etapa tem como objetivo, além de apresentar vídeos de descargas elétricas atmosféricas, a fim de estimular a imaginação dos estudantes para o estudo de eletricidade, mas principalmente investigar, através do questionário diagnóstico, se as culturas dos povos indígenas locais influenciam o conhecimento dos estudantes a respeito dos raios.

## 3.2. Etapa 2

**Tempo previsto:** 02 aulas.

**Conteúdo abordado:** Cargas Elétricas, Condutores e Isolantes, Princípio de Atração e Repulsão de Cargas Elétricas e Processos de Eletrização.

**Organização da turma:** Em grupos de Whatsapp.

**Desenvolvimento:**

Nesta etapa os estudantes desenvolverão uma atividade investigativa (Apêndice 6.2) em pequenos grupos, com o levantamento de hipóteses de possíveis soluções para o problema. Tal atividade será realizada por meio de um Roteiro de Estudos Digital (Apêndice 6.3), elaborado na plataforma Canva, produzidos pelo próprio professor. Este material contém uma reportagem jornalística (Apêndice 6.3.1) que enfatiza a liderança do Estado do Tocantins em incidência de raios no país, vídeo da ocorrência de alguns raios e demonstração de seis experimentos com Gerador de Van de Graaff.

**Considerações:**

Espera-se que os alunos consigam diferenciar condutores e isolantes elétricos que fazem parte de seus cotidianos e que também possam compreender os processos de eletrização. Esta etapa irá trazer o problema principal a ser resolvido: “Quais as semelhanças das Descargas Elétricas Atmosféricas com as Descargas Elétricas produzidas pelo Gerador de Van de Graaff?”

### 3.3. Etapa 3

**Tempo previsto:** 02 aulas.

**Conteúdo abordado:** Solução do problema: “Quais as semelhanças das Descargas Elétricas Atmosféricas com as Descargas Elétricas produzidas pelo Gerador de Van de Graaff?”

**Organização da turma:** Toda a turma em aula via Google Meet.

**Desenvolvimento:**

Os estudantes terão um tempo para exporem suas argumentações diante do problema levantado. Após um tempo de fala dos estudantes, o professor fará suas intervenções, onde responderá as dúvidas e confirmará as hipóteses científicas levantadas.

**Considerações:**

Nesta etapa esperamos que os estudantes possam levantar hipóteses científicas para a atividade investigativa proposta durante esta SEI, argumentando com pensamento crítico científico. Durante a intervenção do professor espera-se que as dúvidas sejam sanadas e que o problema abordado inicialmente seja respondido e compreendido pelos estudantes.

### 3.4. Etapa 4

**Tempo previsto:** 01 aula.

**Conteúdo abordado:** Avaliação.

**Organização da turma:** Grupos de Whatsapp e Grupos Presenciais.

**Desenvolvimento:**

Nesta etapa, os grupos produzirão um vídeo, expondo os temas estudados e respondendo o problema levantado na primeira etapa desta SEI, "Quais as semelhanças das Descargas Elétricas Atmosféricas com as Descargas Elétricas produzidas pelo Gerador de Van de Graaff?"

Estes vídeos produzidos serão avaliados pelo professor, verificando se os conceitos físicos estarão presentes durante a abordagem de suas argumentações e se conseguiram fazer relação dos raios com o gerador de Van de Graaff.

**Considerações:**

Nesta quarta e última etapa, os estudantes vão responder o Questionário Diagnóstico novamente, a fim de avaliar se houve aprendizado em relação aos conceitos que envolvem as descargas elétricas.

## 4. Considerações Finais

A avaliação será conceitual, atitudinal e contínua, valorizando a interação dos alunos nos grupos de Whatsapp e a produção das atividades propostas (questionário, diagnóstico, atividades investigativas, trabalho final).

Deseja-se que ao final das aulas, os estudantes consigam desmistificar as várias explicações sobre as incidências de raios que envolvem as discussões populares da região, trazendo a Física para o protagonismo não só deste fenômeno, mas de outros, abrindo um “universo” de novas possibilidades no ramo da ciência.

## 5. Referência Bibliográfica

BELLUCO, A.; CARVALHO, A. M. P. Uma proposta de sequência de ensino investigativa sobre quantidade de movimento, sua conservação e as leis de Newton. Caderno Brasileiro de Ensino de Física. v. 31, n. 1, p. 30-59, Abr. 2014.

CARVALHO, A. M. P. Fundamentos Teóricos e Metodológicos do Ensino por Investigação. Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências. Dez. 2018.

CORAIOLA, A. S.; BIRZNEK, F. C.; HIGA, I. Contribuições da Interação Discursiva Durante a Resolução de Problemas na Aprendizagem de Física. IV ENCONTRO REGIONAL DE ENSINO DE FÍSICA (EREF): perspectivas e desafios para o ensino de física. v 22, n 3, p. 1-10, 2018. Curitiba (PR).

FREIRE, P. (2005). Pedagogia da autonomia: saberes necessários à prática educativa. Rio de Janeiro: Paz e Terra.

JÚNIOR, O. P.; CARDOSO, I. Brasil: Que Raio de História. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.

MOREIRA, M. A.; O que é afinal Aprendizagem Significativa?. Instituto de Física - UFRGS. Abr. 2010.

MORTIMER, E. F.; SCOTT, P. H. Atividade discursiva nas salas de aula de ciências: Uma ferramenta sociocultural para analisar e planejar o ensino. Investigações em Ensino de Ciências, v. 7(3), p. 283-306, 2002.

Relâmpagos e Efeitos. Grupo de Eletricidade Atmosféricas-ELAT. 2020. Disponível em:

<<http://www.inpe.br/webelat/homepage/>> Acesso em: 01 de Dez. de 2020.

ROCHA, A. S.; SOUZA, R. L.; SOARES, D. B.; CHOQUE, N. M. S.; DÁVILA, L. Y. A.; DESIDÉRIO, S. N.; GOMES, E. C. A rede escolar nas comunidades rurais assentadas, quilombolas e indígenas do Tocantins. Revista Brasileira de Educação do Campo. 2020.

Tocantins registra mais de 1,6 milhão de raios em 2019; duas pessoas morreram após acidentes. TV Anhanguera. Disponível em: <<https://glo.bo/2AzRUtN>>. Acesso em: 01 Dez. 2020.

# 6. Apêndice

## 6.1. Questionário Diagnóstico

1) Quantos estados físicos da matéria já foram descobertos?

- a) 3 estados
- b) 4 estados
- c) 5 estados
- d) 2 estados

2) Quais estados físicos da matéria você conhece?

---

3) Em relação aos raios, qual estado físico faz parte da composição dele?

- a) Sólido
- b) Líquido
- c) Plasma
- d) Gasoso

4) Na sua opinião, os raios são um tipo de:

- a) Pedra
- b) Vidro
- c) Luz
- d) Corrente elétrica

5) De onde podem ser originados os raios?

- a) Das nuvens
- b) Da terra
- c) Das nuvens e da terra
- d) Dos raios solares

6) Como se formam os Relâmpagos?

- a) Através de uma reação química entre uma nuvem e outra.
- b) Através de um processo físico chamado Difração.
- c) Atração entre cargas elétricas negativas e positivas.
- d) São provocadas pela ira do "deus Tupã", deus dos trovões.

7) Espelhos atraem raios?

- a) Sim, pois o raio pode ser refletido pelo espelho.
- b) Não, pois o que é refletido é somente a luz.
- c) Sim, pois o vidro é condutor elétrico e todos os condutores atraem raios.
- d) Somente se você estiver em frente ao espelho.

8) Fazer uso de telefones celulares em momentos de tempestades, pode ser perigoso?

- a) Sim, em qualquer situação.
- b) Não, em nenhuma situação.
- c) Somente quando está conectado ao carregador, que por sua vez está ligado a tomada.
- d) Somente se estiver fazendo uma ligação.

9) Praias e rios, devem ser evitados durante as tempestades?

- a) Sim, pois lugares abertos podem ser mais perigosos e a presença de água potencializa ainda mais o choque elétrico.
- b) Não, pois a água dos rios funcionam como isolantes elétricos.
- c) Não, pois não faz diferença alguma, os raios são destrutivos em qualquer lugar.
- d) Nenhuma das anteriores.

10) Depois que os raios atingem o solo, para onde vão?

- a) Transformam em pedras.

- b) Se isolam na terra.
- c) Evaporam.
- d) Eles não atingem o solo.

11) Você acredita que as descargas elétricas são provenientes de uma manifestação divina que visa punir as pessoas por maltratarem a natureza?

- a) Sim, pois é uma forma de punição aquelas pessoas que maltratam "a mãe natureza".
- b) Não, o raio não é uma forma de punição, mas uma manifestação de alegria dos deuses.
- c) Sim, pois não é possível comprovar a natureza dos raios.
- d) Não, pois as descargas elétricas são fenômenos físicos que ocorrem a partir de processos de eletrização.

12) Marque aqueles lugares que você acredita ser perigoso em momentos de tempestades.

- a) Lugares abertos, embaixo de árvores, dentro do carro.
- b) Dentro de um carro, em cima de uma árvore, dentro de casa.
- c) Lugares abertos, embaixo de árvores, próximo a uma cerca de arame.
- d) Nenhuma das anteriores, pois os raios funcionam como punição às pessoas que não respeitam a natureza.

13) Um raio pode cair em um mesmo lugar mais de uma vez?

- a) Sim, pois quando um raio cai em algum lugar é porque ali já possui algum aspecto que favorece a ocorrência de raios.
- b) Não, pois segundo as culturas indígenas um raio nunca cai em um mesmo lugar.
- c) Só com a permissão do deus Tupã, o deus dos raios e trovões.
- d) Não, pois a probabilidade é muito pequena e isso jamais aconteceu.

14) Qual dos lugares abaixo você acredita ser mais seguro contra os Raios.

- a) Dentro de casa.
- b) Dentro de um carro.
- c) Embaixo de uma árvore.
- d) Em locais onde já caíram raios, pois um raio não cai no mesmo lugar duas vezes.

15) Qual objeto pode oferecer proteção contra os raios?

- a) Arame.
- b) Para-raios.
- c) Troncos de árvores que já foram atingidos por raios anteriormente.
- d) Água.

## 6.2. Atividade Investigativa

- **Experimento 1** - Demonstrar os materiais que compõem o Gerador de Van de Graaff.

1) Quais materiais compõem o Gerador de Van de Graaff que são classificados como Isolantes Elétricos?

---

---

---

---

2) Quais materiais compõem o Gerador de Van de Graaff que são classificados como Condutores Elétricos?

---

---

---

- **Experimento 2** - Ligar o Gerador e aproximar o bastão com uma esfera metálica.

1) Qual o estado físico que constitui a Centelha formada pela esfera metálica do gerador de Van de Graaff?

---

---

---

---

---

2) As cargas elétricas se concentram na parte interna ou externa da esfera metálica? Se conseguir, justifique.

---

---

---

---

- **Experimento 3** - Com o gerador ligado, aproximar um pêndulo da esfera metálica.

1) Por que a esfera do pêndulo foi atraída pela esfera metálica do Gerador?

---

---

---

2) O que foi observado depois que houve o contato entre as esferas, elas se atraíram ou se repeliram? Por quê?

---

---

---

---

---

- **Experimento 4** - Uma pessoa sobre uma cadeira isolante coloca a mão em contato com a esfera metálica do Gerador.

1) Por que a cadeira deve ser de material isolante?

---

---

---

---

2) O que aconteceu com os cabelos da pessoa? Por que você acha que isso aconteceu?

---

---

---

---

- **Experimento 5** - A pessoa em cima da cadeira com a mão em contato com a esfera estende a outra mão com papéis picados.

1) O que foi observado em relação aos papéis picados na mão da pessoa?

---

---

---

---

- **Experimento 6** - Uma pessoa sobre uma cadeira isolante coloca a mão em contato com a esfera metálica do Gerador, em seguida é desligado o gerador e a pessoa encosta-se a outra pessoa que está no chão.

1) Se essa pessoa que está em cima da cadeira encosta-se na outra pessoa que está no chão, o que se observa? Qual a explicação para o fato ocorrido?

---

---

---

---

- **Pergunta Final**

Qual a relação do Gerador de Van de Graaff com as Descargas Elétricas Atmosféricas, ou seja, na sua concepção os raios se assemelham em algo que acontece com os experimentos realizados? Faça um comentário explicando estas semelhanças.

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### 6.3. Roteiro de Estudos Digital

[https://www.canva.com/design/DAEqSX4HotY/U5XrVe2Z4QKuYGpDfIYmaw/watch?utm\\_content=DAEqSX4HotY&utm\\_campaign=designshare&utm\\_medium=link&utm\\_source=sharebutton.](https://www.canva.com/design/DAEqSX4HotY/U5XrVe2Z4QKuYGpDfIYmaw/watch?utm_content=DAEqSX4HotY&utm_campaign=designshare&utm_medium=link&utm_source=sharebutton)

#### 6.3.1. Reportagem Jornalística

[https://www.youtube.com/watch?v=F\\_H-cS51d-c](https://www.youtube.com/watch?v=F_H-cS51d-c)

## 6.4. Gabaritos do Questionário Diagnóstico e da Atividade Investigativa

### 6.4.1. Questionário Diagnóstico

Questão	Resposta
1	C
2	Sólido, Líquido, Gasoso, Plasma e Condensado de Bose-Einstein.
3	C
4	D
5	C
6	C
7	B
8	C
9	A
10	B
11	D
12	C
13	A
14	B
15	B

## 6.4.2. Atividade Investigativa

### Experimento 1

1- Madeira, Cano PVC, Fita isolante, Correia de EVA.

2- Fio de cobre, Esfera metálica, Chapa metálica, Parafusos.

### Experimento 2

1- Plasma.

2- Na parte externa, pois as cargas elétricas se distribuem pela superfície, dentro da esfera o campo elétrico é nulo.

### Experimento 3

1- Como a esfera metálica do Gerador está eletricamente carregada e a esfera do pêndulo está neutra, ocorrerá uma atração de cargas elétricas de sinais opostos.

2- Se repeliram, pois depois do contato a esfera do Gerador irá eletrizar a esfera do pêndulo com carga elétrica de mesmo sinal e segundo o Princípio da atração e repulsão de cargas elétricas, cargas elétricas de mesmos sinais se repelem.

### Experimento 4

1- Para que a pessoa fique isolada da terra, pois não havendo isolamento pode ocorrer um choque elétrico devido a passagem de uma quantidade relativamente alta de cargas elétricas pelo corpo da pessoa.

2- Ficaram todos eriçados e afastados uns dos outros, pois estão eletrizados com cargas de mesmo sinal.

## Experimento 5

1- Devido o contato entre os papéis picados e a pessoa, ocorrerá uma espécie de flutuação dos papéis, que na verdade é uma repulsão devido estarem ambos eletrizados com cargas de mesmos sinais.

## Experimento 6

1- A pessoa que estava sobre a cadeira ficou eletrizada devido ao contato com a esfera metálica do gerador e depois que ocorreu o contato entre as duas pessoas ocorreu um descarregamento das cargas elétricas em excesso para o solo fazendo com que ambas levassem um pequeno choque eletrostático.

## Pergunta Final

As descargas elétricas atmosféricas são fenômenos decorrentes da atração de cargas elétricas de sinais opostos, ou seja, de prótons e elétrons, a partir do processo de eletrização das nuvens. O processo envolvido nessa eletrização, ocorre devido ao atrito das moléculas de água das massas de ar frio e quente no interior das nuvens, o mesmo processo ao qual se dá quando a correia de EVA atrita-se com lâmina de alumínio fixada na base do Gerador de Van de Graaff, Fig. 47.

Quando aproximamos algum material condutor da esfera condutora do gerador, a rigidez dielétrica do ar é rompida, gerando pequenas descargas elétricas, o que chamamos de "Descarga de Corona", assemelhando-se com as descargas elétricas atmosféricas.