



UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DO PARÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO
TECNOLÓGICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO DE MESTRADO EM ENSINO DE FÍSICA

DÉBORA SANTOS MIRANDA

**BELEZA NATURAL, MITOS, RISCOS E PROTEÇÃO: O TEMA RAIOS,
RELÂMPAGOS E TROVÕES COMO PROPOSTA PARA A ALFABETIZAÇÃO
CIENTÍFICA**

SANTARÉM-PA
2022

DÉBORA SANTOS MIRANDA

**BELEZA NATURAL, MITOS, RISCOS E PROTEÇÃO: O TEMA RAIOS,
RELÂMPAGOS E TROVÕES COMO PROPOSTA PARA A ALFABETIZAÇÃO
CIENTÍFICA**

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação Universidade Federal do Oeste do Pará, Polo 49, 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: Prof^a. Dr^a. Nilzilene Gomes de Figueiredo.

SANTARÉM-PA

2022



Universidade Federal do Oeste do Pará
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

ATA Nº 21

Aos dezenove dias do mês de abril do ano de 2022, às 14:30 horas, por meio de videoconferência Google Meet, reuniram-se os membros da Banca Examinadora composta pelos(as) professores(as) Drs(as). Profa. Dra. Nilzilene Gomes de Figueiredo (orientadora e presidente), Profa. Dra. Silvana Perez (membro externo) e Prof. Dr. Marcos Gervanio de Azevedo Melo (membro interno) a fim de arguirem a mestranda Débora Santos Miranda, com a dissertação intitulada "BELEZA NATURAL, MITOS, RISCOS E PROTEÇÃO: O TEMA RAIOS, RELÂMPAGOS E TROVÕES COMO PROPOSTA PARA A ALFABETIZAÇÃO CIENTÍFICA PARA ESTUDANTES DE ENSINO MÉDIO". Aberta a sessão pela presidente, coube à candidata, na forma regimental, expor o tema de sua dissertação, dentro do tempo regulamentar, em seguida a banca fez as arguições, a candidata respondeu e, após as deliberações na sessão secreta foi:

- (x) Aprovada, fazendo jus ao título de Mestre em Ensino de Física.
() Reprovada.

Dr. SILVANA PEREZ, UFPA

Examinador Externo à Instituição

Dr. MARCOS GERVAONIO DE AZEVEDO MELO, UFOPA

Examinador Interno

Dra. NILZILENE GOMES DE FIGUEIREDO, UFOPA

Presidente

DÉBORA SANTOS MIRANDA

Mestrando

**Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas – SIBI/UFOPA**

M672b Miranda, Débora Santos

Beleza natural, mitos, riscos e proteção: o tema raios, relâmpagos e trovões como proposta para a alfabetização científica. Nilzilene Gomes de / Débora Santos Miranda. – Santarém, 2022.

197 p.: il.

Inclui bibliografias.

Orientadora: Nilzilene Gomes de Figueiredo.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Oeste do Pará, Pró-Reitoria de Pesquisa, Pós-Graduação e Inovação Tecnológica, Programa de Mestrado Profissional em Ensino de Física (MNPEF).

1. Alfabetização científica. 2. Abordagem técnica. 3. Descargas elétricas atmosféricas. I. Figueiredo, Nilzilene Gomes de, *orient.* II. Título.

CDD: 23 ed. 551.563098115

Bibliotecária - Documentalista: Renata Ferreira – CRB/2 1440

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, por ser essencial em minha vida, autor de meu destino, meu guia, socorro presente na hora da angústia; a minha avó, Ana Miranda, aos meus filhos e a toda a minha família.

AGRADECIMENTOS

Diversos foram os professores do curso de Mestrado Profissional em Física que me inspiraram durante estes dois anos e meio de especialização. Primeiramente, agradeço à minha orientadora, Professora Doutora Nilzilene Gomes de Figueiredo, pelo suporte e por acreditar em mim.

Gostaria também de agradecer, com muito carinho, aos professores Carlos Machado, Sérgio Farias, Glauco Pantoja, Rodolfo Maduro, Edson Akira e Licurgo Brito (em memória), por terem me guiado tão bem durante o mestrado todos esses anos para que eu me tornasse uma profissional mais bem qualificada. Minha admiração por vocês apenas cresce!

Deixo aqui também meu agradecimento aos demais professores que contribuíram de alguma forma nos conhecimentos construídos durante esta formação. Também agradeço aos colegas da turma de 2019 do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (polo 49) e à UFOPA que em parceria com a Sociedade Brasileira de Física (SBF) ofertaram a oportunidade do Mestrado Profissional em ensino de Física para professores da região.

Agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa concedida. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) — Código de Financiamento 001.

“This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior — Brasil (CAPES) — Finance Code 001.”

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo identificar e analisar elementos de alfabetização científica que emergem da aplicação de uma proposta didática temática para trabalhar um tema de descargas elétricas atmosféricas com enfoque regional amazônico. Buscamos amparo teórico em referenciais da Alfabetização científica e Abordagens temáticas. A proposta de Ensino de Física Através de Temas Regionais (EFATR) que ampara este trabalho é desenvolvida em três etapas: *Apresentação*, *Aprofundamento* e *Produção-Avaliação*. O produto educacional elaborado consiste em um livreto destinado aos estudantes e foi pensado para a aplicação da proposta temática nestas três etapas. O livreto contém um guia de atividades, um questionário para levantamento de conhecimentos prévios, um texto motivador para apresentação do tema, dois questionários para aprofundamento, textos coletados de outros autores que ajudam na fase de aprofundamento e um texto de orientações para a terceira etapa. A aplicação foi feita em uma turma de 22 estudantes de 3º ano do ensino médio de uma escola pública da zona urbana do município de Alenquer-PA. Visando responder a questão “que elementos emergem da aplicação de uma proposta temática regionalizada que podem sinalizar contribuições para o processo de alfabetização científica de estudantes do ensino médio?”, desenvolvemos uma pesquisa qualitativa usando a metodologia de análise de conteúdo proposta por Roque Moraes, à luz dos três eixos estruturantes da Alfabetização científica de Sasseron e Carvalho. Na análise qualitativa da produção de 16 cartas e 7 vídeos produzidos na etapa final, associados com análise de outras produções durante as duas primeiras etapas da proposta, apresentamos as discussões dos elementos que nos deram indícios de que o trabalho com temas regionais tem potencial para promover a AC, especialmente pela diversidade de recursos utilizados que permitiram o desenvolvimento de várias habilidades apresentadas pelos referenciais teóricos utilizados.

Palavras-chave: Alfabetização científica. Abordagem temática. Descargas elétricas atmosféricas. Ensino de física. Temas regionais.

ABSTRACT

This work aims to identify and analyze elements of scientific literacy that emerge from the application of a thematic didactic proposal to work on a theme of atmospheric electrical discharges with a regional Amazonian focus. We seek theoretical support in scientific literacy references and thematic approaches. The proposal for Teaching Physics Through Regional Themes (EFATR) that supports this work is developed in three stages: Presentation, Deepening and Production-Evaluation. The educational product developed consists of a booklet intended for students and was designed for the application of the thematic proposal in these three stages. The booklet contains an activity guide, a questionnaire for surveying previous knowledge, a motivating text for the presentation of the theme, two questionnaires for deepening, texts collected from other authors that help in the deepening phase and a text of guidelines for the third stage. The application was made in a class of 22 students from the 3rd year of high school at a public school in the urban area of the municipality of Alenquer-PA. In order to answer the question "what elements emerge from the application of a regionalized thematic proposal that can signal contributions to the scientific literacy process of high school students?", we developed a qualitative research using the content analysis methodology proposed by Roque Moraes, at the light of the three structuring axes of Sasseron and Carvalho's Scientific Literacy. In the qualitative analysis of the production of 16 letters and 7 videos produced in the final stage, associated with the analysis of other productions during the first two stages of the proposal, we present the discussions of the elements that gave us indications that the work with regional themes has the potential to promote the CA, especially due to the diversity of resources used that allowed the development of various skills presented by the theoretical references used.

Keywords: Scientific literacy. Thematic approach. Atmospheric electrical discharges; Physics teaching. Regional themes.

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Termos usados pelos autores brasileiros.....	18
Quadro 2 – Dimensões da Alfabetização Científica e Tecnológica (ACT) apresentadas por Kemp (2002) e (2007).....	21
Quadro 3 - Dimensões da Alfabetização científica apresentadas por Rosa e Martins (2007) e Moraes e Araújo (2012).	22
Quadro 4 – Eixos estruturantes da Alfabetização científica propostos por Sasseron e Carvalho (2011).	23
Quadro 5 – Indicadores de Alfabetização científica.....	24
Quadro 6 – Tipos básicos de nuvens.....	33
Quadro 7 – Efeitos da corrente elétrica no corpo humano, dependendo da amperagem.....	35
Quadro 8 – Informações sobre os participantes, período e carga horária (CH) das atividades.	36
Quadro 9 – Divisão das duas turmas de terceiros anos em grupos A e B para retorno gradual e o número de alunos que participou da aplicação do produto educacional.....	36
Quadro 10 – Produções entregues da terceira etapa (Produção-avaliação).....	37
Quadro 11 – Análise dos vídeos entregues no 3º momento (Produção-avaliação).....	38
Quadro 12 – Aprofundamento do conceito de Isolantes e Condutores.....	39
Quadro 13 – Aprofundamento do conceito de Corrente Elétrica.....	39
Quadro 14 – Aprofundamento do conceito de Capacitância.....	40
Quadro 15 – Efeitos da corrente elétrica no corpo humano, dependendo da amperagem.....	50
Quadro 16 – Informações sobre os participantes, período e carga horária (CH) das atividades.....	55
Quadro 17 – Divisão das duas turmas de terceiros anos em grupos A e B para retorno gradual e o número de alunos que participou da aplicação do produto educacional.....	58
Quadro 18 – Produções entregues da terceira etapa (Produção-avaliação).....	77
Quadro 19 – Análise dos vídeos entregues no 3º momento (Produção-avaliação).....	91

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Classificação de nuvens segundo altura e forma. Observe o formato da nuvem Cumulonibus localizada à direita da imagem.	35
Figura 2 – Distribuição de cargas em nuvem e superfície da Terra sob tempestade. As setas indicam a direção local do campo elétrico (E).	37
Figura 3 – Representação do modelo do capacitor esférico formado pela Terra que teria carga negativa e a ionosfera, com carga positiva.....	38
Figura 4 – Modelo do capacitor atmosférico sob tempo bom (esquerda) e sob tempestade (direita). As setas indicam a direção local do campo elétrico (E).....	40
Figura 5 – Modelo do capacitor esférico com a representação da ionosfera com carga positiva, superfície da Terra com carga negativa e uma superfície equipotencial de raio r	41
Figura 6 – Direção do Campo elétrico e E na dA superfície gaussiana, bem como dr	42
Figura 7 – Descargas elétricas no interior de nuvens, entre nuvens e entre Terra e nuvem.....	43
Figura 8 – Sequência de imagens de uma descarga elétrica filmada pelo INPE no Vale do Paraíba, com uma filmadora especial que gravava 1.000 imagens/segundo.	47
Figura 9 – O poder das pontas	48
Figura 10 – Condutor em equilíbrio eletrostático	48
Figura 11 – Carro sendo atingido por uma descarga elétrica atmosférica. As cargas ficam acumuladas na lataria externa por que ele atua como uma Gaiola de Faraday.....	49
Figura 12 - Diagrama de Venn com as quantidades de vídeos que apresentam cada uma dessas habilidades.	94

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AC - Alfabetização Científica
ACT - Alfabetização Científica e Tecnológica
BNCC - Base Nacional Comum Curricular
CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CTS - Ciência Tecnologia e Sociedade
CTSA - Ciência Tecnologia Sociedade e Ambiente
EFAT – Ensino de Física Através de Temas
EFATR - Ensino de Física Através de Temas Regionais
ELAT - Grupo de Eletricidade Atmosférica
ENEM – Exame Nacional do Ensino Médio
ERE - Ensino Remoto Emergencial
GPS - Guia Pedagógico Semanal
IDEB - Índice de Desenvolvimento da Educação Básica
INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
LDB – Lei de Diretrizes e Base da Educação Nacional
LIBRAS - Língua Brasileira de Sinais
MEC – Ministério da Educação
MNPEF - Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física
OED - Objetos Educacionais Digitais
PCD - Pessoa Com deficiência
PCN – Parâmetros Curriculares Nacionais
PCNEM - Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio
PDA - Prática Dominante Atualmente.
PNE – Plano Nacional de Educação
QCP - Questionário de Conhecimentos Prévios
SBF - Sociedade Brasileira de Física
SEDUC – Secretaria Estadual de Educação
UEPS - Unidade de Ensino Potencialmente Significativa
UFOPA – Universidade Federal do Oeste do Pará
UFPA – Universidade Federal do Pará

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 REFERENCIAL TEÓRICO	18
2.1 Alfabetização científica	18
2.2 Ensino de Física Através de Temas	25
3 A FÍSICA DAS DESCARGAS ELÉTRICAS ATMOSFÉRICAS	31
4 ASPECTOS METODOLÓGICOS	53
4.1 Etapas da pesquisa	53
4.2 Tipo de pesquisa	55
4.3 Instrumentos para coleta de dados	56
4.4 Caracterização da escola	57
4.5 Caracterização dos estudantes	59
4.6 Caracterização do professor de Física da turma	60
4.7 Caracterização do produto educacional	60
4.7.1 Guia de atividades	60
4.7.2 Texto motivador para apresentação do tema	61
4.7.3 Questionário de levantamento de conhecimentos prévios	61
4.7.4 Textos e vídeos para a etapa de aprofundamento	62
4.7.5 Questionários de aprofundamentos 1 e 2	63
4.7.6 Lista de exercícios	63
4.7.7 Texto de Orientações para a etapa de produção-avaliação	63
4.8 Preparativo para a aplicação do produto educacional	64
4.9 Metodologia de análise e categorias	65
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	68
5.1 Descrição da aplicação do produto educacional	68
5.1.1 1ª etapa: apresentação do tema	68
5.1.2 2ª Etapa: aprofundamento	74
5.1.3 3ª Etapa: produção- Avaliação	76
5.2 Análise das cartas em articulação com questionários	77
5.2.1 Eixo 1: compreensão básica de termos, conhecimentos e conceitos científicos fundamentais	78
5.2.2 Eixo 2: compreensão da natureza das ciências e dos fatores éticos e políticos que circundam sua prática	81

5.2.3 Eixo 3: entendimento das relações existentes entre ciência, tecnologia, sociedade e meio-ambiente	88
5.3 Análise dos vídeos	90
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	95
REFERÊNCIAS	98
APÊNDICE A - PRODUTO DE PESQUISA	108

1 INTRODUÇÃO

Os fenômenos da natureza sempre intrigaram a humanidade e é dessa curiosidade e das várias tentativas de explicar essas ocorrências que nasce a Ciência, em particular a Física considerada como

(...) o ramo da Ciência que, juntamente com a Matemática, a Biologia e a Química, procura explicar os fenômenos que ocorrem na natureza, como o movimento dos corpos, as trocas de energia entre sistemas, a propagação da luz, etc (...) (ROBORTELLA, 1984, p. 6).

Mas se aprender a conhecer esses fenômenos da natureza sempre foi tão intrigante, como explicar que essa Ciência, enquanto disciplina escolar, tenha se tornado tão desinteressante, temida, e algumas vezes, odiada entre os jovens do ensino médio, como apontam algumas pesquisas, a exemplo de Ataíde *et al.* (2002) e Cruz Júnior (2016)?

Percebe-se que os estudantes, em geral, associam a Física, apenas, aos cálculos matemáticos, com os quais têm dificuldades. Além disso, também não conseguem perceber a relação entre os conteúdos, tradicionalmente abordados na escola, com as suas vidas, ao mesmo tempo em que a tradição de apenas escutar o professor, resolver exercícios repetitivos e de aplicação de fórmulas sem uma reflexão mais profunda sobre os fenômenos está distanciando os estudantes da efetiva aprendizagem da Física. Isso tem tornado o ensino dessa disciplina sem sentido, seja por não apresentar propósito claro, seja por parecer, para muitos, completamente desnecessária da forma como vem sendo trabalhada na maioria das escolas. Talvez a redução nítida de carga horária de Física, que estamos percebendo atualmente nas propostas de implementação da Base Nacional Comum Curricular (BRASIL, 2018) e novo Ensino Médio (BRASIL, 2017) pelo Brasil possam se amparar nesse tipo de argumento.

Entretanto, a Física tem sido responsável pela geração de muita tecnologia que usamos hoje, dos elementos mais simples, como um celular, uma torradeira elétrica aos mais complexos, como os foguetes que levam sondas espaciais para outros planetas. Apesar disso,

(...) a física ensinada tem nada ou muito pouco a ver com as tecnologias atuais. Na maior parte do tempo, esta serve apenas como simples ilustração e não é considerada como uma referência dos saberes a ensinar (RICARDO; FREIRE, 2007, p. 263).

Como uma Ciência que é responsável por grande parte dos avanços tecnológicos que tivemos até hoje, e estamos tendo, não é difícil perceber a importância que a Física tem também enquanto disciplina escolar. Afinal, considerando que a função da escola é a socialização do saber sistematizado (SAVIANI, 1992), entende-se, assim como Martins (2013) e Raab e Barbosa (2019), que essa socialização deve estar associada ao cotidiano dos estudantes, partindo do contexto em que eles estão inseridos, mas, ao mesmo tempo, fazendo-os distanciar-se aos poucos dos conceitos espontâneos construídos neste cotidiano, munindo-se dos conceitos científicos para que, a partir da sua compreensão, possa argumentar, intervir e ter possibilidade de modificar essa realidade.

Então, o ensino de Física não pode ficar à margem para que se tenha uma educação básica de qualidade, independente do *projeto de vida* que o estudante queira seguir. Aprender Física deverá garantir uma base de conhecimento e formação científica, de modo que

(...) permita tanto a apreensão dos conceitos, leis, relações da Física e sua utilização, bem como sua aproximação com fenômenos ligados a situações vividas pelos alunos, sejam as de origem natural, sejam as de origem tecnológica (DELIZOICOVI; ANGOTTI, 1992, p. 5).

Neste trabalho, partimos do pressuposto que o ensino de Física na educação básica tem o propósito de contribuir com a *Alfabetização científica* e tecnológica dos cidadãos, de modo que proporcione discernimento para entender, julgar, posicionar-se e tomar decisões acerca de questões científico-tecnológicas presentes no cotidiano (AULER; DELIZOICOV, 2001; CHASSOT, 2003).

Em síntese, podemos dizer que é importante e necessário que as ocorrências de nossas vidas tenha espaço privilegiado no currículo escolar. Nesse sentido, todas as áreas de conhecimento, dentre elas a Física, são importantes para que esse mundo seja, não apenas, compreendido pelos estudantes sob o ponto de vista científico, mas também, que estes possam intervir nele, exercendo efetivamente sua cidadania. Assim, as propostas temáticas vão ao encontro desse modelo de

currículo, como veremos no capítulo que esboça o referencial teórico, o qual mostrará que em documentos, como os Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (PCNEM) e a BNCC, há um apelo por propostas temáticas, tais como as de Delizoicov, Angotti e Pernambuco (2002) e Brito (2004), que encontram inspirações, por sua vez, na proposta dos temas geradores de Paulo Freire (FREIRE, 2005).

Ao encontro dessas discussões sobre a importância da contextualização no currículo escolar, a regionalização tem sido apontada, há muitos anos, como uma necessidade de tornar a escola mais atrativa e de dar sentido aos conteúdos trabalhados, tradicionalmente, nesse espaço. Diante dessa necessidade, há aproximadamente 17 anos, há iniciativas na Universidade Federal do Pará (UFPA) e na Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA) que buscam produzir materiais didáticos temáticos regionalizados para o ensino de física na educação básica com aspectos da região amazônica, a exemplo dos trabalhos de conclusão de curso de Couto e Valente (2005), Souza (2005), Gomes (2005), Gonçalves (2006), Silva e Abreu (2006), Souza e Viera (2006), Andrade; Souza e Batista (2007), Seixas e Serrão (2007), Meireles (2012), Bezerra (2012) e dissertações de mestrado de Soares (2018) e Corrêa (2019).

Assim, ao buscarmos uma temática regional passível de ser desenvolvida neste trabalho, de maneira a contemplar também o contexto dos estudantes do município de Alenquer-PA, onde seria aplicada a proposta, o tema raios, relâmpagos e trovões surgiu como possibilidade, pois faz parte da vida de toda a população, em especial, dessa região Norte do Brasil, onde ocorrem muitas tempestades e, conseqüentemente, raios, relâmpagos e trovões.

Dados coletados pelo Grupo de Eletricidade Atmosférica (ELAT) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) apontam que o Brasil é o país onde mais cai raios no mundo, com cerca de 77,8 milhões de ocorrências por ano¹. Em um estudo inédito feito pelo INPE, aponta-se que o país ocupa a sétima posição no ranking global de mortes provocadas pelo fenômeno (INPE, 2009). Mas, apesar de tantas incidências de raios em nosso país e, conseqüentemente, muitas mortes

¹ Dados de acordo com o levantamento divulgado pelo Grupo de Eletricidade Atmosférica (ELAT) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) com dados de 2000 a 2019. <http://www.inpe.br/webelat/homepage/menu/filme.documentario.-fragmentos.de.paixao.php/releases.php?id=81>

causadas pelas descargas elétricas, ainda há muitos mitos em relação a eles e pouco conhecimento sobre como se proteger, o que tem levado a muitos acidentes e mortes.

Ao fazer um levantamento de dissertações no site do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), constatou-se que das 600 dissertações disponíveis no site, apenas uma delas teve o tema sobre descargas elétricas como foco principal da dissertação: Ensinando o Conceito de Campo Elétrico a partir do fenômeno raio (ORTIZ, 2015).

Ortiz (2015) aborda essa temática aplicada para o ensino médio como uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS), proposta por Marco Antônio Moreira, e faz demonstrações do fenômeno raio através de Objetos Educacionais Digitais (OED) e pela construção de mapas conceituais, trazendo como objetivo a construção de uma sequência didática fundamentada em teorias da aprendizagem, em especial, a aprendizagem significativa.

Nesta mesma pesquisa no site do MNPEF, foram encontradas outras dissertações que, em seu contexto, abordam descargas elétricas, mas de forma secundária, como é caso das dissertações de Alves (2018), Gester (2019) e Barboza (2015). Também foi feita pesquisa no Banco de Teses e Dissertações da CAPES usando as palavras-chaves “descargas elétricas atmosféricas”. Em uma pesquisa mais geral, foram encontradas 7724 dissertações de mestrado, correspondentes aos anos de 1987 a 2017. No entanto, ao refinar essa pesquisa destacando “Física” como a área do conhecimento, aparecem, somente 431 dissertações neste mesmo período. Ainda assim, ao abrir tais dissertações e ler seus resumos, observa-se que são de áreas como Engenharia Elétrica, Geofísica e outras diferentes do Ensino de Física aplicado à educação básica. O mesmo ocorreu quando se usou as palavras-chave “raios, relâmpagos e trovões”, sendo encontradas 34.046 dissertações de mestrado publicadas nesta plataforma de 1987 a 2020. Afunilando a pesquisa para área da Educação, todavia, não foi encontrado o tema relacionado ao Ensino de Física na Educação Básica.

Percebe-se que há muitas produções sobre descargas elétricas atmosféricas, mas raríssimas abordagens do tema voltadas para o ensino de Física, em particular, na educação básica. Dessa forma, o diferencial pretendido nesta dissertação é ser uma proposta que sirva para trabalhar em tempos de ensino remoto ou presencial, destinada ao Ensino Médio ou ao final do Ensino

Fundamental, de maneira a privilegiar características regionalizadas do contexto amazônico e, ainda, focar o referencial teórico na Alfabetização científica e no Ensino de Física Através de Temas (BRITO, 2004; BRITO; GOMES, 2007). O livreto produzido como produto educacional, que tem o tema central “Raios, relâmpagos e trovões: beleza natural, mitos, riscos e proteção”, é destinado ao trabalho com os estudantes com um propósito claro de contribuir com um ensino de Física mais significativo e voltado à formação cidadã, não apenas para os estudantes do município de Alenquer-PA, mas para todos os estudantes do ensino médio ou final do fundamental, em especial da região Amazônica. Espera-se, com essa proposta, contribuir para a alfabetização científica dos jovens, de modo a proporcionar o conhecimento sobre sua proteção pessoal e de outrem referente a esse fenômeno.

Nesse sentido, temos como objetivo geral: **identificar e analisar elementos de alfabetização científica que emergem da aplicação de uma proposta didática temática para trabalhar um tema de descargas elétricas atmosféricas com enfoque regional amazônico**. Assim, buscamos responder a seguinte questão de investigação: **Que elementos emergem da aplicação de uma proposta temática regionalizada que podem sinalizar contribuições para o processo de Alfabetização científica de estudantes do ensino médio?**

Esta dissertação está distribuída em sete capítulos:

O capítulo 1 é composto por esta introdução, situa o leitor sobre os objetivos da dissertação, questão de investigação e o contexto da pesquisa. O capítulo 2 apresenta os referenciais teóricos que alicerçam a pesquisa, a Alfabetização Científica e o a Abordagem Temática. O capítulo 3 é destinado à discussão sobre a física das descargas elétricas atmosféricas, tendo o tema como eixo central da discussão e os conceitos e equações são apresentados nesse contexto. No capítulo 4 apresenta-se a metodologia da pesquisa e da elaboração, aplicação e análise da proposta didática. O capítulo 5 traz os resultados e discussões acerca da proposta didática. E por fim, no capítulo 6, faz-se as considerações finais levantando algumas reflexões sobre todo o processo de elaboração e aplicação do produto educacional, desta dissertação, assim como se os objetivos foram atingidos.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Nesse capítulo, discute-se as contribuições teóricas que servem de base para a elaboração desta dissertação e do produto educacional. Apresenta-se primeiramente sobre a Alfabetização científica (AC) e em seguida sobre a Abordagem Temática, em particular o Ensino de Física Através de Temas (EFAT) que ampara esta dissertação.

2.1 Alfabetização Científica

A Alfabetização Científica (AC) tem sido estudada, discutida, aplicada e analisada por vários autores no Brasil, tais como: Chassot, (2003, 2011), Auler e Delizoicov (2001), Lorenzetti e Delizoicov (2001), Silva e Carvalho (2007), Siemsen e Lorenzetti (2018), Rosa e Martins (2007), Sasseron e Carvalho (2008, 2010 e 2011) e Sasseron (2008). Esses autores têm se preocupado em discutir o que é a AC, os indicadores e seu papel no ensino de Ciências. Assim, tem servido de inspiração e referenciais teóricos para o desenvolvimento de diversas propostas didáticas pelo Brasil.

Sasseron e Carvalho (2011) discutem sobre as diferentes nomenclaturas utilizadas pelos autores brasileiros, tais como “Alfabetização científica”, “Letramento científico” e “Enculturação Científica”. O Quadro 1 apresenta uma síntese da pluralidade semântica dos autores nacionais quanto a nomenclatura que abordam sobre o ensino de Ciências e a compreensão das autoras com relação à semelhança entre elas.

Quadro 1 – Termos usados pelos autores brasileiros

Expressão utilizada	Autores na literatura nacional que usam a semântica	O que almejam
Alfabetização Científica	Brandi e Gurgel (2002) Auler e Delizoicov (2001) Lorenzetti e Delizoicov (2001) Chassot 2000).	Todas essas nomenclaturas para designar o objetivo do ensino de Ciências que é a formação cidadã dos estudantes para domínio e uso dos conhecimentos científicos e seus desdobramentos nas mais diferentes esferas de suas vidas. (...) Formação de cidadãos críticos para atuação na sociedade (SASSERON; CARVALHO, 2011, p.61).
Enculturação Científica	Carvalho e Tinoco (2006) Mortimer e Machado (1996)	
Letramento Científico	Mamede e Zimmermann	

	(2007) Santos e Mortimer (2001)	
--	------------------------------------	--

Fonte: Adaptado de Melo (2019, p. 47, baseado em Sasseron e Carvalho (2011)).

É importante destacar que embora tragam grafias diferentes, os autores usam os termos Alfabetização, Letramento ou Enculturação Científica com princípios e objetivos muito próximos para o ensino de Ciências, pois

(...) registram a clara intenção de formação capaz de prover condições para que temas e situações envolvendo as ciências sejam analisados à luz dos conhecimentos científicos, sejam estes conceitos ou aspectos do próprio fazer científico. Pode-se afirmar que a Alfabetização Científica, ao fim, revela-se como a capacidade construída para a análise e a avaliação de situações que permitam ou culminem com a tomada de decisões e o posicionamento. (SASSERON, 2008, p. 8).

Neste trabalho optamos pelo termo *Alfabetização científica*, mas com uma concepção de alfabetização para além da simples aquisição da linguagem científica, como criticam alguns autores que preferem o termo letramento científico. Busca-se em Freire uma concepção mais ampla. Nas palavras do autor,

Alfabetização é mais que o simples domínio mecânico de técnicas para escrever e ler. Com efeito, ela é o domínio dessas técnicas em termos conscientes. É entender o que se lê e escrever o que se entende. (...) Implica uma auto formação da qual se pode resultar uma postura atuante do homem sobre seu contexto. Para isso, a alfabetização não pode se fazer de cima para baixo, nem de fora para dentro, como uma doação ou uma exposição, mas de dentro para fora pelo próprio analfabeto, apenas ajustado pelo educador (FREIRE, 1989, p. 72).

Percebe-se que apesar dessa definição trazida por Freire seja da *alfabetização* de modo geral, ela traz elementos que convergem com a ideia de alfabetização científica pois, enfatiza uma postura atuante dos sujeitos sobre seu contexto. É nesse sentido que a AC é pensada para envolver mais do que apenas ler e escrever sobre Ciências, mas aspectos mais amplos, como questões sociais, éticas, culturais, políticas, econômicas, ideológicas e a participação ativa do sujeito na sociedade.

Planejar propostas didáticas que almejam a AC dos estudantes no ensino de Ciências é ir além de um ensino centrado apenas no conteúdo conceitual; envolve o

desenvolvimento de outras habilidades relacionados ao processo de construção do conhecimento científico e sua relação com a sociedade e o meio ambiente.

Para Sasseron (2008), envolve atividades que permitam aos alunos interagirem com uma nova cultura, com uma nova forma de ver o mundo e seus acontecimentos, podendo modificá-lo e a si próprio através da prática consciente propiciada pelos conhecimentos científicos, bem como das habilidades associadas ao fazer científico. Educar almejando a AC surge como uma necessidade na escola atual que conjecturem uma educação mais voltada para a cidadania e que possibilitem o conhecimento científico, trazendo assim uma reflexão sobre valores relacionados as ciências e suas consequências em nossa sociedade (SASSERON; CARVALHO, 2011).

Attico Chassot ao tentar definir o que é a Alfabetização científica, ressalta que ser alfabetizado cientificamente é “saber ler a linguagem em que está inscrita a natureza” (CHASSOT, 1993, p. 37), além de ser uma possibilidade de inclusão social (CHASSOT, 2003). Dessa forma, educar cientificamente é potencializar alternativas que privilegiam uma educação mais comprometida, não somente com a formação escolar dos alunos, mas com sua formação cidadã extra muros da escola, para uma postura atuante na sociedade, tendo como cenário as relações entre Ciência, Tecnologia e Sociedade.

Nesse sentido, a alfabetização científica proporciona a capacidade de ler, compreender e expressar opiniões sobre ciência e tecnologia de forma crítica (KRASILCHIK; MARANDINO, 2007). Maestrelli e Lorenzetti (2021) também reconhecem que a Ciência é uma construção humana, repleta de sentidos e significados e que tem relações entre a ciência, a tecnologia, a sociedade e o ambiente. Dessa percepção de que a Ciência é uma construção humana, não neutra e com implicações éticas, sociais, econômicas e ambientais é que surge o movimento CTS, primeiramente com viés social e posteriormente com enfoque educacional no Ensino de Ciências.

Santos e Mortimer (2001, p. 96) apresentam as características desse movimento.

O movimento CTS surgiu, então, em contraposição ao pressuposto cientificista, que valorizava a ciência por si mesmo, depositando uma crença cega em seus resultados positivos. A ciência era vista como uma

atividade neutra, de domínio exclusivo de um grupo de especialistas, que trabalhava desinteressadamente e com autonomia na busca de um conhecimento universal, cujas consequências ou usos inadequados não eram de sua responsabilidade.

A crítica a tais concepções levou a uma nova filosofia e sociologia da ciência que passou a reconhecer as limitações, responsabilidades e cumplicidades dos cientistas, enfocando a ciência e a tecnologia (C&T) como processos sociais.

A ciência não é uma atividade neutra e o seu desenvolvimento está diretamente imbricado com os aspectos sociais, políticos, econômicos, culturais e ambientais. Portanto a atividade científica não diz respeito exclusivamente aos cientistas e possui fortes implicações para a sociedade. Sendo assim, ela precisa ter um controle social que, em uma perspectiva democrática, implica em envolver uma parcela cada vez maior da população nas tomadas de decisão sobre C&T.

Nesse sentido, promover a AC de jovens do ensino médio é ir ao encontro dos objetivos do enfoque CTS na educação em Ciências que está relacionado ao desenvolvimento de habilidades nos estudantes que lhes permitam desenvolver sua cidadania ativa e responsável com assuntos/temas que tenham impactos em suas vidas. Yager (1996 apud MORAES; ARAÚJO, 2012, p.45) diz que a “experiência da educação científica através de estratégias de CTS irá criar uma cidadania alfabetizada cientificamente para o século 21”.

Kemp (2002 apud Sasseron; Carvalho, 2011) ao analisar a percepção de vários autores, identificou três dimensões que devem ser consideradas para a promoção do que ele chama de Alfabetização Científica e Tecnológica (ACT): **conceitual, procedimental e afetiva**. Essas três dimensões também são identificadas na análise feita por Rosa e Martins (2007). A síntese dessas dimensões encontra-se no Quadro 2.

Quadro 2 – Dimensões da Alfabetização Científica e Tecnológica (ACT) apresentadas por Kemp (2002) e Rosa e Martins (2007).

Dimensões	Descrição
Conceitual	Envolve a compreensão e conhecimentos específicos. Termos que a identificam: conceitos de ciência e relações entre ciência e sociedade
Procedimental	Envolve os procedimentos, processos, habilidades e capacidades. Termos relacionados: obtenção e uso da informação científica, aplicação da ciência na vida cotidiana, utilização da ciência para fins sociais e cívicos, e divulgação científica ao público de maneira acessível

Afetiva	Envolve emoções, atitudes, valores e disposição para a alfabetização científica. Elementos: gostar de ciência, interesse por ciência
----------------	--

Fonte: A Autora (2022) (adaptado de Sasseron e Carvalho (2011)) e Rosa e Martins (2007, p. 6).

Além dessas dimensões Rosa e Martins (2007) apresentam algumas competências que orientam na promoção da AC que são: **Independência intelectual, Comunicação em ciências, Conhecimento conceitual e Natureza da ciência**, como apresentado no Quadro 3.

Quadro 3 - Dimensões da Alfabetização científica apresentadas por Rosa e Martins (2007) e Moraes e Araújo (2012).

Dimensões	O que almejam
Independência intelectual	Inclui ter habilidade de procurar informações e tomar decisões próprias acerca de questões envolvendo ciência, bem como ter a habilidade de avaliar conselhos de especialistas. Além disso, ser capaz de aprender ciências após o período de educação formal
Comunicação em ciências	Refere-se as habilidades necessárias tanto para interpretar comunicações científicas, através da mídia escrita, em áudio, visual, quanto para realizar este tipo de comunicação, ou seja, ser capaz de escrever, falar, sobre assuntos que envolvam ciências
Conhecimento conceitual	Que se refere ao conhecimento de várias disciplinas científicas, as menções consideradas nesse elemento envolvem uma gama de disciplinas científicas, não restritas a uma ou duas
Natureza da ciência	Compreendendo conhecimentos sobre hipóteses, evidências, o caráter tentativo da Ciência, a falibilidade do empreendimento científico, com sua constante auto correção.

Fonte: A Autora (2022) adaptado por Rosa e Martins (2007, p. 6) e Moraes e Araújo (2012, p. 103).

Sasseron e Carvalho (2011) relatam que após levantamento bibliográfico sobre os referenciais nacionais e estrangeiros que abordam a alfabetização científica, identificaram que

(...) embora haja listas diferentes sobre tais habilidades, os pontos discutidos nos trabalhos desta revisão, em seu âmago, explicitam informações comuns que nos permitem afirmar a existência de convergências entre as diversas classificações (SASSERON; CARVALHO, 2011, p. 75).

Dessa forma, organizaram três eixos norteadores, os quais chamaram de **Eixos estruturantes da Alfabetização científica** que são importantes para orientar o desenvolvimento de propostas didáticas que almejam a promoção da AC.

Segundo as autoras, amparadas especialmente em Kemp (1993 apud SASSERON; CARVALHO, 2011), para que um cidadão seja considerado como alfabetizado cientificamente deve demonstrar, após o término da Educação Básica, níveis mínimos de compreensão nesses três eixos sintetizados no Quadro 4.

Quadro 4 – Eixos estruturantes da Alfabetização científica propostos por Sasseron e Carvalho (2011).

Eixos estruturantes da alfabetização científica	Descrição
Compreensão básica de termos, conhecimentos e conceitos científicos fundamentais	Concerne na possibilidade de trabalhar com os alunos a construção de conhecimentos científicos necessários para que seja possível a eles aplicá-los em situações diversas e de modo apropriado em seu dia-a-dia. Sua importância reside ainda na necessidade exigida em nossa sociedade de se compreender conceitos-chave como forma de poder entender até mesmo pequenas informações e situações do dia-a-dia.
Compreensão da natureza da ciência e dos fatores éticos e políticos que circundam sua prática	Reporta-se, pois, à ideia de ciência como um corpo de conhecimentos em constantes transformações por meio de processo de aquisição e análise de dados, síntese e decodificação de resultados que originam os saberes. Com vista para a sala de aula, nos anos iniciais do Ensino Fundamental, esse eixo fornece-nos subsídios para que o caráter humano e social inerentes às investigações científicas seja colocado em pauta. Além disso, deve trazer contribuições para o comportamento assumido por alunos e professor sempre que defrontados com informações e conjunto de novas circunstâncias que exigem reflexões e análises considerando-se o contexto antes de tomar uma decisão.
Entendimento das relações existentes entre ciência, tecnologias, sociedade e meio ambientes	Trata-se da identificação do entrelaçamento entre estas esferas e, portanto, da consideração de que a solução imediata para um problema em uma destas áreas pode representar, mais tarde, o aparecimento de outro problema associado. Assim, este eixo denota a necessidade de se compreender as aplicações dos saberes construídos pelas ciências considerando as ações que podem ser desencadeadas pela utilização dos mesmos. O trabalho com este eixo deve ser garantido na escola quando se tem em mente o desejo de um futuro sustentável para a sociedade e o planeta.

Fonte: Adaptado de Melo (2019, p. 47), baseado em Sasseron e Carvalho (2011, p. 75-76).

Sasseron e Carvalho (2008) e Sasseron (2008), além de apresentarem também esses três eixos estruturantes para identificação de indícios de Alfabetização Científica, apresentam alguns indicadores que servem para analisar se há um processo de desenvolvimento de AC por parte dos estudantes. Nas palavras das autoras, esses indicadores

(...) têm a função de nos mostrar algumas destrezas que devem ser trabalhadas quando se deseja colocar a AC em processo de construção entre os alunos. Estes indicadores são algumas competências próprias das

ciências e do fazer científico: competências comuns desenvolvidas e utilizadas para a resolução, discussão e divulgação de problemas em quaisquer das Ciências quando se dá a busca por relações entre o que se vê do problema investigado e as construções mentais que levam ao entendimento dele (SASSERON; CARVALHO, 2008, p. 338).

Apresenta-se no Quadro 5 abaixo uma síntese desses indicadores apresentados nos artigos.

Quadro 5 – Indicadores de Alfabetização científica.

Indicadores	Significado
Seriação de Informação	É um de nossos indicadores da AC. Ele deve surgir quando se almeja o estabelecimento de bases para a ação investigativa. Não prevê, necessariamente, uma ordem que deva ser estabelecida para as informações: pode ser um rol, uma lista de dados trabalhados ou com os quais se vá trabalhar.
Organização de Informação	Ocorre nos momentos em que se discute sobre o modo como um trabalho foi realizado. Este indicador pode ser vislumbrado quando se explicita a busca por um arranjo das informações novas ou já elencadas anteriormente. Pode surgir tanto no início da proposição de um tema quanto na retomada de uma questão.
Classificação de Informação	Aparece quando se busca estabelecer características para os dados obtidos, o que pode fazer com que estas informações sejam apresentadas conforme uma hierarquia, embora o aparecimento desta hierarquia não seja condição sine qua non para a classificação de informações. Constitui-se em um indicador voltado para a ordenação dos elementos com os quais se está trabalhando procurando uma relação entre eles.
Levantamento de Hipóteses	Aponta instantes em que são alcançadas suposições acerca de certo tema. Este levantamento de hipóteses pode surgir tanto da forma de uma afirmação como sendo uma pergunta (atitude muito usada entre os cientistas quando se defrontam com um problema).
Teste de Hipóteses	Concerne nas etapas em que se coloca à prova as suposições anteriormente levantadas. Pode ocorrer tanto diante da manipulação direta de objetos quanto no nível das ideias, quando o teste é feito por meio de atividades de pensamento baseadas em conhecimentos anteriores.
Justificativa	Aparece quando em uma afirmação qualquer proferida lança-se mão de uma garantia para o que é proposto. Isso faz com que a afirmação ganha aval, tornando mais segura.
Previsão	É explicitado quando se afirma uma ação e/ou fenômeno que sucede associado a certos acontecimentos.
Explicação	Surge quando se busca relacionar informações e hipóteses já levantadas. Normalmente a explicação sucede uma justificativa para o problema, mas é possível encontrar explicações que não se recebem estas garantias. Mostram-se, pois, explicações ainda em fase de construção que certamente receberão maior autenticidade ao longo das discussões.

Fonte: A Autora (2022), adaptado de Sasseron (2008) e Sasseron e Carvalho (2008).

Percebe-se que já há uma vasta literatura da área de Educação em Ciências no Brasil que busca discutir o que é a Alfabetização científica, o que considerar na aplicação de uma proposta didática que almeje alcançar a AC dos estudantes, bem como as habilidades necessárias para os estudantes iniciarem um processo de alfabetização científica.

Assim, nos resultados desta dissertação buscaremos fazer as discussões com base no que foi aqui apresentado, considerando como categorias os 3 eixos estruturantes de Sasseron e Carvalho (2011). Buscaremos verificar que elementos surgem na proposta temática que se aplicou que indicam contribuições para a AC. Na próxima seção vamos entender um pouco mais quais as características de uma proposta temática para o ensino de Física, que é um dos referenciais teóricos deste trabalho.

2.2 Ensino de Física Através de Temas

As propostas temáticas que estruturam práticas educativas no Ensino de Ciências no Brasil têm forte influência das concepções epistemológicas críticas de educação defendidas pelo brasileiro Paulo Freire e pelo francês George Snyders (DELIZOICOV; ANGOTTI; PERNAMBUCO, 2011). Tanto Freire quanto Snyders consideram que o planejamento didático-pedagógico precisa reconhecer duas categorias de conhecimento: o de senso comum, presente nos conhecimentos prévios dos estudantes, e o conhecimento científico, foco do ensino de Ciências. Nesse sentido, Delizoicov, Angotti e Pernambuco (2011, p. 189) indicam que no referencial analítico dos autores eles propõem uma “abordagem temática que possibilite a ocorrência de rupturas durante a formação dos alunos”.

A característica fundamental das propostas temáticas no ensino de Ciências é ter **a conceituação científica subordinada ao tema**. Nesse sentido, as atividades planejadas, os conteúdos a serem contemplados, bem como sua abordagem busca romper com a tradição curricular que parte do conceito científico, o que é chamado de abordagem conceitual, tendo o tema como estruturador do programa (BRITO; GOMES, 2007; DELIZOICOV; ANGOTTI; PERNAMBUCO, 2011).

Há uma valorização dos conhecimentos prévios dos estudantes por que entende-se que os estudantes não chegam à escola como tábulas rasas, mas

carregam conhecimentos de senso comum que precisam ser colocados em cheque frente aos conhecimentos científicos, de modo que ocorra uma ruptura, o que vai ao encontro das ideias defendidas por Bachelard sobre apropriação do conhecimento científico e o obstáculo epistemológico da experiência primeira (LOPES, 1996).

Na obra *Pedagogia do Oprimido*, lançada primeiramente na década de 70, Paulo Freire sistematiza sua proposta dos *temas geradores* para alfabetização popular, mas que encontra terreno fértil posteriormente para inspirar propostas temáticas em vários níveis de ensino, a exemplo de Delizoicov, Angotti e Pernambuco (2011) e Brito (2004).

Freire propõe os temas geradores tendo o diálogo, a problematização da realidade dos sujeitos (contextualização), a dimensão da totalidade (que parece se aproximar da ideia de interdisciplinaridade discutida atualmente) e a criticidade como princípios básicos para a educação associada à compreensão da realidade, como indica o trecho abaixo.

A questão fundamental, neste caso, está em que, faltando aos homens uma compreensão crítica da **totalidade** em que estão, captando-a em pedaços nos quais não reconhecem a interação constituinte da mesma **totalidade**, não podem conhecê-la. E não o podem porque, para conhecê-la, seria necessário partir do ponto inverso. Isto é, lhes seria indispensável ter antes a visão totalizada do contexto para, em seguida, separarem ou isolarem os elementos ou as parcialidades do contexto, através de cuja cisão voltariam com mais claridade à totalidade analisada.

Este é um esforço que cabe realizar, não apenas na metodologia da investigação temática que advogamos, mas também, na **educação problematizadora** que defendemos. O esforço de propor aos indivíduos **dimensões significativas de sua realidade**, cuja análise crítica lhes possibilite reconhecer a interação de suas partes (...)

Neste sentido é que a investigação do “tema gerador”, que se encontra contido no “universo temático mínimo” (os temas geradores em interação) se realizada por meio de uma metodologia **conscientizadora**, além de nos possibilitar sua apreensão, insere ou começa a inserir os homens numa forma **crítica** de pensarem seu mundo. (FREIRE, 1987, p. 55, grifo nosso).

No volume 3 do Caderno de Formação da série “Ação Pedagógica na escola pela via da Interdisciplinaridade” (MEDINA; SOARES; TAFFAREL, 1993) em uma tentativa de síntese quanto à interpretação sobre os temas geradores a partir da obra da *Pedagogia do Oprimido*, apresenta-se o tema gerador como

(...) um objeto de estudo que compreende o fazer e o pensar, o agir e o refletir, a teoria e a prática. Nesse sentido, pressupõe o estudo da realidade, da qual emergirão uma rede de relações entre situações significativas (significativas em uma dimensão individual, social e histórica) e uma rede de orientações que orientarão a discussão da interpretação e representação dessa realidade. Por sua natureza, o tema gerador pressupõe, também, uma visão de totalidade e abrangência dessa realidade e a ruptura do conhecimento de nível de senso comum, uma vez apontando o limite de compreensão que a comunidade tem sobre essa realidade (MEDINA; SOARES; TAFFAREL, 1993, p. 9).

É importante destacar que a opção por uma proposta temática não exclui os conteúdos curriculares, como erroneamente interpretam algumas pessoas, mas dá sentido a eles, pois não há prática educativa sem objeto de conhecimento, sem conteúdo a ser ensinado pelos professores e aprendidos pelo educando (FREIRE 2006 apud MUENCHEN; DELIZOICOV, 2014). A questão fundamental é política, referente a que conteúdos ensinar na escola, para quem ensinar e contra ou a favor de quem ensinar e quem participa dessas escolhas, como bem ressaltou Freire quando era secretário de educação da cidade de São Paulo em entrevista ao Jornal “Psicologia” (FREIRE 2006 apud MUENCHEN; DELIZOICOV, 2014, p. 627).

Na interpretação que Moreira (2000) faz dos currículos pautados nos princípios freirianos, discorre que esses currículos devem

(...) ter como eixo organizador as necessidades e as exigências da vida social, não as disciplinas tradicionais. Daí a preocupação em codificar e decodificar temas geradores, trabalhados nas salas de aula por meio do diálogo entre professores e estudantes (MOREIRA, 2000, p. 114)

Nascimento e Linsingem (2006, p. 97) discutem articulações entre o enfoque CTS e a Pedagogia de Paulo Freire no ensino de Ciências e destacam que há pelo menos três pontos de convergência entre eles.

(i) a **abordagem temática** e a seleção de conteúdos e materiais didáticos; (ii) a perspectiva interdisciplinar do trabalho pedagógico e o papel da formação de professores; (iii) o papel do educador no processo de ensino e aprendizagem e na formação para o exercício da cidadania (NASCIMENTO; LINSINGEM, 2006, p. 97, grifo nosso).

A contextualização com a realidade dos sujeitos é fator determinante na escolha do tema nessa perspectiva de ensino por temas, o que vai ao encontro da justificativa dada por Gomes (2005) do por que trabalhar com temas regionais, pois essa abordagem desenvolve conhecimentos relacionados à realidade regional, ou local do estudante, que acredita-se que despertam maiores interesses do que aqueles conhecimentos expostos em livros didáticos, que muitas vezes nada tem a ver com o contexto em que o estudante está inserido.

No entanto, diante de um currículo escolar estruturado em disciplinas² sempre foi um desafio se pensar em propostas temáticas, pois uma de suas características é a interdisciplinaridade, o que tem sido um grande desafio de implementar na escola.

Diante dessa realidade, por volta do ano 2000 uma iniciativa em um curso de formação de professores de Ciências oferecido pela Universidade Federal do Pará no interior paraense, deu início a um movimento de repensar o currículo de Ciências com temas da realidade dos municípios, mas de modo que ainda fosse possível trabalhar em um currículo disciplinar (BRITO, 2004). Dessa forma surge o que ficou conhecido como **Ensino de Física Através de Temas Regionais (EFATR)** (BRITO, 2004; BRITO; GOMES, 2007; GOMES, 2005) que já conseguiu inspirar diversas propostas didáticas no Estado.

Assim como sugerem Brito e Gomes (2007), essa abordagem tem sido usada em diversos contextos de modo a contemplar uma única disciplina, uma unidade do programa ou mesmo um tópico de uma unidade. A escolha geralmente é feita pelo professor considerando a realidade dos estudantes e a necessidade da abordagem curricular de determinados conteúdos, mas também pode ser escolhido com os estudantes, mas cabendo ao professor alertá-los sobre a necessidade da escolha contemplar o que prevê o programa (BRITO; GOMES, 2007).

Percebe-se aqui uma diferença entre os *temas geradores* de Freire e a proposta temática de Brito (2004), pois a escolha do *tema gerador* na proposta freireana é livre, os alunos escolhem e os conteúdos surgem a partir daí. Nesse sentido é que Brito e Gomes (2007) caracterizam a proposta de EFATR como uma perspectiva temática mediadora entre a Prática Dominante Atualmente (PDA) e a Tendência Atual (TA), que se aproxima da abordagem CTS. No entanto, o Ensino de Física Através de Temas sugerido por Brito (2004) possui componentes estruturais

² Como ainda se tem nas escolas atualmente, mas em perspectiva de mudança com a chegada da BNCC em 2022.

como a interdisciplinaridade, contextualização, desenvolvem a iniciativa do estudante, o que o coloca em condições de atender às novas demandas de ensino para uma formação cidadã (GOMES, 2005).

Brito (2004), já com base nos resultados aplicados no curso de Licenciatura em Ciências usando EFATR, argumenta que

Não é difícil perceber que os alunos ficam muito mais interessados em discutir e construir conhecimentos que estejam relacionados a seu cotidiano do que os conceitos formalmente hierarquizados que estamos acostumados a encontrar nos manuais didáticos. Imagine que um professor propõe a uma turma estudar Física começando por descrever qualitativamente e quantitativamente os movimentos, depois suas causas, depois a energia dos corpos em movimento, suas transformações, etc., enquanto outro propõe estudar física começando por entender como ocorrem os raios, relâmpagos e trovões, como funciona a visão humana, por que as garrafas de refrigerante quebram no congelador, que processos físicos estão envolvidos na industrialização do palmito, por exemplo. Parece evidente que a segunda abordagem é muito mais atraente, particularmente para aqueles não iniciados no estudo de Física (BRITO, 2004, p. 1).

A proposta do EFATR é sugerida para ser trabalhada em três etapas:

1ª etapa - Apresentação do tema: Inicialmente é feita uma Apresentação do tema para os estudantes, de forma dialógica, para demonstrar uma visão geral, mas sem entrar nos detalhes da conceituação científica. A exposição tem o objetivo de suscitar dúvidas, estimular a curiosidade, trazer motivação e chamar atenção dos estudantes para problemas/situações relacionadas ao tema que tanto o professor traga quanto os próprios estudantes. A forma de apresentar o tema é da escolha do professor, porém, deve provocar a curiosidade dos estudantes e ser dialógica, com estratégias como: contar uma história³, apresentar um texto motivador, fazer uma exposição dialogada com *slides*, exibição de um filme, visita a uma fábrica ou outro ambiente produtivo.

2ª etapa - Aprofundamento: Neste momento, de detalhamento conceitual, os conceitos científicos servem para explicar ou tirar dúvidas da etapa precedente que pode nascer de uma conversa informal com o objetivo de ultrapassar fronteiras, permitir que os estudantes possam perceber várias possibilidades quanto aos conceitos que vão surgir do tema, problematizando

³ É comum nessa proposta o uso de textos com narrativas regionalizadas.

sempre os conhecimentos prévios levantados de maneira formal ou informal no primeiro momento. É um momento de buscar respostas aos questionamentos iniciais, fazendo ligação entre o tema e o saber científico. A ideia é esta segunda etapa já sanar muitas dúvidas, mas deixar para o terceiro momento a maior produção de conhecimentos por parte dos estudantes.

3ª etapa - Produção-Avaliação: nesta etapa os estudantes vão elaborar um produto que possa ao mesmo tempo contemplar as provocações do primeiro momento, bem como mostrar que estão se apropriando adequadamente do conhecimento científico. Esta fase, de formalização do saber científico, é construída com a ajuda do professor ou de outras pessoas, livros, Internet entre outras fontes para pesquisa seguras. É nesta etapa que há a maior parte da aprendizagem, pois “o estudante torna-se responsável pela construção do conhecimento” (BRITO, 2004), mas tendo o professor como um importante mediador do processo. Nessa etapa os produtos gerados

(...) devem expressar o conhecimento físico construído coletivamente e coerente com os objetivos do currículo. Devido ao indispensável envolvimento do professor com a orientação dos alunos para a construção coletiva do conhecimento, fica bem caracterizada a avaliação de aprendizagem baseada em processo e não em momentos isolados, como ocorre na PDA (BRITO; GOMES, 2007, p. 4).

Apesar desta 3ª etapa ser chamada de Produção-Avaliação por Brito e Gomes (2007), é importante destacar que a avaliação ocorre não apenas nesta etapa, mas ao longo do processo, como indica o final da citação acima, o que é conseguido pela diversidade de recursos que podem ser utilizados para avaliação na segunda e terceira etapas. É possível citar uso de questionários, elaboração de cartas, resolução de exercícios, produção de textos, produção de vídeos, análise de discursos dos estudantes, envolvimento deles na proposta, entre outros, como pode ser percebido nos trabalhos que já aplicaram temas utilizando a perspectiva de Brito (2004), tais como Soares (2018) e Corrêa (2019).

3 A FÍSICA DAS DESCARGAS ELÉTRICAS ATMOSFÉRICAS

Os raios são fenômenos elétricos que ocorrem na natureza que sempre despertaram medo, fascínio e curiosidade do ser humano. Desde as civilizações mais antigas a humanidade vem tentando explicar como e por quê eles ocorrem e por que vem associados a luz (relâmpago) e som (trovão). Muitas dessas explicações são míticas ou religiosas. Agora vamos buscar compreender por que ocorrem esses fenômenos do ponto de vista da Ciência Física. É importante destacar que ainda há questões sem respostas sobre esse tema, mas há hipóteses plausíveis que discutiremos aqui.

Em conformidade com o tema do produto educacional “Raios, relâmpagos e trovões: beleza natural, mitos, riscos e proteção”, este capítulo será organizado de forma que se possa compreender, do ponto de vista da Física, algumas situações que surgem quando discutimos o tema, buscando sempre articulação com outras áreas de conhecimento à medida da necessidade, já que em uma abordagem temática, como já discutido no capítulo anterior, além da perspectiva interdisciplinar necessária para a compreensão de vários aspectos, “a conceituação científica é subordinada ao tema” (DELIZOICOV; ANGOTTI; PERNAMBUCO, 2011, p. 189), diferente de uma abordagem conceitual “cuja lógica de organização é estruturada pelos conceitos científicos” (Ibidem, p. 190).

Ao longo do texto são apresentados alguns quadros para que os leitores que estão começando a entrar em contato com o tema possam aprofundar os conceitos físicos que são destacados em negrito na narrativa. A opção por esse modelo teve a intenção de não provocar desvio das ideias principais, na tentativa de compreensão do contexto, mas ao mesmo tempo permitindo que os leitores que tem maior clareza dos conceitos possam seguir naturalmente no texto sem parar para leitura dos quadros.

Em levantamento em diversas fontes, tais como livros didáticos, artigos de pesquisadores da área e matérias publicadas foi percebido que ainda há uma carência de produções que discutem mais profundamente a Física dos raios usando também um formalismo matemático em articulação com a Teoria. Dessa forma, este capítulo foi construído com o desafio de apresentar algumas interpretações, utilizando conceitos e equações de Física básica, mostrando-se alguns limites e como algumas formalizações são encontradas nos livros didáticos de ensino médio.

Dessa forma, entende-se que poderá ser útil em cursos de formação inicial de professores de Física e, parte dele, como texto didático para os estudantes de ensino médio, para que ao mesmo tempo que os professores compreendam com mais profundidade os fenômenos, possam ter clareza de como desenvolver o formalismo e explicações na etapa de *Aprofundamento* da proposta temática (BRITO; GOMES, 2007) e ainda tenham um material de auxílio para suas aulas.

Para isso, buscamos amparo em fontes como série e reportagem de emissoras de televisão⁴ feitas com pesquisadores do Grupo de Eletricidade Atmosférica do Instituto Nacional de Pesquisas Atmosféricas (INPE/ELAT), materiais publicados por este grupo, livros didáticos do ensino médio e superior e artigos publicados sobre o tema.

3.1 O que são e como se formam raios, relâmpagos e trovões?

O estudo da natureza elétrica da matéria e dos efeitos da passagem de uma descarga elétrica pela matéria tem trazido importantes contribuições para se compreender os raios, relâmpagos e trovões. O consenso que se tem hoje é que os raios são **descargas elétricas** que se formam quando existem nuvens de tempestades carregadas (Existem vários tipos de nuvens e elas podem estar situadas em três diferentes camadas da atmosfera: camada superior, camada média e camada inferior, como mostra o Quadro 6).

A nuvem do gênero *Nimbostratus*⁵, simbolizada por N_s , formada na camada média, forma chuva (precipitação). Essa nuvem é extensa, tem aspecto sombrio e geralmente vem acompanhada de outras nuvens que se espalham ao seu redor. As N_s provocam temporais que podem vir associados a descargas elétricas (raios). No entanto, há um outro tipo de nuvem que é muito mais perigosa, a *Cumulonimbus*⁶, simbolizada por C_b .

⁴ Foram utilizados dados da série “País dos Raios” que foi apresentada em 3 episódios no Fantástico da Rede Globo em 2014. Também buscamos informações na reportagem sobre raios apresentada em janeiro de 2022 no Domingo Espetacular da Rede Record. Participam dessa reportagem pesquisadores do INPE que realizam pesquisas sobre raios no Brasil e são referência no tema, como é o caso do pesquisador Osmar Pinto Junior.

⁵ Etimologia da palavra: nimbus - nuvem que chove; stratus - estendido, coberto.

⁶ Etimologia da palavra: cummulus - pilha, acúmulo; nimbus - nuvem que chove.

Quadro 6 – Tipos básicos de nuvens

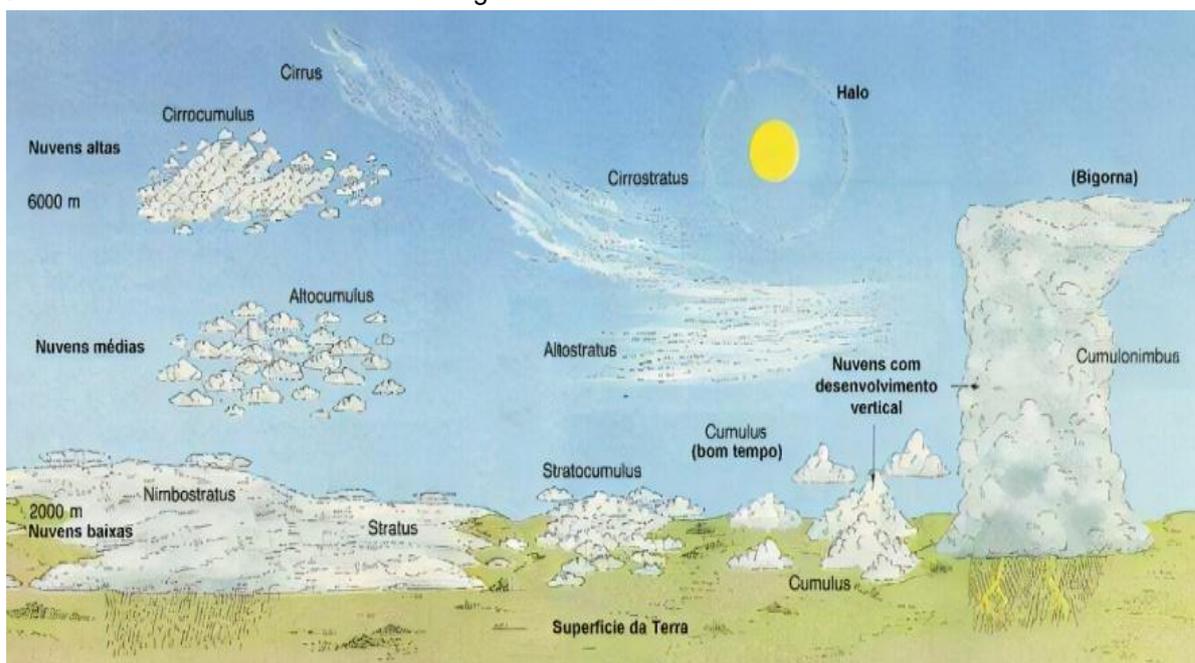
FAMÍLIA DE NUVENS E ALTURA	TIPO DE NUVEM	CARACTERÍSTICAS
NUVENS ALTAS Base acima de 6km de altura- são sólidas	Cirrus (Ci)	Aspecto delicado, sedoso ou fibroso, cor branca brilhante
	Cirrocumulus (Cc)	Delgadas, compostas por elementos muito pequenos em forma de glânulos e rugas. Indicam base de corrente de jato e turbulência.
	Cirrostratus (Cs)	Véu transparente, fino e esbranquiçado, sem ocultar o sol ou a lua, apresentam o fenômeno de halo(fotometeoro).
NUVENS MÉDIAS Base entre 2 a 4 km de altura nos polos, entre 2 a 7 km em latitudes médias, e entre 2 a 8 km no Equador- líquidas e mistas	Alto cumulus (Ac)	Branco, lençol ou camada de nuvens brancas ou cinzentas, tendo geralmente sombras próprias. Constituem o chamado “céu encarneirado”.
	Altostratus (As)	Camadas cinzentas ou azuladas, muitas vezes associada a altocumulus; compostas de gotículas superesfriadas e cristais de gelo; não formam halo, encobrem o sol; precipitação leve e contínua.
NUVENS BAIXAS Base até 2 km de altura- líquidas	Stratocumulus (Sc)	Lençol contínuo ou descontínuo, de cor cinza ou esbranquiçada, tendo sempre partes escuras. Quando em voo, há turbulências dentro da nuvem.
	Stratus (St)	Muito baixas em camadas uniformes e suaves, cor cinza, coladas á superfícies, é o nevoeiro; apresenta topo uniforme (ar estável) e produz chuvisco (garoa). Quando se apresentam fracionadas são chamadas fractostratos (FS)
	Nimbostratus (Ns)	Aspecto amorfo, base difusa e baixa, muito espessa, escura ou conzenta; produz precipitação intermitente e mais ou menos intensa.
NUVENS COM DESENVOLVIMENTO VERTICAL	Cumulus(Cu)	Contornos bem definidos, assemelham-se a couve-flor; máxima frequência sobre a terra de dia e sobre a água de noite. Podem ser orográficas ou térmicas (convectivas); apresentam precipitação em forma de pancadas; correntes convectivas. Quando se apresentam fraccionadas são

		chamadas de fractocumulus (FC). As muito desenvolvidas são chamadas de cumulus congestus.
	Cumulonimbos	Nuvem de trovoadas, base entre 700 e 1500 m, com topos chegando a 24 e 35 km de altura, sendo a média entre 9 e 12 km, são formadas por gotas d'água, cristais de gelo, gotas superesfriadas, flocos de neve e granizo. Caracterizadas pela "bigorna": o topo apresenta expansão horizontal devido aos ventos superiores, lembrando a forma de uma bigorna de ferreiro, e é formado por cristais de gelo, sendo nuvens do tipo Cirrostratos (CS).
Observação: <i>Nimbostratos e cumulonimbos são as nuvens responsáveis pela maior parte da precipitação.</i>		

Fonte: Grimm (2012 apud ANDRADE, 2016, p. 38).

A nuvem *Cumulonimbus* é na verdade a principal causadora de chuvas, de tempestades com relâmpagos e trovões intensos (MEIRELES, 2012). Além de serem muito perigosas quanto ao seu potencial para produzir descargas elétricas na atmosfera, elas ocasionam ventos fortes na superfícies, tornados e queda de granizo. Elas são nuvens baixas que se desenvolvem passando pelo nível médio e chegando até o nível alto, ou seja, podem alcançar os três estágios de desenvolvimento. Quanto ao formato desse tipo de nuvem, elas são volumosas, muito densas e tem uma formação vertical, como indica a Figura 1. Em altas altitudes da Troposfera ocorre o processo de inversão térmica e a nuvem se espalha por não conseguir mais se elevar, o que a deixa com a forma de uma bigorna (MEIRELES, 2012), como pode ser visto na Figura 1.

Figura 1 - Classificação de nuvens segundo altura e forma. Observe o formato da nuvem Cumulonimbus localizada à direita da imagem.



Fonte: <https://fisica.ufpr.br/grimm/aposmeteo/cap6/cap6-2-2.html>. Acesso em: 07 fev. 2022.

Essas nuvens de tempestades adquirem **carga elétrica**, definida na Física como:

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

Onde q é a carga adquirida pela nuvem, n é um número inteiro que representa o número de cargas em excesso, e é a carga elementar ($1,602 \times 10^{-19} C$). Essa “carga elementar e ” é uma das constantes mais importantes da natureza. Tanto o elétron quanto o próton possuem uma carga cujo valor absoluto é e ” (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2016, p. 12).

Quadro 7 – Aprofundamento do conceito de carga elétrica.

Carga elétrica
<p>É uma propriedade intrínseca das partículas fundamentais de que é feita a matéria; em outras palavras, é uma propriedade associada à própria existência das partículas.</p> <p>A grande quantidade de cargas que existem em qualquer objeto geralmente não pode ser observada porque o objeto contém quantidades iguais de dois tipos de carga: <i>cargas positivas</i> e <i>cargas negativas</i>. Quando existe essa igualdade (ou <i>equilíbrio</i>) de cargas, dizemos que o objeto está <i>eletricamente neutro</i>, ou seja, sua carga total é zero. Quando as quantidades de dois tipos de cargas contidas em um corpo são diferentes, a carga total é diferente de zero e dizemos que o objeto está eletricamente carregado.</p>

Fonte: Halliday, Resnick e Walker (2016, p. 1).

Atualmente já se calculou e mediu detalhes dessas cargas elétricas nas nuvens, mas quanto aos motivos que as levam a ficarem carregadas, ainda não há consenso. A hipótese mais comum apresentada em várias fontes, tais como Walker

(2012), Pinto Júnior (2014), entre outros, é que essas cargas surgem devido ao **atrito** entre granizo e cristais de gelo menores no interior da nuvem. Esses cristais de gelo transferem elétrons para os granizos, e estes, por terem maior massa, descem para a base da nuvem, tornando esta eletrizada negativamente, como indicado na Figura 2. A base da nuvem induz então cargas elétricas na superfície da Terra, gerando uma **diferença de potencial** entre a nuvem e a Terra e um **campo elétrico** ascendente (direcionado para cima), já que se sabe que o campo elétrico é uma grandeza vetorial (simbolizada por \vec{E}) que é representada por um vetor saindo do polo positivo em direção ao polo negativo, como indica a Figura 2.

Quadro 8 – Aprofundamento do conceito de eletrização por atrito.

Eletrização por atrito
<p>Um das formas de eletrizar um corpo é esfregando um com o outro, ou seja, por atrito. Assim, os dois que estavam inicialmente neutros ficam eletrizados com cargas de mesmo valor, mas de sinais opostos. Isso ocorre porque um corpo perde elétrons enquanto o outro recebe esses elétrons, mas a quantidade total de cargas permanece sempre a mesma se o sistema for isolado. Esse é conhecido como Princípio de Conservação da carga elétrica.</p> <p>As outras formas de eletrizar um corpo são por <i>contato</i> e por <i>indução</i>.</p>

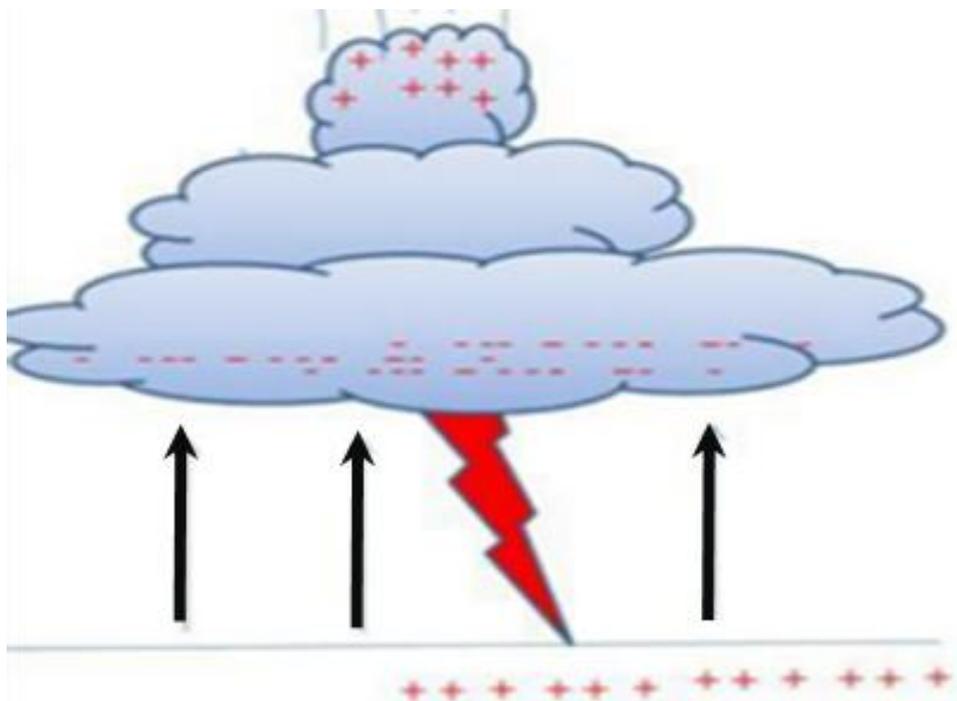
Fonte: A Autora (2022).

Quadro 9 – Aprofundamento do conceito de Campo Elétrico.

Campo Elétrico
<p>O conceito de campo elétrico pode ter vários significados, dependendo da teoria que está sendo considerada. Amparados em como esse conceito é exposto em algumas teorias, Soares e Artuso (2011) discutem que:</p> <p style="padding-left: 40px;">No formalismo de Maxwell, campo elétrico e campo magnético são conceitos primitivos, portanto não são definidos explicitamente. O que encontramos são equações que relacionam esses campos entre si (REITZ, 1982). No formalismo de Weber, o campo elétrico não é definido. A teoria de Weber é toda desenvolvida com base nos conceitos de partícula e força (ASSIS, 1995). Na formulação de Coulomb, o conceito de campo elétrico é apresentado a partir de uma carga pontual bem como em termos de força que atua sobre uma carga de prova (TIPLER; MOSCA, 2006). Já na Eletrodinâmica Quântica, a interação entre duas cargas elétricas é descrita em termos de troca de fótons entre elas (BASSALO, 2006; SOARES; ARTUSO, 2011, p. 3).</p> <p>Pantoja e Moreira (2020) ressaltam o quanto a abordagem desse conceito é arbitrária nos livros didáticos, pois “não costuma ocorrer de maneira a explicar a natureza do conceito” (p. 2). Nos livros didáticos do ensino médio costuma-se usar a ideia de campo elétrico associado à noção de força elétrica, mas enquanto a Lei de Coulomb foi publicada em 1785, a noção de campo elétrico surge apenas no século XIX, o que nos leva a pensar na dificuldade que existe na apropriação desse conceito ao se usar as obras didáticas, como apresentado por Pantoja e Moreira (2020).</p> <p>O que podemos sintetizar e que pode nos ajudar na compreensão desse tema de Descargas elétricas atmosféricas é que se existe excesso de carga elétrica em um corpo, existe um campo elétrico em torno desse corpo e o campo elétrico é uma grandeza vetorial (que tem módulo, direção e sentido). Seu módulo será discutido mais adiante e sua direção e sentido é saindo do polo positivo e entrando no polo negativo.</p>

Fonte: A Autora (2022).

Figura 2 – Distribuição de cargas em nuvem e superfície da Terra sob tempestade. As setas indicam a direção local do campo elétrico (E).



Fonte: Adaptado de Santos (2013, p. 3).

Quadro 10 – Aprofundamento do conceito de potencial elétrico e diferença de potencial.

POTENCIAL ELÉTRICO E DIFERENÇA DE POTENCIAL
<p>Potencial (V) é uma propriedade do campo elétrico que não depende da presença de um corpo carregado. É medido em joules por coulomb (J/C), que recebeu um nome especial de volt (V) no SI (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2016).</p> <p>O potencial é uma grandeza escalar que mede a capacidade que um corpo eletrizado tem de fazer com que um outro corpo eletrizado realize trabalho se for colocado naquele ponto, ou seja, se vai ser atraído ou repelido por uma força elétrica (F). O potencial elétrico poderá ser positivo, negativo ou nulo.</p> <p>Para uma carga pontual, o potencial é definido como:</p> $V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r}$ <p>A diferença de potencial U dentro de um campo elétrico é dada por:</p> $U = V_2 - V_1$

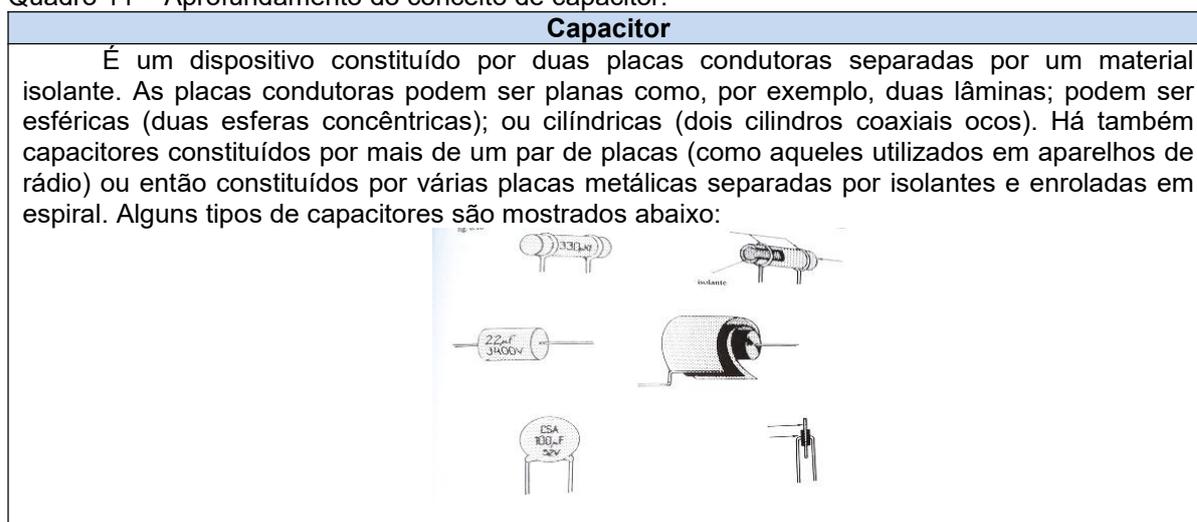
Fonte: A Autora (2022).

Mendes Júnior e Domingues (2002), Tavares e Santiago (2002), Santos (2013), entre outros, apresentam que mesmo em condições de tempo bom, há sempre uma densidade de carga na atmosfera, que leva a existência de um campo elétrico descendente (apontando para baixo) quando não há nuvens de tempestade (observe que nesse caso a polarização se inverte em relação à figura anterior).

A primeira tentativa de explicar a existência desse campo elétrico foi sugerida por Charles T. R. Wilson em 1820, quando propôs que ele surgia em virtude da

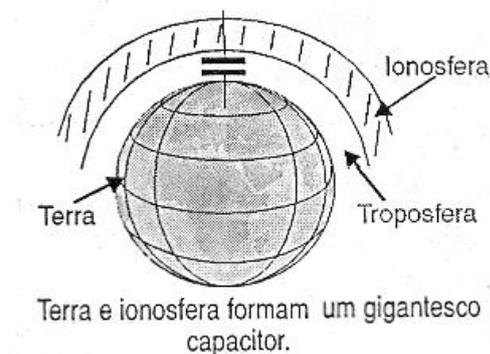
existência de um **capacitor esférico** formado pela superfície da Terra e uma **superfície equipotencial** localizada em alguma altitude supostamente entre 40 km e 60 km, a qual chamou inicialmente de *eletrosfera*, mas posteriormente considerou-se essa camada como sendo a **ionosfera**⁷ (ver Figura 3). Segundo essa “Teoria do capacitor esférico” (Quadro 11), esse capacitor é carregado até uma diferença de potencial de 200 quilovolts (200 KV)⁸.

Quadro 11 – Aprofundamento do conceito de capacitor.



Fonte: (GREF, 2017, p. 320-321).

Figura 3 – Representação do modelo do capacitor esférico formado pela Terra que teria carga negativa e a ionosfera, com carga positiva.



Fonte: https://www.newtoncbraga.com.br/images/stories/artigo2020/hist0062_0003.png.

O valor do campo elétrico em condições de tempo bom, próximo à superfície da Terra, é cerca de 100 V/m (ou 100 N/C). Mas a atmosfera é composta por gases

⁷Fonte:

<http://www.inpe.br/webelat/homepage/menu/relamp/electricidade.atmosferica/circuito.eletrico.atmosferico.global.php>

⁸ 200.000 volts. Compare com a diferença de potencial que temos em nossas residências (127V ou 220 V), ou seja, é mais de mil vezes maior.

(75% de Nitrogênio e 24% de Oxigênio) que não formam um **isolante** perfeito entre a ionosfera e a Terra⁹, o que acaba por gerar um **fluxo de corrente elétrica** de cima para baixo da ordem de $2 \times 10^{-12} A/m^2$ e esse fluxo integrado sobre toda a Terra descarregaria por completo o capacitor em cerca de 10 minutos, anulando a diferença de potencial (MENDES JÚNIOR; DOMINGUES, 2002; TAVARES; SANTIAGO, 2002). No entanto, essa descarga completa não ocorre e acredita-se que as nuvens Cumulonimbus são as principais responsáveis pela manutenção dessa diferença de potencial, pois age “no sentido de manter a carga negativa da esfera interna, contribuindo para a manutenção das cargas positivas na esfera externa (MENDES JÚNIOR; DOMINGUES, 2002, p. 10).

Quadro 12 – Aprofundamento do conceito de Isolantes e Condutores.

ISOLANTES E CONDUTORES
Podemos classificar os materiais de acordo com a facilidade com que as cargas elétricas se movem em seu interior. Os condutores são materiais nos quais as cargas elétricas se movem com facilidade, como os metais, o corpo humano e a água da torneira. Os não condutores, também conhecidos como isolantes [ou dielétricos], são materiais nos quais as cargas têm dificuldade de se mover, como os plásticos, a borracha, o vidro e a água pura (destilada). É importa dizer que não existem isolantes ou condutores perfeitos, pois isso vai depender da diferença de potencial a que são submetidos.

Fonte: (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2016, p. 3, com adaptações).

Quadro 13 – Aprofundamento do conceito de Corrente Elétrica.

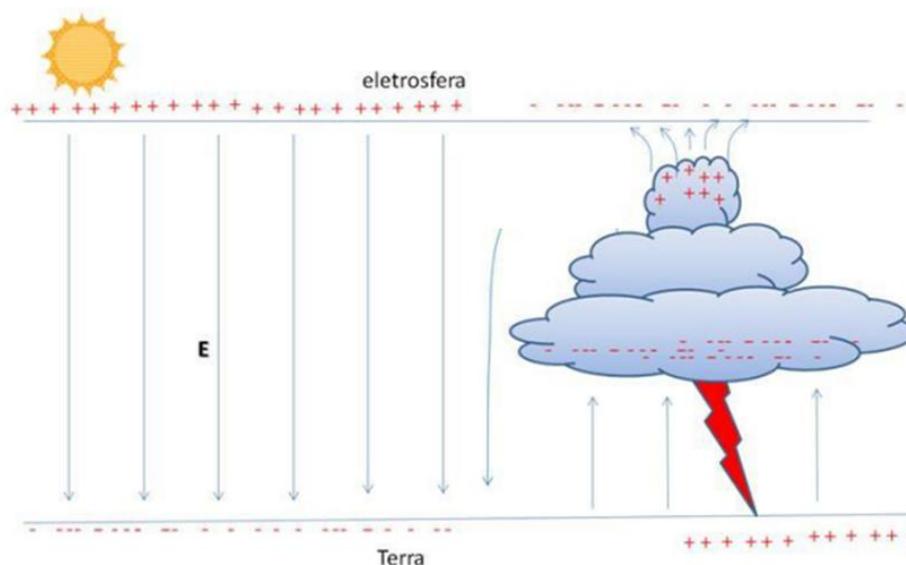
CORRENTE ELÉTRICA
A corrente elétrica (i) é o movimento orientado de cargas elétricas em um meio em um determinado tempo definida como $i = dq/dt$ ou $i = \Delta q/\Delta t$ (para o ensino médio). Ela surge sempre que existe uma diferença de potencial (ddp ou tensão) entre dois pontos (chamados polo positivo e polo negativo). Mendes Júnior e Domingues (2002) dizem que “por razões históricas, o sentido de uma corrente elétrica está convencionado como sendo o do movimento das partículas carregadas positivamente. Trata-se do mesmo sentido do campo elétrico aplicado ou da queda de potencial que produz o movimento das partículas carregadas. Portanto, se a corrente é devida ao movimento das partículas carregadas negativamente, tais como os elétrons, o sentido da corrente é oposto ao movimento real dos elétrons.

Fonte: A Autora (2022).

A Figura 4 apresentada por Santos (2013) é mais uma representação que procura dar conta de exemplificar esse modelo, mas em uma perspectiva bidimensional.

⁹ Pois lembre-se que as ligações desses gases são covalentes e não iônicas.

Figura 4 - Modelo do capacitor atmosférico sob tempo bom (esquerda) e sob tempestade (direita). As setas indicam a direção local do campo elétrico (E).



Fonte: Santos (2013, p. 3).

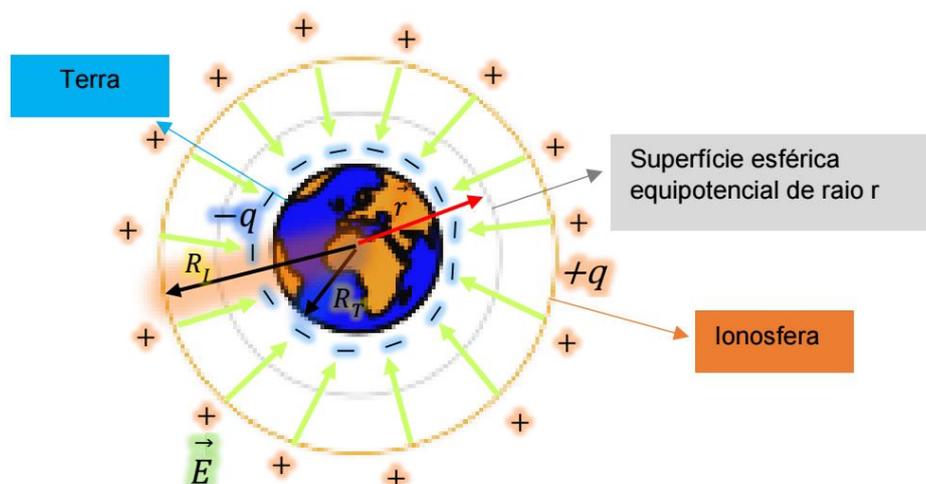
Mas qual seria a **Capacitância** desse capacitor esférico? Para calcularmos, vamos partir da análise da figura 5, onde temos a ionosfera como a esfera maior carregada positivamente e a superfície da Terra como sendo a esfera menor carregada negativamente. A esfera intermediária seria uma superfície equipotencial de raio r , ou seja, uma superfície equipotencial é aquela onde o potencial elétrico é o mesmo em todos os pontos e esse r é variável, em um limite de integração que vai de um polo (ionosfera) a outro (superfície da Terra). O campo elétrico está sendo representado por setas verdes, saindo do polo positivo em direção ao polo negativo da Figura 5.

Quadro 14 – Aprofundamento do conceito de Capacitância.

CAPACITÂNCIA	
É uma medida da quantidade de carga que precisa ser acumulada nas placas para produzir uma diferença de potencial entre elas. Quanto maior a capacitância, maior a carga necessária, o que pode ser representada pela equação:	$C = \frac{q}{V}$
No Sistema Internacional a Unidades (SI), a unidade de Capacitância é coulomb por volt (C/V), que recebeu um nome especial, faraday (F), em homenagem ao cientista Michael Faraday.	

Fonte: (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2016, p. 128, com adaptações).

Figura 5 – Modelo do capacitor esférico com a representação da ionosfera com carga positiva, superfície da Terra com carga negativa e uma superfície equipotencial de raio r .



Fonte: A Autora (2022).

Sabe-se que a Capacitância (C) é definida como a relação entre a carga de uma das placas do capacitor (q) e a diferença de potencial entre as placas esféricas do capacitor (U)

$$C = \frac{q}{U} \quad (2)$$

Para calcular U usaremos a equação

$$U = - \int_i^f \vec{E} \cdot d\vec{r} \quad (3)$$

No ensino médio essa equação é vista apenas em módulo:

$$U = E \cdot d \quad (4)$$

Sendo $U = V_f - V_i$ onde V_f é o potencial elétrico na superfície da Terra e V_i é o potencial na ionosfera.

Essa integral da equação (3) em dr vai da posição inicial (ionosfera), cujo raio é R_I , até a posição final (superfície da Terra), cujo raio é R_T . Assim, podemos escrever:

$$U = - \int_{R_I}^{R_T} \vec{E} \cdot d\vec{r} \quad (4)$$

Esse produto escalar entre o campo elétrico e o elemento infinitesimal de posição da superfície equipotencial pode ser escrito como

$$U = - \int_{R_I}^{R_T} E r \cos\alpha \quad (5)$$

onde α é o ângulo entre \vec{E} e $d\vec{r}$

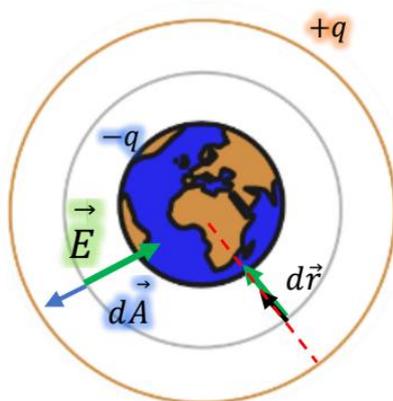
Estamos em busca de saber qual a equação que define a capacitância do capacitor formado pela ionosfera e a superfície da Terra e até o momento fomos buscar a diferença de potencial U , mas agora necessitamos do campo elétrico para encontrá-la.

O campo elétrico \vec{E} pode ser calculado pela Lei de Gauss:

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{q_{env}}{\epsilon_0} \quad (6)$$

Essa Lei “relaciona os campos elétricos nos pontos de uma superfície gaussiana à carga total envolvida pela superfície” (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2016, p. 52). Quanto ao formato dessa superfície gaussiana, pode ser qualquer um, mas a forma que facilita o cálculo é quando ela reflete a simetria da distribuição de cargas, o que, por sorte, temos isso em nosso problema do capacitor esférico formado pela superfície da Terra e ionosfera, como indica a Figura 6.

Figura 6 – Direção do Campo elétrico \vec{E} e $d\vec{A}$ na superfície gaussiana, bem como $d\vec{r}$.



Fonte: A Autora (2022).

Nessa equação (6), \vec{E} e $d\vec{A}$ tem mesma direção (radial), mas sentidos opostos, como indica a Figura 6. Assim, como a superfície gaussiana engloba uma carga negativa (-q), o ângulo entre esses dois vetores (campo elétrico e elemento de área) é 180° .

Substituindo na equação (5), temos:

$$U = -\frac{q}{4\pi\epsilon_0} \int_{R_I}^{R_T} \frac{1}{r^2} dr$$

$$\oint E \cdot dA \cdot (\cos 180^\circ) = \frac{q_{env}}{\epsilon_0}$$

Como \vec{E} é constante na superfície gaussiana, essa grandeza pode sair da integral. A carga q_{env} da Lei de Gauss é a carga que se encontra envolvida pela superfície gaussiana, no caso, a carga da superfície da Terra, que é $-q$, o que resulta:

$$-E \cdot A = -\frac{q}{\epsilon_0} \times (-1)$$

A é a área da superfície gaussiana esférica, dada por $4\pi r^2$. Substituindo, temos:

$$E \cdot 4\pi r^2 = \frac{q}{\epsilon_0}$$

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2} \quad (7)$$

Geralmente não aparecem nos livros de ensino médio esse termo com a **permissividade elétrica** $\frac{1}{4\pi\epsilon_0}$, mas percebe-se que aparece na equação do módulo do campo elétrico uma constante eletrostática K (ou também chamada de constante de Coulomb) que pode ser assim escrita: $K = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$. Assim, no formalismo simplificado do ensino médio essa equação do módulo do campo elétrico pode ser assim descrita:

$$E = K \frac{q}{r^2}$$

$$U = - \int_{R_I}^{R_T} \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2} \times dr \times \cos \theta$$

(8)

$$U = - \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \frac{r^{-1}}{(-1)} \Big|_{R_I}^{R_T}$$

Substituindo a equação do campo elétrico (7) na equação (5) da diferença de potencial, e sabendo que o ângulo entre E e dr é 0°, como vimos na Figura 6, temos:

$$U = \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \frac{1}{r} \Big|_{R_I}^{R_T}$$

A carga da superfície da Terra é constante, portanto pode sair da integral junto com os demais fatores constantes, o que resulta em uma integral em dr.

$$U = \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{1}{R_T} - \frac{1}{R_I} \right)$$

$$U = \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{R_I - R_T}{R_I R_T} \right)$$

$$U = C = \frac{\tilde{q}}{U_0} \int_{R_I}^{R_T} (r^{-2}) dr$$

$$C = \frac{q}{\frac{q}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{R_I - R_T}{R_I R_T} \right)}$$

(9)

Enfim, substituindo (9) na equação (2) para calcular a capacitância:

$$C = \frac{q}{U}$$

$$C = \frac{q}{\frac{q}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{R_I - R_T}{R_I R_T} \right)}$$

$$C = 4\pi\epsilon_0 \left(\frac{R_I R_T}{R_I - R_T} \right)$$

(10)

Esse resultado é o $C = 4\pi\epsilon_0 \left(\frac{R_I R_T}{R_I - R_T} \right)$ mesmo apresentado por Santos (2013) da **Capacitância** do sistema Terra-ionosfera, em que $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ F/m é

permissividade elétrica do ar, $R_T = 6.370 \text{ km}$ é o raio da Terra, $R_e = 6.395 \text{ km}$ é o raio da ionosfera (que no artigo ele ainda chama de eletrosfera).

Essa é uma equação que os professores do ensino médio podem analisar com os estudantes, sem a necessidade da demonstração que envolve cálculo diferencial e integral. Percebe-se que ao substituímos as constantes, podemos chegar ao resultado da capacitância desse capacitor formado pela Terra e ionosfera:

$$C = 4\pi \times 8,85 \times 10^{-12} \left(\frac{6370 \text{ km} \times 6395 \text{ km}}{370 \text{ km} - 6395 \text{ km}} \right)$$

$$C = 4\pi \times 8,85 \times 10^{-12} \left(\frac{40,7 \times 10^6 \text{ km}^2}{25 \text{ km}} \right)$$

$$C = 4\pi \times 8,85 \times 10^{-12} \left(\frac{40,7 \times 10^6}{25} \right) \times 10^3 \text{ m}$$

$$C = 0,18 \text{ F}$$

Santos (2013) discute que esse é um valor muito grande para capacitâncias. Também faz uma comparação interessante sobre a energia armazenada nessa capacitor, a carga e a diferença de potencial (ddp) gerada entre o pé de uma pessoa e sua cabeça quando está sobre a superfície da Terra:

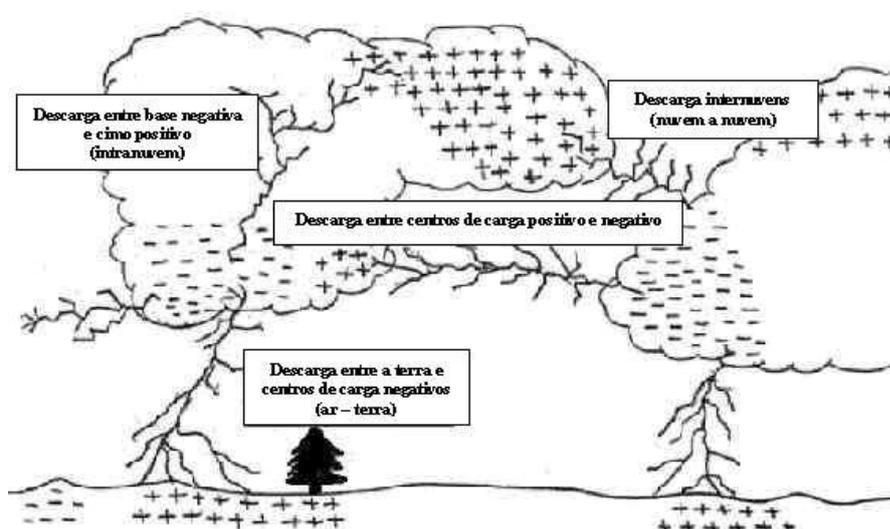
Para a energia armazenada nesse capacitor $\left(\frac{CV^2}{2} \right)$ vão encontrar o valor aproximado de 103 J, equivale a um milhão de baterias de automóvel de 12 V e 100 Ah. A capacitância gera uma carga entre 0,5 MC e 1,5 MC na superfície da Terra. Com isso, a ddp entre os pés e a cabeça de uma pessoa na superfície da Terra pode chegar a 300 V. É provável que surja a pergunta: por que não levamos um choque? A resposta está na alta condutividade elétrica do nosso corpo em comparação com o ar (SANTOS, 2013, p. 2).

Como agora já sabemos como costumam explicar a existência do Campo elétrico na atmosfera, e que as descargas elétricas atmosféricas são os grandes responsáveis por manter carregado esse capacitor, vamos tentar entender a descarga elétrica em si, as condições para que aconteça e os efeitos que ela causa na passagem (relâmpago e trovão).

Quanto mais carregada a nuvem fica, maior será a diferença de potencial existente entre a Terra e a nuvem e, conseqüentemente, maior será o campo elétrico, já que, como vimos na equação (3) que $U = - \int_i^f \vec{E} \cdot d\vec{r}$. Assim, quando a carga elétrica na nuvem consegue gerar um campo elétrico que supera o valor de $3 \times 10^6 V/m$ (valor da rigidez dielétrica do ar, ou seja, do campo máximo que ele consegue suportar sendo isolante), ocorre um fenômeno chamado “**quebra da rigidez dielétrica do ar**”, ou seja, o ar torna-se condutor e ocorre a descarga elétrica entre a nuvem e a Terra, o raio.

Essa descarga pode ocorrer não apenas entre nuvem e Terra, mas também entre nuvens ou no interior de nuvens (Figura 7) e nem sempre são ascendentes, como podemos pensar. Há raios que saem da Terra em direção à nuvem, mas são raros de ocorrer. Segundo Sabá (2003, p. 5), “raios que sobem só acontecem a partir de estruturas muito elevadas, como por exemplo do alto de um arranha-céu ou de uma antena no topo de uma montanha”.

Figura 7 – Descargas elétricas no interior de nuvens, entre nuvens e entre Terra e nuvem.



Fonte: <http://www.cibernautica.com.ar/portugues/pararaios/image002.gif>.

Quando a descarga elétrica sai da nuvem em direção à Terra ela não segue uma linha reta porque o ar da atmosfera não é homogêneo. Cada região então vai ter uma capacidade isolante diferente e a descarga elétrica irá buscar o caminho melhor para ser superada a rigidez dielétrica, fazendo com que as cargas elétricas atravessassem aquele canal criado.

Quando essa descarga, chamada de **líder escalonado**, sai da nuvem em direção à Terra ele viaja com a velocidade de uma onda eletromagnética (300.000 km/s), mas é pouco luminosa para ser percebida a olho nu. Marcelo Saba (2003) no artigo “O raio passo a passo” da Revista Física na escola apresenta uma sequência de imagens de um raio captada por uma filmadora especial que gravava 1.000 imagens por segundo. Nessas imagens é possível ver um líder escalonado saindo da nuvem e outro também procurando o caminho da Terra, mas quando o principal consegue se juntar a uma **descarga conectante** que vem do solo, forma-se “então o que é conhecido como o canal do raio, caminho ionizado e altamente condutor” (SABA, 2003, p. 5). Segundo o autor, após a primeira ramificação chegar ao solo, a outra ramificação some da imagem porque toda a carga passa a fluir por esse canal do raio criado. A sequência de imagens pode ser vista na Figura 8.

Figura 8 – Sequência de imagens de uma descarga elétrica filmada pelo INPE no Vale do Paraíba, com uma filmadora especial que gravava 1.000 imagens/segundo.



Tempo = 0: A ponta de um líder escalonado de um raio aparece no canto superior esquerdo da imagem de vídeo.



Tempo = 3 ms: As duas pontas têm uma mesma origem na nuvem de tempestade, que não aparece na imagem.



Tempo = 1 ms: Podemos perceber no lado direito da imagem outra ponta deste líder.



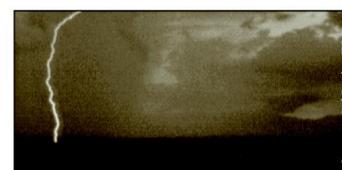
Tempo = 4 ms: Elas buscam no seu movimento descendente um ponto de contato com o solo.



Tempo = 5 ms: A ramificação esquerda leva a dianteira e está prestes a completar o caminho da descarga.



Tempo = 6 ms: A ramificação esquerda completa o caminho entre a nuvem e o solo. Toda a corrente elétrica é transmitida por ela e muita luz é produzida neste momento.



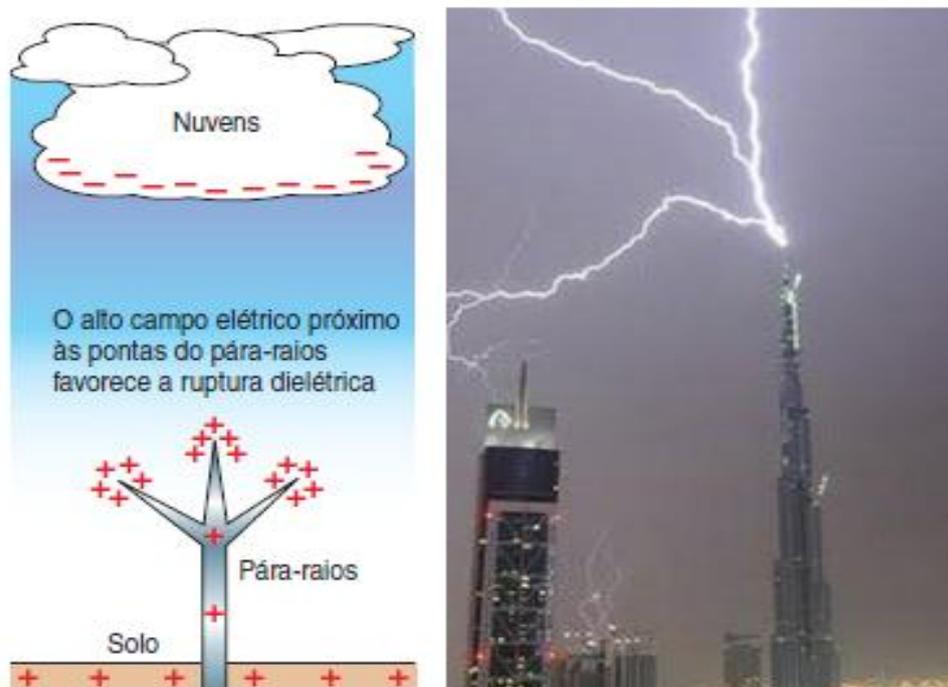
Tempo = 7 ms: A corrente elétrica diminui e o canal do raio vai aos poucos perdendo a sua luminosidade.

Fonte: Saba (2003, p. 5-6).

Mas vamos entender por que o raio é atraído por pontas, como as do para-raios, árvores ou qualquer objeto em campo aberto com altura razoável. Isso ocorre porque quando um **corpo condutor em equilíbrio eletrostático** está eletrizado, as

cargas ficarão distribuídas em sua superfície externa, mas caso essa superfície não seja simétrica, a densidade de cargas será maior na região do corpo mais pontiaguda, e o campo elétrico naquela região será conseqüentemente mais intenso, levando a uma quebra da rigidez dielétrica do ar com maior facilidade (ver Figura 9), por isso tem mais chances de um raio cair em objetos altos, pontiagudos, por causa desse “poder das pontas”. Dessa forma, percebe-se que o mito de que um raio não cai duas vezes no mesmo lugar não tem fundamento científico, já que se o local representa uma “ponta” naquela região, tem grandes chances dele cair novamente lá, como é o caso dos raios que caem com frequência na estátua do Cristo Redentor, situada no Morro do Corcovado no Rio de Janeiro (RJ).

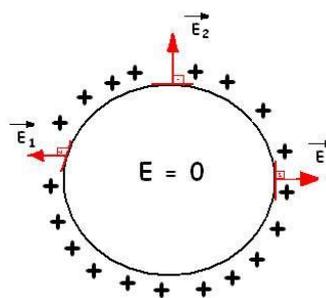
Figura 9 – O poder das pontas



Fonte: <https://esquadraodoconhecimento.wordpress.com/2014/04/08/por-que-os-para-raios-sao-pontudos/>.

O modelo de condutor em equilíbrio eletrostático tem três características: 1. O campo elétrico no interior do condutor é sempre nulo; 2. O potencial elétrico é o mesmo em todos os pontos do interior e da superfície do condutor; 3. O vetor campo elétrico é perpendicular à superfície em todos os pontos. Esse modelo pode ser observado na Figura 10.

Figura 10 – Conductor em equilíbrio eletrostático



Fonte:

https://static.preparaenem.com/conteudo_legenda/conductor%20em%20equilibrio%20eletrostatico.jpg

No caso de um automóvel que recebe a carga de um raio podemos usar esse modelo para explicar porque é seguro ficar em seu interior. A carga trazida pelo raio acumula-se na lataria externa do carro e ficam em equilíbrio se repelindo mutuamente, sem escoar para a Terra em virtude do isolamento feito pelas rodas. No interior do carro o potencial é sempre o mesmo (Potencial, V , é constante e diferença de potencial, U , é zero), então o campo elétrico será nulo ($E=0$), o que nos leva a dizer que não haverá carga elétrica no interior do automóvel, deixando-o assim seguro (desde que mantidas portas e janelas fechadas). Esse fenômeno é conhecido como “Blindagem eletrostática” (ver Figura 11).

Figura 11 – Carro sendo atingido por uma descarga elétrica atmosférica. As cargas ficam acumuladas na lataria externa por que ele atua como uma Gaiola de Faraday



Fonte: A Autora (2022).

No entanto, é extremamente perigoso sair do carro quando este ainda está com carga, pois você pode se transformar no canal por onde estas cargas irão passar em direção ao solo, podendo levá-lo à morte em virtude da altíssima corrente elétrica que passará pelo seu corpo, ou seja, você fará o aterramento. O mesmo pode ocorrer se um fio de eletricidade cair sobre o carro, pois sabe-se que

O corpo humano é muito sensível à corrente elétrica. Isso ocorre porque as atividades musculares, incluindo a

respiração e os batimentos cardíacos são controlados por correntes elétricas internas. A corrente elétrica de origem externa pode resultar em graves descontroles, tais como a paralisia respiratória, fibrilação ventricular e parada cardíaca (GREF, 2017, p. 347).

No Quadro 15 é possível verificar o que ocorre com uma pessoa dependendo do valor da corrente elétrica que passa pelo seu corpo. Compare esses valores com o valor da corrente de um raio, que pode variar de 30.000 A, podendo chegar a 300.000 A¹⁰.

É por isso que sem conhecer esses princípios básicos de Física, muitas pessoas morrem ao tentarem sair do carro nessas circunstâncias. O ideal é aguardar, preferencialmente chamar o Corpo de Bombeiros para neutralizar o automóvel para que os ocupantes possam sair com segurança.

Agora vamos tentar entender por que o canal do raio emite luz (o relâmpago). Como já comentado acima, quando o líder escalonado encontra com a descarga conectante, forma-se o canal do raio. Nesse canal a energia que passa consegue ionizar os átomos de nitrogênio e oxigênio do ar (removendo os elétrons da última camada) dentro do canal. Uma vez que o canal está formado, as cargas armazenadas nesse canal começam a descer da nuvem em direção à Terra e surge então uma descarga de retorno, que caracteriza-se como uma descarga ascendente que sobe no canal com uma velocidade de cerca de 100 mil km/s, que equivale a um terço da velocidade da luz. Esta descarga é denominada **descarga de retorno**, dura algumas poucas centenas de microssegundos e produz a maioria da luz que vemos¹¹, a qual chamamos de **relâmpago**¹².

Quadro 15 – Efeitos da corrente elétrica no corpo humano, dependendo da amperagem.

EFEITOS DA CORRENTE ELÉTRICA NO CORPO HUMANO		
Corrente elétrica* (60Hz)	Duração	Efeito mais graves**
0 a 0,5mA	Qualquer	Nenhum
0,5 a 2mA	Qualquer	Limiar de percepção
2 a 10mA	Qualquer	Dor Contração muscular Descontrole muscular
10 a 25 mA	Minutos	Contração muscular

¹⁰ Fonte: <http://www.sbfisica.org.br/v1/portalpion/index.php/artigos/30-a-fisica-das-tempestades-e-dos-raios>

¹¹Fonte:

<http://www.inpe.br/webelat/homepage/menu/relamp/relampagos/caracteristicas.da.corrente.eletrica.php>

¹² Algumas referências tem o raio como sinônimo de relâmpago, mas neste trabalho consideramos o relâmpago como um dos efeitos da passagem do raio, ou seja, a luz provocada pelo raio.

		Dificuldade respiratória Aumento da pressão arterial
25 a 50mA	Segundos	Paralisia respiratória Fibrilação ventricular Inconsciência
50 a 200mA	Mais de um ciclo cardíaco	Fibrilação ventricular Inconsciência Paralisia respiratória Marcas visíveis
Acima de 200mA	Menos de um ciclo cardíaco	Fibrilação ventricular Inconsciência Marcas visíveis
Acima de 200mA	Mais de um ciclo cardíaco	Parada cardíaca reversível Inconsciência Queimaduras
*As faixa de valores para a corrente elétrica são muito aproximada e devem ser consideradas como ordem de grandezas.		

Fonte: GREF (2017, p. 348).

Walker (2012, p. 223) explica que:

A recombinação dos elétrons livres com as moléculas de ar produz a luz intensa do relâmpago. Embora o relâmpago seja muito luminoso, o caminho condutor no qual acontece toda a atividade provavelmente tem menos de um centímetro de diâmetro.

Essa passagem da descarga elétrica, além de ionizar o canal do raio, também provoca aquecimento brusco do ar naquela região (dilatação térmica) em virtude de os elétrons acelerados colidirem violentamente com as moléculas de ar que encontram no caminho. Assim, o aumento da temperatura das moléculas provoca uma dilatação volumétrica brusca do ar, provocando uma onda de choque, o trovão (WALKER, 2012). Para se ter uma ideia de valores, “a temperatura de um canal de relâmpagos, medida espectroscopicamente alcança 30.000 K em apenas 12 μ s após a passagem da descarga de retorno, mas decai rapidamente em cerca de 50 μ s” (TAVARES; SANTIAGO, 2002, p. 410).

Apesar dos fenômenos de relâmpago e trovão ocorrerem ao mesmo tempo, nesse intervalo de tempo ínfimo, conseguimos ver primeiro o relâmpago e depois escutar o trovão. Isso ocorre por que a velocidade da luz no ar (300.000 km/s) é muito maior do que a velocidade do som no ar (340 m/s).

Até aqui apresentamos várias teorias que tentam explicar esse fenômeno tão curioso das descargas elétricas atmosféricas, mas assim como começamos o início deste capítulo, é importante chamar atenção que ainda não há consenso sobre algumas questões, por exemplo: “Como as nuvens têm suas cargas em camadas positivas e negativas? Qual a fonte dessas cargas? Que modelo matemático

explicaria melhor as descargas das nuvens de tempestade?” (TAVARES; SANTIAGO, 2002).

No entanto, pelo resultado de algumas pesquisas, especialmente as desenvolvidas pelo INPE nos últimos anos, pudemos perceber que conhecer os princípios físicos envolvidos no tema sobre Raios, relâmpagos e trovões nos ajuda não apenas a entender os fenômenos que observamos e escutamos, mas também pode nos ajudar a evitar acidentes ou nos custem a vida. Especialmente para os que vivem no Brasil, maior país da zona tropical e campeão mundial em número de raios por ano, devemos estar atentos aos perigos e saber como nos protegermos em caso de necessidade, bem como divulgar esses conhecimentos às outras pessoas.

Para se ter uma ideia, somente nos 15 primeiros dias do ano de 2022 caíram 10 milhões de raios em solo brasileiro (aumento de 16% em relação ao ano passado)¹³. No produto educacional desta dissertação disponível no Apêndice A é possível ter contato com leituras e indicações de vídeos onde especialistas discutem procedimentos que podem ser feitos para se evitar acidentes ou mortes por descargas elétricas, especialmente para quem mora na Amazônia, onde a incidência de raios é muito maior se comparada a outras regiões do Brasil. No texto motivador do produto também são discutidos mitos associados com o tema, pois na perspectiva da Alfabetização científica, precisamos problematizar o senso comum dos estudantes para que aos poucos eles consigam adquirir habilidades de compreensão de como se faz Ciência, como se explica Ciência e que valores, atitudes e relações com a sociedade e o meio ambiente estão envolvidas nessa construção.

¹³ Fonte: Reportagem televisiva do Domingo Espetacular da Rede Record ocorrida em 30 de janeiro de 2022.

4 ASPECTOS METODOLÓGICOS

A metodologia da dissertação engloba os passos realizados para a elaboração do trabalho científico, que vai desde a escolha do procedimento para a coleta de dados, identificação de métodos, técnicas, materiais, instrumentos de pesquisa e definição de amostra, até a categorização e análise dos dados (MARCONI; LAKATOS, 2007).

Assim, descreve-se neste capítulo as etapas da pesquisa, desde a elaboração do produto educacional, passando pela aplicação e metodologia de análise; o tipo de pesquisa adotado; apresenta-se os instrumentos de coletas de dados; caracteriza-se o local da aplicação da proposta, os participantes e a metodologia de análise.

4.1 Etapas da pesquisa

Após a escolha do tema sobre descargas elétricas atmosféricas em uma perspectiva regionalizada, buscou-se primeiramente fazer um levantamento de documentos oficiais da educação brasileira como a LDB (Lei de Diretrizes e Bases da Educação – Lei 9394/96), Plano Nacional de Educação - PNE (BRASIL, 2014), Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino médio – PCNEM (BRASIL, 2000; 2002), Base Nacional Comum Curricular (BNCC) (BRASIL, [2018?]) e sobre os itinerários formativos do novo ensino médio (BRASIL, [2021?]). A intenção desse levantamento e leitura era identificar que mudanças ao ensino médio eram trazidas e se a proposta apresentada se adequava ao contexto. Assim, verificamos que a proposta temática tem características adequadas e coerentes com o que se propõe nestes documentos, especialmente quanto à perspectiva interdisciplinar proposta na área de conhecimento Ciências da Natureza e suas Tecnologias, à necessidade de contextualização dos saberes escolares e do currículo estar voltado à formação de competências e de fortalecimento da cidadania.

Em seguida foram feitos levantamentos bibliográficos sobre *Ensino de física por temas* e *Alfabetização científica*, com a intenção de compreender melhor os aspectos teóricos que fundamentariam o trabalho, antes de seguir para a elaboração do material didático em si. Como uma etapa fundamental de todo trabalho científico que influenciará todas as outras etapas, a pesquisa bibliográfica dá um

embasamento teórico ao trabalho (AMARAL, 2007) e permite ao pesquisador conhecer o que já se estudou e publicou sobre o assunto em fontes como dissertações, livros, artigos científicos, páginas de web sites, entre outros (FONSECA, 2002).

Para identificar como outras dissertações abordaram o tema de descargas elétricas no ensino de Física, foi feito levantamento no Banco de teses e dissertações da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior (CAPES), no site do MNPEF e no Banco Digital Brasileiro de Teses de Dissertações da CAPES, cujo resultado apresentou-se na introdução.

A pesquisa bibliográfica também foi importante na fase de estudos sobre o tema de raios, relâmpagos e trovões antes e durante a elaboração do produto educacional. Buscou-se em livros didáticos, em especial em Walker (2015), materiais do INPE, artigos publicados em revistas e vídeos de documentários, informações teóricas sobre os fenômenos físicos envolvidos.

A elaboração do produto educacional deu-se a partir de maio de 2021, após coletar-se várias informações sobre as descargas elétricas atmosféricas, em especial na região Norte do Brasil, reportagens de jornais sobre acidentes com raios na região e sondagem com moradores de Alenquer sobre suas vivências com as descargas elétricas atmosféricas. Essas informações foram úteis para elaborar o texto motivador do produto educacional para ser usado no primeiro momento (*Apresentação*) e as perguntas de levantamento de conhecimentos prévios.

Foram selecionados textos e vídeos para servirem de leitura e visualizações para o momento de *Aprofundamento*, bem como elaborados dois questionários para os estudantes responderem com base no que estavam aprendendo (*Aprofundamento 1* e *Aprofundamento 2*). Para a fase de *Aprofundamento* também foi elaborada uma apresentação em slides síntese sobre os conceitos de campo elétrico, potencial elétrico, diferença de potencial, rigidez dielétrica do ar, articulados com o tema. Por fim foi elaborado um Guia de atividades para apoio ao estudante para orientá-los durante a aplicação da proposta, considerando os três momentos da proposta temática adotada.

Nessa ocasião de elaboração do produto educacional, a Pandemia de Covid-19 havia obrigado as escolas a fecharem as portas, desde março de 2020 e tentava-se implementar um Ensino Remoto Emergencial – ERE (MOREIRA; HENRIQUES; BARROS, 2020), mas com dificuldades extremas no município de Alenquer-PA, já

que o acesso à internet por parte dos estudantes era precário. Assim, a primeira tentativa foi de elaborar um material que pudesse ser útil nesse contexto de ensino remoto, mas a incerteza de até quando esse ERE iria levou às adaptações no material, que acabou sendo possível de implementar em sala de aula apenas a partir de outubro de 2021, quando as escolas de Alenquer passaram a receber estudantes de forma presencial, em esquema de revezamento para evitar aglomerações, já que a Pandemia de Covid-19, apesar de ter amenizado por conta da vacinação, ainda não havia passado.

Antes de iniciar a aplicação do produto educacional os estudantes responderam um questionário de caracterização da turma, a fim de se obter informações sobre os estudantes que participariam da proposta.

As aplicações ocorreram em 22 e 29 de outubro de 2021, com uma turma, em uma escola da rede estadual de ensino, na tentativa de se coletar dados que pudessem responder à questão de investigação inicialmente proposta: **“Que elementos emergem da aplicação de uma proposta temática regionalizada que podem sinalizar contribuições para o processo de Alfabetização científica de estudantes do ensino médio?”**

As informações de número de participantes, turno, período de realização de atividades e carga horária se encontram no quadro 16. É importante frisar que apesar dos encontros presenciais terem ocorrido em dois dias do mês de outubro, as atividades perduraram até janeiro de 2022, quando os estudantes entregaram as últimas atividades (cartas e vídeos) solicitadas para a terceira etapa.

Quadro 16 – Informações sobre os participantes, período e carga horária (CH) das atividades.

Nº DE ESTUDANTES	TURNO	DATAS DOS ENCONTROS	CH PRESENCIAL	CH EXTRA CLASSE	CH TOTAL
22	MANHÃ	22 e 29 de outubro 2021	9 h	10 h	19 h

Fonte: A Autora (2022).

4.2 Tipo de pesquisa

Esta pesquisa caracteriza-se como *qualitativa* (BOGDAN; BIKLEN, 1994; LUDKE; ANDRÉ, 2018). Esse tipo de pesquisa utiliza o ambiente natural para coleta

de dados (a escola, a sala de aula) e preocupa-se mais com o processo do que simplesmente pelos resultados e produtos. Na pesquisa qualitativa o processo de análise é indutivo, ou seja, “o processo de análise dos dados é como um funil: as coisas estão abertas no início (ou no topo) e vão se tornando mais fechadas e específicas no extremo” (BOGDAN; BIKLEN, 1994, p. 50). É *descritiva*, à medida que os dados são apresentados por palavras e não por números. Assim, o caráter *descritivo* da pesquisa qualitativa permite amparar-se em citações feitas com base nos dados adquiridos nos vários instrumentos de pesquisa, de modo a fundamentar e substanciar a argumentação, que aparece em um texto narrativo (Idem).

Entende-se que a escolha de instrumentos de investigação deve pautar-se naquilo que o pesquisador pretende investigar e os resultados são a respostas da interpretação do autor da pesquisa com base no referencial teórico. No parágrafo seguinte serão apresentados os instrumentos utilizados para a coleta de dados de pesquisa.

4.3 Instrumentos para coleta de dados

Listamos abaixo um conjunto de instrumentos que foram fundamentais para a elaboração da análise que é trazida nesta dissertação. Compartilhamos com Bogdan e Biklen (1994, p. 207-208) que

(...) quanto mais dados tiver sobre o tópico, contexto ou grupo de sujeitos específicos, mais fácil será pensar profundamente sobre ele e maior será a probabilidade de ser produtivo quando realizar a análise final.

Assim, para coleta de dados foram utilizados os seguintes instrumentos:

- *Questionários de caracterização da turma (Apêndice A)*: possibilitou ter um conhecimento mais aprofundado da turma, verificando fatores que poderiam intervir na sua vida estudantil e na aplicação da proposta. O questionário era composto de 16 questões, algumas com perguntas subjetivas e outras com perguntas objetivas;
- *Questionários respondidos pelos estudantes*: o questionário de conhecimentos prévios, assim como os dois questionários de aprofundamento que se encontram no produto educacional do Apêndice A serviram para identificar aprendizagens sobre o tema e indícios de alfabetização científica;
- *Diário de pesquisa da professora pesquisadora*: por meio dele foi possível relatar observações ocorridas durante a aplicação da proposta didática, anotando

questionamentos, reflexões, comportamentos e sugestões dos estudantes.

- *Fotografias e gravação de vídeos das aulas*: permitiu ter uma maior eficiência e precisão para produção dos diários, além de auxiliar no relato dos resultados;

- *Entrevista semi-estruturada realizada com o professor da turma* (Ver roteiro de perguntas no Apêndice A): feita com a finalidade de fazer a caracterização do professor e identificar contribuições da proposta para a alfabetização científica dos jovens;

- *Avaliação final (elaboração de uma carta e vídeo)*: usada para identificar indícios de alfabetização científica que apresentaram em seus discursos.

4.4 Caracterização da escola

A pesquisa foi aplicada numa escola estadual de ensino médio localizada em um bairro periférico da zona urbana do município de Alenquer, oeste do estado do Pará/Brasil. Ela atende estudantes de diversos bairros distantes da escola, próximos e da zona rural.

O prédio é de alvenaria, coberto de telhas de barro e na entrada encontra-se a diretoria, secretaria, sala dos professores e arquivo. A escola possui cinco salas de aula, mas duas improvisadas no laboratório de informática e no auditório. Há um ambiente para funcionamento de Laboratório multidisciplinar, mas está inativo e algumas vezes também serve de sala de aula. A cozinha fica ao lado da área externa da escola e próximo à quadra para prática de exercícios físicos. Também há dois banheiros masculinos e dois femininos.

O colégio oferta apenas a modalidade de ensino médio, e em 2021 atendia à demanda de cerca de 600 estudantes distribuídos em 17 turmas, organizados por séries, funcionando nos turnos matutino, vespertino e noturno. No turno matutino funcionavam 8 turmas, sendo 3 turmas de primeiros anos, 3 turmas de segundos anos e 2 turmas de terceiros anos. No turno vespertino eram 6 turmas, 3 de primeiros anos, 2 de segundos anos e 1 de terceiro ano e no turno da noite funcionavam 3 turmas, uma de cada série¹⁴.

¹⁴ Informações fornecidas pela diretora da escola na ocasião da aplicação da proposta.

4.5 Caracterização dos estudantes

A caracterização foi feita com base nas respostas ao questionário, que serviu para analisar o perfil da turma, além de observar as dificuldades que eles encontravam para reunir fora da escola com o objetivo de estudar ou preparar trabalhos expositivos, como o que estava previsto na última etapa da proposta. Assim, foi possível elaborar a melhor maneira para que os estudantes pudessem desenvolver de forma mais produtiva as atividades. Abaixo caracteriza-se os estudantes da turma de estudantes que realizou as atividades analisada nesta dissertação.

O grupo de aplicação da proposta era formada por 22 estudantes do 3º ano do ensino médio, sendo que os estudantes foram organizados em um mesmo grupo para a aplicação, mas eram oriundos de duas classes diferentes do turno da *manhã*. Isso foi necessário porque devido a pandemia o retorno das aulas da rede estadual se deu de forma gradual, primeiro com 25% do total de alunos, depois 50%, foi quando se teve a oportunidade de aplicação do produto. Como pela manhã havia duas turmas de terceiros anos, cada turma foi dividida em dois grupos por ordem de chamada (Grupos A e B), conforme Quadro 17. Os estudantes que participaram das atividades realizadas eram do grupo A das duas turmas e foi possível reuni-los em uma mesma sala porque foi utilizado o auditório da escola, onde o distanciamento social era possível.

Quadro 17 – Divisão das duas turmas de terceiros anos em grupos A e B para retorno gradual e o número de alunos que participou da aplicação do produto educacional.

3º ano	Grupos para retorno	Nº de estudantes que participaram das atividades
Turma 1	Grupo A	10
	Grupo B	-
Turma 2	Grupo A	12
	Grupo B	-

Fonte: A Autora (2022).

A regra baseada no decreto municipal era: na primeira semana frequentavam as aulas presenciais os alunos dos grupos A e na segunda semana os do grupo B, e assim na terceira semana voltava os grupos A e na quarta os B. É importante frisar que na semana da aplicação do produto o grupo que estava frequentando as aulas eram os grupos A de ambas as turmas, e como em cada turma estavam vindo cerca

de 10 alunos mais ou menos, teve-se a ideia de juntar os dois grupos e formar uma única turma para a aplicação do produto. A opção por juntar estudantes das duas turmas foi feita para que o número de alunos participando da atividade fosse maior, já que menos de 50% estava frequentando presencialmente em virtude da Pandemia de Covid-19. Nessa turma nenhum estudante estava cursando dependência¹⁵.

Um estudante declarou-se pessoa com deficiência (PCD) no questionário, sendo a deficiência a auditiva (pessoa surda). O estudante surdo expressou no questionário que sua necessidade para o ensino de Física, assim como para as demais disciplinas, é que os professores ou soubessem a Língua Brasileira de Sinais (LIBRAS), ou que houvesse um profissional intérprete durante as aulas, uma vez que a ajuda que ele tem é de uma colega que sabe um pouco de LIBRAS e o ajuda durante as aulas.

Apesar de existir um atendimento no contra-turno para as pessoas com deficiência, percebe-se que ainda há um descompasso entre o que prevê as Leis educacionais (tais como o Decreto Federal nº 5626, de 22 de dezembro de 2005 e o Decreto nº 10.502, de 30 de setembro de 2020) quanto ao direito da pessoa surda em sala de aula e o que consegue-se até o momento se cumprir nas escolas de educação básica sobre o direito a um intérprete, especialmente em regiões afastadas da capital, como é o caso de Alenquer-PA.

Quanto ao acesso às atividades escolares durante a Pandemia, os estudantes desta turma declararam que usaram o aplicativo de Whatsapp no celular em grupos da turma e por meio de cadernos de atividades disponibilizados pelos professores.

Sobre acesso a computador em suas residências, 15 deles responderam que não possuem e 7 possuem computadores de seus pais. Quanto ao acesso à internet, 10 deles tem wi fi em casa, 10 utilizam internet móvel e 02 a internet do seu local de trabalho. Todos responderam que só conseguem assistir vídeos no youtube quando a internet está com boa conexão, mas isso nem sempre ocorre.

¹⁵ A dependência é um instrumento que algumas escolas brasileiras utilizam para tentar evitar que o aluno passe pela experiência de permanecer mais um ano no mesmo nível em que foi reprovado. Com ela, o aluno continua sua vida escolar normalmente, ou seja, passam para o próximo ano, mas em outro horário continua cursando a disciplina na qual foi reprovado e ainda têm dificuldades.

Sobre se utilizam o *Google Classroom*¹⁶, disseram ter dificuldade para acessar. Apesar de a maioria ter seu e-mail institucional fornecido pela Secretaria Executiva de Educação (SEDUC-PA), cerca de 98% dos alunos nunca acessou as atividades por esse sistema.

Para fins de análise no capítulo de resultados codificamos os estudantes com a letra D seguida da numeração de 1 a 22 (D1, D2..., D22).

4.6 Caracterização do professor de física da turma

O Professor das turmas é Bacharel em Economia pela Universidade Federal do Pará (1997) e Licenciado em Matemática e Física pela Universidade Federal do Oeste do Pará (2015). Possui Especialização em Fundamentos da matemática elementar pela UFPA (2008), especialização em Matemática e Física pela Faculdade Venda Nova do Imigrante - FAVENI (2021), Mestrado em Ensino de Física pela UFOPA em 2021 e trabalha na área da Educação há quinze anos. Todavia, atua como professor de Física apenas há quatro anos. O professor da turma auxiliou a aplicação da proposta e sempre esteve em diálogo para a aplicação da proposta.

4.7 Caracterização do produto educacional

Nesta seção serão discutidos os materiais que compõem o livreto do produto educacional que se encontra no Apêndice A e a justificativa para cada item.

4.7.1 Guia de Atividades

Este Guia que compõe o produto educacional foi inspirado no Guia Pedagógico Semanal (GPS) proposto por Moreira e Lencastre (2015 apud MOREIRA; HENRIQUES; BARROS, 2020, p. 353), instrumento criado para que “os estudantes possam

¹⁶ “Google Classroom é um sistema de gerenciamento de conteúdo para escolas que procuram simplificar a criação, a distribuição e a avaliação de trabalhos. Ele é um recurso do Google Apps redirecionado à área de educação” (Fonte: https://pt.wikipedia.org/wiki/Google_Classroom?msclkid=a5d6f7a4a7c311ec83755c4dc93b4465. Acesso em: 19 mar. 2022).

consultar todas as informações e orientações necessárias para acompanhar as aulas online”. Teve o objetivo de situar os estudantes sobre quais atividades deveriam desenvolver ao longo da aplicação do produto, sobre cada passo a ser tomado para o seu desenvolvimento.

No início foi pensado por que a aplicação seria no contexto do Ensino Remoto Emergencial (ERE), usando o *Google Classroom*, pois, as aulas naquele momento em que o produto estava sendo elaborado estavam acontecendo de forma remota. No entanto, a realidade do município no que diz respeito as condições de acesso a uma boa internet não colaborou. Houve muitas queixas dos alunos por terem dificuldades de acesso ao *Google Classroom* e devido a isso foi preparado um material digital em pdf e em forma de livreto para ser entregue impresso aos alunos. No entanto, foi mantido por que foi percebido que ele também seria útil para o presencial, já que algumas atividades também seriam feitas à distância. O Guia de Atividades trouxe uma pequena apresentação em que situa o aluno e orienta como proceder durante as aulas. Após as apresentações ele traz as atividades com orientações, a serem realizadas, sejam elas de forma presencial ou fora da sala de aula.

4.7.2 Texto motivador para apresentação do tema

O texto da apresentação do tema foi elaborado para despertar a curiosidade dos estudantes em relação ao tema, assim como Brito (2004) e Brito e Gomes (2005) propõem. Busca-se através de situações familiares dos estudantes fazer uma narrativa que aguace a curiosidade e proporcione o diálogo ao trazer perguntas que muitos já se fizeram, mas não sabem ao certo a resposta, mas sem ainda trazer respostas científicas relacionadas ao tema, o que ocorrerá apenas na segunda etapa da proposta. São discutidos mitos associados aos fenômenos dos raios e dados de acidentes com raios na Amazônia.

4.7.3 Questionário de levantamento de conhecimentos prévios

Este questionário foi pensado como uma estratégia para compor o produto educacional porque visa explorar os conhecimentos prévios dos estudantes, bem como suscitar dúvidas, curiosidades, suas concepções espontâneas no primeiro

momento para a partir delas desenvolver o tema. Parte-se do princípio de que o aluno já traz algum conhecimento de casa, de suas vivências, conhecimentos estes que já detém e que faz com que não chegue à escola com a mente puramente vazia, como uma *tábula rasa*. Assim, este questionário serve como ponto de partida para um conhecimento mais aprofundado (DEMO, 2000) e sugere-se que os estudantes respondam logo após a leitura do texto, mas também pode ser respondido antes da leitura do texto, já que a própria leitura do texto pode já gerar discussões que interfiram nessas concepções prévias.

Este questionário é composto por 17 questões, sendo 10 delas subjetivas e 7 questões objetivas. Foi pensado assim para que os alunos pudessem responder da maneira que pensam e para que tivessem alternativas de respostas. Todos os 22 estudantes da turma responderam ao questionário.

4.7.4 Textos e vídeos para a etapa de aprofundamento

Foram propostos três textos para a fase de Aprofundamento, sendo um artigo publicado na revista Física na Escola, um livro didático diferenciado e uma Cartilha do INPE, como indicados abaixo:

- ❖ **Texto 1 (SABA, 2001):** A Física das tempestades e dos raios, que aborda questões e dúvidas frequentes sobre as tempestades, raios, relâmpagos e trovões. É um artigo da Revista Física na escola, publicado em 2001.
- ❖ **Texto 2 (WALKER, 2012):** Parte do capítulo 5 do livro O circo Voador da Física. É um livro de Jearl Walker republicado em 2012 que em seu capítulo 5 traz o tema Escapando de um estrondo de um trovão e aborda sobre tema com uma metodologia através de perguntas e respostas, esclarecendo sobre raios, relâmpagos e trovões.
- ❖ **Texto 3:** Cartilha Proteção contra raios do INPE¹⁷: É uma cartilha publicada no site do INPE e serve de orientação para que acidentes com raios sejam evitados, pois segundo o próprio instituto, 80% das mortes por raio no Brasil, podem ser evitadas se as pessoas tiverem as informações adequadas.

¹⁷ Cartilha que pode ser acessada no link abaixo.
<http://www.inpe.br/webelat/homepage/menu/protacao/cartilha.de.protacao.contra.raios.php>

❖ **Vídeos de série sobre o tema:** além dos textos, também foram disponibilizados links dos três episódios de uma série exibida no Fantástico intitulada: “País dos raios”, de 2013, que estão disponíveis no youtube nos links:

https://www.youtube.com/watch?v=e-KQ_F-e100,

<https://www.youtube.com/watch?v=q6sTUOAisa8>,

<https://www.youtube.com/watch?v=8OqHYA6FOOA>

4.7.5 Questionários de aprofundamentos 1 e 2

Foram elaborados dois questionários para servir como avaliação da fase de Aprofundamento a fim de identificar como os estudantes estavam compreendendo o que estavam estudando. O primeiro, com três questões subjetivas relacionadas ao que tinham lido ou assistido naquela etapa e o segundo com duas questões subjetivas.

4.7.6 Lista de exercícios

A lista de exercício foi elaborada com o intuito de exercitar as aprendizagens que estavam adquirindo no tema, de modo que os estudantes percebam que esse tema tem aparecido com certa frequência no ENEM (Exame Nacional do Ensino Médio) e poderiam tirar proveito disso, já que o exame se aproximava. Teve-se o cuidado de buscar 10 questões nas provas tanto do ENEM desde o ano de 2014, quanto de Universidades Federais, para que os alunos pudessem resolver e colocar em prática seu aprendizado.

4.7.7 Texto de Orientações para a etapa de produção-avaliação

Este texto traz orientações para o trabalho em equipe sobre produção do **vídeo** ou experimento sobre raios, relâmpagos e trovões, como fazer a parte escrita do trabalho, formatação e organização, assim como a orientação para o trabalho individual, que é a produção de uma **carta** destinada a um amigo ou parente em que abordam sobre os riscos e como as pessoas devem se proteger das descargas elétricas atmosféricas.

4.8 Preparativo para a aplicação do produto educacional

Para a aplicação, primeiramente foram reproduzidas cópias do produto educacional, em forma de livretos, para serem entregues aos estudantes. Depois disso, foi feita uma visita à escola para solicitar autorização para a aplicação do produto. Após a autorização assinada pela diretora da escola, foi feita uma primeira visita à sala de aula e solicitado aos estudantes que preenchessem o Termo de consentimento livre e esclarecido (Apêndice A) e Termo de consentimento para uso de imagens (Apêndice A), junto com seu responsável legal. Também foi disponibilizado um Termo para o professor dar ciência da pesquisa.

Na primeira ida à escola, no dia 22 de outubro de 2021, houve uma recepção (pesquisadora e professor da turma) pela diretora da escola às sete horas da manhã. A gestora então informou a forma como as aulas presenciais estavam ocorrendo, amparada em um decreto municipal devido a Pandemia de Covid-19. Esse decreto havia determinado a necessidade de revezamento semanal dos estudantes nas salas de aula, com 50% da capacidade do total de número de alunos em cada turma, a fim de se evitar aglomerações, como já comentado anteriormente.

A sala a ser utilizada com os estudantes foi o auditório da escola, com amplo espaço, e pelo fato de muitos não terem retornado às aulas presenciais ou terem optado por ficar no remoto, foi possível reunir 10 estudantes de uma classe de 3º ano da manhã e 12 de outra, totalizando 22 estudantes da turma A, como já apresentado no quadro 17. O produto também foi aplicado com os outros 29 estudantes do Grupo B da tarde, mas para efeito de análise dos resultados desta dissertação utilizou-se apenas a aplicação com os estudantes da turma A, pois a maioria já havia entregue os trabalhos na ocasião da análise.

Após a conversa com a direção da escola, às sete horas e trinta minutos dirigiram-se até o auditório para aguardarmos a entrada dos estudantes. O professor da turma e a diretora então procederam à apresentação da discente como mestrande da UFOPA e pesquisadora. Os estudantes pareceram ficar intimidados com a presença de uma pessoa estranha naquela sala, já que era a nossa primeira oportunidade de contato em sala de aula naquela escola, apesar de alguns já terem sido meus alunos no ensino fundamental ou serem filhos de pessoas conhecidas na cidade.

Outro fato que chamou atenção foi a presença de um aluno surdo nesse grupo de estudantes que recebia ajuda de uma colega estudante que sabia LIBRAS para compreender o que estava sendo falado. Para um (uma) professor (a), no momento em que se percebe a situação e não tem formação em LIBRAS, fica-se preocupada, pois não se lembra se o curso alguma vez tenha sido ofertado pelo governo aos professores, sente-se, portanto, a necessidade de formação continuada nesta área também. O (a) professor (a) se depara com esse novo desafio de tornar as aulas acessíveis àquele estudante também.

Fica-se a refletir sobre as dificuldades que ele, bem como outros estudantes com deficiência, enfrenta no dia a dia da sala de aula. Nesse caso específico das pessoas surdas, sem um intérprete de LIBRAS para acompanhá-los, a oportunidade de acesso ao conhecimento estava sendo comprometida, apesar do apoio da colega, que não tinha a responsabilidade, mas era sensível à situação. Assim, percebe-se que ainda há muitos problemas de ordem burocrática, de escassez de profissionais, entre outros, que precisam ser sanados, como já comentado anteriormente. No entanto, diante do que se tinha, que era o apoio da colega como intérprete, resolveu-se falar mais lentamente durante as aulas para que ela tivesse a oportunidade de repassar as informações ao estudante.

4.9 Metodologia de análise e categorias

A análise de conteúdo tem sua origem no final do século passado. Ela constitui uma metodologia de pesquisa usada para descrever e interpretar o conteúdo de toda a classe de documentos e texto. É bem mais do que uma simples técnica de análise de dados, representa uma abordagem metodológica, com características e possibilidades próprias (MORAES, 1999, p. 7-8). Para essa pesquisa foram disponibilizados questionários aos vinte e dois discentes da escola; sendo assim denominados: questionário de conhecimentos prévios com perguntas objetivas e subjetivas já descrito acima no item 4.7.3, questionário de aprofundamento 1 e 2 descritos no item 4.7.5 com questões subjetivas, e na etapa da produção- avaliação a produção de vídeos e cartas item 4.7.4, para isso utilizando um guia pedagógico descrito no item 4.7.1. Depois de transcritos os questionários, os vídeos e as cartas, Para a análise utilizou-se a metodologia de Análise de Conteúdo proposta por Moraes (1999) que se desenvolve em 5 etapas.

- 1 - Preparação das informações;
- 2 - Unitarização ou transformação do conteúdo em unidades;
- 3 - Categorização ou classificação das unidades em categorias;
- 4 - Descrição;
- 5 - Interpretação.

Na etapa de preparação das informações foi feita a organização e leitura do material coletado, bem como iniciado o processo de codificação para que cada elemento pudesse ser identificado de maneira mais rápida. Foram dados códigos como QCP para Questionário de Conhecimentos Prévios, D para discentes, Q1 para Questionário de Aprofundamento 1, Q2 para Questionário de Aprofundamento 2. Iniciando a etapa de Unitarização ou transformação de conteúdos em unidades foi necessário a releitura cuidadosa dos materiais para a definição da unidade de análise a ser utilizada e optou-se por utilizar palavras chaves e frases para assim encaixá-las nas categorias compostas pelos três eixos estruturantes de Sasseron e Carvalho (2011). Foi feito um quadro tanto no word quanto no Excel com cores diferentes para cada eixo e assim isolando cada uma das unidades de análise que poderiam se encaixarem em cada um deles. Cada unidade de análise, para ser submetida a classificação necessita estar isolada (MORAES,1999). Após a constituição das unidades, outra etapa significativa é a descrição, período no qual o pesquisador faz sua primeira difusão dos resultados da pesquisa.

Durante a etapa da categorização houve o agrupamento de dados considerando o que havia de comum entre eles. Obedecendo os critérios das categorias de análise de conteúdo propostos por Moraes (1999), as categorias necessitam ser válidas, pertinentes ou adequadas; o segundo critério é o da exaustividade ou inclusividade e, também, devem atender o critério da homogeneidade e além disso ainda deve atender ao critério de exclusividade ou exclusão mútua e finalmente ao critério da objetividade, consistência ou fidedignidade.

Na etapa da descrição ocorreu depois de definidas as categorias e identificados o material. Momento em que foi iniciado a produção de um texto síntese para cada um dos eixos propostos por Sasseron e Carvalho (2011). Depois da descrição prosseguiu-se para a quinta etapa, que é a da interpretação. Neste

ponto, buscou-se dar um passo adiante para alcançar um entendimento mais completo e uma percepção mais “aprofundada do conteúdo das mensagens mediante inferência e interpretação” (MORAES, 1999, p. 24).

Utilizou-se categorias a priori, compostas pelos 3 eixos estruturantes de Sasseron e Carvalho (2011). O primeiro desses três eixos estruturantes refere-se à compreensão básica de termos, conhecimentos e conceitos científicos fundamentais; O segundo eixo preocupa-se com a compreensão da natureza das ciências e dos fatores éticos e políticos que circundam sua prática; O terceiro eixo estruturante da AC compreende o entendimento das relações existentes entre ciência, tecnologia, sociedade e meio-ambiente, Sasseron e Carvalho (2011), como já discutido no capítulo de referencial teórico. Esses eixos constituem as categorias de análise que foram utilizadas para a discussão dos resultados desta dissertação.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo apresenta-se os resultados e discussões da pesquisa realizada nesta dissertação. Na *primeira seção* apresenta-se a descrição da aplicação do produto educacional na turma, dividindo-se essa descrição nas três etapas do Ensino de Física Através de Temas (EFAT), já descritos no referencial teórico: Apresentação, Aprofundamento e Produção-Avaliação. Na *segunda seção* apresenta-se a análise da experiência, construída a partir da metodologia da Análise de Conteúdo (MORAES, 1999), amparando as discussões no referencial teórico da Alfabetização científica Sasseron e Carvalho,(2008, 2010 e 2011); Chassot, (2003); Auler e Delizoicov (2001); Lorenzetti e Delizoicov (2001); Silva e Carvalho,(2007); Siemsen e Lorenzetti, (2018); Rosa e Martins, (2007), entre outros.

5.1 Descrição da aplicação do produto educacional

A aplicação do produto educacional ocorreu nas três etapas sugeridas por Brito (2004) e Brito e Gomes (2007), sobre as quais discorre-se abaixo.

5.1.1 1ª etapa: apresentação do tema

Como tratado no capítulo teórico, a apresentação do tema deve ocorrer sem aprofundamento em conhecimentos físicos e “sua finalidade é despertar a curiosidade por eles a partir de um contexto, local ou regional, familiar ao estudante” (BRITO; GOMES, 2007). Assim, esta primeira etapa da implementação da proposta ocorreu no dia 22 de outubro de 2021, no período da manhã, em 6 aulas de 45 minutos (4,5 h).

Após a saída da diretora nesse primeiro dia, foi dado início à *Apresentação* do tema, com auxílio do professor, por meio de slides, primeiramente com uma breve apresentação pessoal e da orientadora do trabalho, bem como da instituição e objetivos da pesquisa. Os trechos do texto motivador foram colocados nestes slides para uma leitura coletiva.

Foi iniciada então a apresentação do tema, mas antes de entrar de fato na leitura do texto tentou-se deixar os estudantes mais à vontade, foi feito um comentário sobre um temporal que ocorrera na cidade na noite anterior. Perguntado

aos alunos se haviam observado que ocorreram muitos raios e trovões naquela noite. Ainda tímidos, responderam que sim e alguns disseram que inclusive têm medo dos trovões.

Após essa breve exposição, foi dito que na região Norte ocorrem muitas tempestades e conseqüentemente muitos raios, relâmpagos e trovões e foi feito o questionamento *“por que será que isso acontece?”*. Foi pedido que os alunos pensassem e respondessem depois, pois ainda estavam muito tímidos; apenas olhavam sem nada dizer. Voltou-se então para apresentação do tema, mostrando os trechos do texto motivador acompanhado de figuras, por meio dos slides. Falou-se que se tratava de uma proposta com tema regionalizado, devido as grandes incidências de tempestades na região Amazônica, na qual vivemos.

Foi informado aos alunos que seria disponibilizado o material da apresentação a todos em forma de livretos e que neste material havia o Guia de Atividades e textos que precisariam ler para a etapa de Aprofundamento. Foi solicitado que participassem, comentassem e questionassem, pois este seria o momento de leitura e conversa com relação ao tema. Mesmo depois de ter pedido isso, apenas observou-se os alunos calados, sem participarem.

Analisando esta situação, pode-se pensar o quanto deve ter sido estranho para aqueles estudantes o que se estava pedindo, pois na tradição da escola é o professor que deve trazer o que o aluno deve aprender. Nessa lógica do ensino tradicional, os alunos perguntam e o professor responde, então essa mudança de perspectiva de o professor pergunta e o aluno responde pode representar um dos grandes desafios a serem superados, como aponta Gomes (2008) ao aplicar uma proposta temática. O fato de termos passado tanto tempo sem aulas presenciais pode também ter dificultado esse diálogo.

Foi requerido então que eles respondessem ao questionário de conhecimentos prévios, e que o fizessem da maneira mais sincera possível, da maneira que sabiam, pois serviria como base de análise para saber se obteve-se êxito na apresentação do produto, nos objetivos. A intenção também era “estabelecer uma “intimidade” entre os saberes curriculares fundamentais aos alunos e a experiência social que eles têm como indivíduos” (FREIRE, 1996, p. 30). Assim, orientou-se que não pesquisassem na internet usando celulares, pois como professora da educação básica sabia que era uma prática comum entre eles.

Depois de repassadas as orientações foi solicitada a ajuda do professor da turma para distribuição do questionário a cada aluno. No entanto, percebeu-se que alguns tentaram pesquisar, outros ficaram inquietos, por quererem responder da maneira “correta”. Foram feitos muitos questionamentos à medida que o tempo passava e eles não conseguiam responder e a todo custo querendo olhar as respostas na internet usando o celular.

Possivelmente a constante punição pelo erro, que é característico do ensino tradicional, e o trabalho com respostas prontas tem feito os estudantes agirem assim, com receio de serem punidos caso não respondam corretamente, por mais que se tenha explicado que a intenção deste momento era levantamento de conhecimentos prévios. A necessária mudança de postura do professor e do estudante na implementação de uma proposta temática não é um processo fácil de se conseguir em um primeiro momento, mas a mudança gradativa parece ser possível, e necessária, conforme apontam algumas experiências com temas já implementadas, tais como Gomes (2008) e Soares (2018).

Foi então dado o tempo de uma hora para responderem ao questionário. Esgotado esse tempo, o professor da turma fez o recolhimento dos mesmos, e observou-se que vários alunos deixaram algumas perguntas em branco, talvez por medo novamente do erro, por não terem compreendido a função desse questionário ou por não conseguirem fazer relações do tema com o que já haviam estudado, já que os conceitos de carga elétrica e campo elétrico já haviam sido trabalhados em uma abordagem conceitual da Eletricidade.

Logo após, foram distribuídos mais um questionário, o de caracterização da turma. Todavia, os alunos foram orientados a entregarem em outro momento, já que o tempo era curto para a apresentação do tema. Vale ressaltar que para esse primeiro momento foram disponibilizadas apenas seis aulas, pois, devido ainda ser em um período delicado, de pandemia de Covid-19, os alunos estavam muito atarefados e tinham aulas de Física de 15 em 15 dias, o que dificultava uma programação para outras aulas em outros dias. Também alguns feriados que por coincidência ou não, ocorreram exatamente em dias das aulas de Física. Situações como essa é o que Gomes (2008) descreve como “Condicionantes estruturais e burocráticos” que tornam um desafio à implementação de uma proposta temática na escola, que exige uma continuidade dialogada com os estudantes.

Enfim deu-se início à leitura do texto motivador colocado nos slides, que tinha como ideia inicial a interação com os alunos. Pediu-se então ajuda do professor da turma para que fizesse a distribuição do material em forma de livreto, ao mesmo tempo que o professor falou sobre o Guia de Atividades, pediu que seus alunos o lessem atentamente. Esclareceu que postaria tanto os links dos vídeos e formulários, como o livreto em pdf nos grupos de Whatsapp® das turmas, bem como no Google Classroom®, apesar de pouquíssimos estudantes acessarem a plataforma, como foi apresentado na caracterização dos estudantes do capítulo metodológico.

O professor então ressaltou que a avaliação contaria como parte da nota para o terceiro bimestre, o que não deixava de ser uma estratégia adotada pelos docentes para fazer com que os estudantes participem das atividades, já que em geral no primeiro momento o que mobiliza a maioria dos estudantes para participarem é a possibilidade de aprovação por meio de uma nota, o que pode ser reflexo da ênfase quantitativa das avaliações escolares aplicadas tradicionalmente.

A apresentação feita pela pesquisadora e pelo professor pretendia ter a participação ativa dos estudantes, mas esse início foi desafiador por que eles não dialogavam. Até que resolveu-se então esclarecer a eles que a pesquisadora não estava ali como detentora do saber, mas sim como alguém que ao mesmo tempo que ensina, também tem a possibilidade de aprender. O cenário foi mudando à medida que apareciam situações que eles tinham vivenciado. Dessa maneira, aos poucos os alunos iam manifestando suas opiniões, relatos de alguns acontecimentos no interior, falas de seus avós, mitos e etc. Foi notado na fisionomia de alguns que o tema chamou a atenção deles, pois começaram a se envolver e fazer alguns questionamentos. Naquela ocasião, a vontade era de responder logo aos questionamentos, pois **superar a centralidade docente** é um dos desafios da proposta temática (GOMES, 2018).

Essa representava uma primeira oportunidade para que a pesquisadora e o professor da turma vivenciassem uma metodologia ativa como o Ensino de Física Através de Temas, como professores, e estavam aprendendo juntos e com os estudantes a superar os desafios que se apresentavam. Percebeu-se num dado momento que o professor da turma quis responder, mas foi alertado para que não desse respostas nesse primeiro momento, como indicava Brito (2004). Ele não pareceu concordar, mas respeitou. Isso nos remete ao que Perrenoud (1999) traz sobre a mudança de ofícios do professor e do aluno, pois estes “são colocados a

todo momento em situações de risco e incerteza e isso assusta ambos” (PERRENOUD, 1999, p.17), por isso encontrou-se resistência.

Notou-se que os alunos começaram a participar quando se começou a ler alguns questionamentos, sobre cobrir os espelhos. Alguns deles até disseram que suas mães têm o hábito de mandar cobrir os espelhos quando está caindo raios. Questionou-se então se achavam que havia alguma explicação científica para isso e alguns disseram sim, outros não, outros não sabiam. Dando continuidade, o professor fez a leitura dos outros questionamentos do texto motivador: *se um raio pode cair duas vezes no mesmo lugar, se estamos protegidos dentro de casa, se embaixo de árvores é um bom abrigo para se proteger de raios, se raios só caem em lugares altos e se é preciso desligar os equipamentos da tomada em caso de tempestades com raios.*

Quanto à pergunta sobre os raios caírem duas vezes no mesmo lugar, muitos comentaram ser impossível, mas sempre era feito o questionamento: *será?* Ao lerem o questionamento sobre árvores serem ou não bons locais para se abrigarem num dia de tempestades, ficaram na dúvida, mas o que sempre se observou foi a vontade do professor titular em dar a resposta e dos alunos em querer que ele respondesse, de maneira geral, a cada pergunta que suscitava a dúvida neles, percebia-se essa vontade de resposta imediata. Um aluno inclusive chegou a dizer que não estávamos dando as respostas porque não sabíamos. Percebemos, professor da turma e eu, o quanto foi difícil manter o controle e não responder as questões dos alunos naquele momento, superar a centralidade docente (GOMES, 2008).

Continuando a apresentação, foi lida a parte do texto que trata sobre a realidade local de muitos, como na Comunidade de Bela Vista do Rio Curuá, sobre as instalações das torres do linhão que passam pelos terrenos de vários colonos, que são pais, mães, tios e ou conhecidos de muitos alunos da turma. A maioria relatou que já viu essas torres no interior. Alguns até disseram ver raios sendo atraídos por tais torres. No entanto, ao serem questionados sobre algum fundamento científico, o silêncio foi a resposta. Talvez esse silêncio representasse o receio de comentar sobre o tal “conhecimento científico” que parece ser “de domínio exclusivo de um grupo de especialistas” (SANTOS; MORTIMER, 2001). Esse cenário nos mostra o quanto é importante que os jovens conheçam e se aproximem mais do

conhecimento científico, ou seja, a importância de serem alfabetizados cientificamente.

Quanto ao questionamento sobre os bois, cavalos, e carneiros correrem mais perigos que humanos, a resposta da maioria foi porque estavam em um campo aberto, porque não pensam igual aos humanos para correrem, porque ficavam próximos às cercas, entre outras explicações. Uma das alunas até comentou que quando está chovendo e escuta os trovões, se sua irmã está com tolices, ela diz que é o papai do céu está zangado com ela. Também relatei que já havia falado isso várias vezes para minha filha enquanto trovejava. Foi iniciada então a leitura sobre os mitos, a religiosidade, as crenças que ao longo da história as pessoas usavam para explicar o fenômeno das descargas elétricas, o raio, desde os gregos antigos, romanos, indígenas, até nos dias atuais.

No momento da leitura sobre a pedra-de-raio, um aluno perguntou se realmente existe essa pedra. Respondi que as pedras existem e que muitos usam como amuletos e assim aproveitei para pedir que lessem o quadro que aparecia no texto motivador que discutia sobre amuletos e proteção, com informações retiradas do site do INPE. Novamente perguntei se poderia existir algum fundamento científico nessa pedra de raio. A resposta da maioria foi que talvez sim.

Por fim, discutiu-se, com base nas informações trazidas pelo texto (dados do INPE) que a grande incidência de raios no país causa muitas mortes. No entanto, 80% delas poderiam ter sido evitadas se as pessoas conhecessem as medidas de proteção. Essa informação visava fortalecer para os alunos a importância do tema.

Por fim, o professor da turma fez a leitura dos últimos questionamentos que aparecem no texto motivador e estavam presentes no levantamento de conhecimentos prévio e que seriam respondidos com as leituras e textos da fase de Aprofundamento: O que são os raios? Por que os raios quando caem produzem luzes e sons? Por que o raio segue um caminho todo torto? O que pode acontecer se um raio atingir um avião? Em um dia de tempestades com raios, que lugar(es) é/são mais seguro(s) para ficar? Qual o procedimento mais seguro a seguir caso um raio atinja um veículo e você esteja dentro? Por que no Brasil, em especial na região Norte, há maior incidência de raios?

O propósito de motivar os estudantes para o estudo do tema, função deste primeiro momento, parece ter se concretizado, apesar de no início o desafio de fazê-

los participarem do diálogo ter sido grande, mas como o tema estava relacionado à realidade que viviam, foi possível ultrapassar essa barreira e o diálogo se procedeu.

No final deste primeiro dia foram dadas orientações para os estudantes para a 2ª etapa de Aprofundamento. Assim, antes do próximo encontro deveriam ler o texto “A Física das tempestades e dos raios” da Revista Física na escola, algumas respostas a questionamentos selecionadas do capítulo 5 do livro “O circo Voador da Física” e a Cartilha do INPE de proteção contra raios, todos já inclusos no material impresso. Também foi indicado que assistissem aos três episódios da Série do Fantástico denominada “País dos Raios” (2013), cujos links também se encontravam no material impresso e os links também foram disponibilizados no *Google Classroom* e nos grupos de Whatsapp (Ver produto educacional no Apêndice A).

Os estudantes foram orientados que anotassem suas dúvidas e pontos que lhes chamassem atenção ao assistirem os vídeos e lessem os textos. Foi informado também que poderiam sanar suas dúvidas perguntando nos grupos de Whatsapp das respectivas turmas, interagindo com os professores e demais estudantes.

5.1.2 2ª Etapa: aprofundamento

Esta é a etapa em que deve-se aprofundar os conhecimentos que respondem aos questionamentos que foram levantados na primeira etapa (Apresentação do tema) e “Nesta segunda etapa são feitos os detalhamentos, à luz dos conceitos e princípios físicos. Nesse momento o conhecimento científico formal é utilizado no contexto que provocou sua necessidade” (BRITO, 2004. p. 1).

Esta segunda etapa da implementação da proposta ocorreu uma semana depois do primeiro encontro, no dia 29 de outubro de 2021, no período da manhã, em 6 aulas de 45 minutos.

Logo no início da aula foi perguntado aos alunos se haviam seguido as orientações do guia de atividades repassadas nas aulas anteriores. Para surpresa da pesquisadora, a resposta foi que não assistiram os vídeos e nem leram os textos, alegando estarem super atarefados com outras atividades. Isso gerou tristeza, pois o objetivo era que já tivessem uma base para as discussões nessa fase de Aprofundamento. Todavia, como o planejamento tem que ser flexível e os vídeos estavam salvos no computador, bem como os textos, foi proposto que primeiro assistissem os vídeos e após isso tivéssemos um momento de conversa.

Após assistirem, o professor perguntou à turma se os vídeos já esclareciam algumas dúvidas. Muitos disseram que sim, dúvidas como a de que se um raio poderia ou não cair duas vezes no mesmo lugar, ou se espelhos atraem ou não raios. Também disseram que traziam respostas a outros questionamentos feitos no primeiro momento. Apesar de parecerem instigados por várias vezes a falar, comentar, perguntar, foi notada ainda timidez persistente em alguns alunos, mas também identificou-se que aqueles que assistiram com atenção já conseguiam responder aos questionamentos propostos. Em seguida, logo após terem assistido aos episódios, foi dado um tempo para a leitura dos textos, e, seguindo o Guia de Atividades, solicitou-se que respondessem aos questionários de aprofundamentos 1 e 2.

Aproveitando o ensejo, continuou-se com a etapa de Aprofundamento fazendo uma apresentação em slides (Apêndice A), quando foi-se respondendo alguns questionamentos que apareceram na apresentação do tema e nos vídeos. Para isso, foram utilizados os textos que foram disponibilizados no livreto já distribuídos aos alunos e aproveitou-se o momento para responder a alguns questionamentos feitos na Apresentação do tema, como se um raio pode cair duas vezes no mesmo lugar, sobre cobrir os espelhos, sobre não utilizar o celular conectado a tomada durante um dia de tempestade, e sobre qual o melhor local para se proteger de um raio, entres outros. Ainda, falando em proteção dos raios, o professor titular contribuiu falando que a escola possui três para-raios, o que foi surpresa para muitos alunos. Isso gerou a oportunidade para falar também sobre o poder das pontas.

Notou-se que os alunos observavam atentos, mas não questionavam. Foi então que foram instigados a participarem, informando novamente que se tivessem alguma dúvida poderiam perguntar. Poucos perguntaram algo, enquanto a maioria continuava tímida e em silêncio. Apenas um dos estudantes se destacou, pela sua participação e questionamentos frequentes. No entanto, foi notado que no decorrer do aprofundamento do tema que os alunos passaram a reconhecer nos fenômenos, mesmo que de forma difusa algumas vezes, os conceitos físicos de carga elétrica, campo elétrico, diferença de potencial elétrico e rigidez dielétrica do ar, já que muitos desses conceitos já haviam sido trabalhados em aulas anteriores pelo professor titular. O professor também aproveitou a oportunidade para revisar os conceitos dentro do contexto do tema enquanto os slides de aprofundamento estavam sendo

apresentados.

Aproveitou-se este momento para mais uma vez falar sobre o Ensino de Física Através de Temas, que por meio deste conseguimos chegar aos conceitos, de forma mais leve e dando sentido a eles. Considera-se que isso foi um ponto importante para que eles percebessem que há maneiras diferentes de ensinar, que a física não é o bicho papão que todos acham, que é uma ciência importante e que está em nosso cotidiano, basta termos um olhar diferenciado.

Por fim, foram dadas orientações de como seria a última etapa de Produção-avaliação, pois conforme combinado com o professor da turma, as atividades realizadas serviriam para avaliação do terceiro bimestre. Como atividade final foi proposto que, organizados em equipes de 5 integrantes, gravassem um experimento e enviassem o vídeo pelo grupo de Whatsapp. Também foi orientado para produzirem individualmente uma carta destinada a um parente ou um amigo contando o que aprenderam na disciplina. Após as orientações passou-se a responder algumas questões da lista de exercícios de física. Com facilidade os estudantes responderam às três questões proposta, pois as respostas das mesmas estavam nos vídeos que assistiram. A aula então finalizou e foi dado um aviso aos estudantes, salientando a importância de fazerem a avaliação e agradecendo a participação de todos.

5.1.3 3ª Etapa: Produção- Avaliação

A fase da Produção-avaliação foi orientada e acompanhada pelo professor da turma via grupo de Whatsapp e encontros presenciais sempre que havia aula. Para a produção dos vídeos com experimentos relacionados ao tema, os estudantes tiveram dificuldades de encontrá-los, além de relatarem sobrecarga de atividades com outras disciplinas na escola. Diante disso, foi feita uma nova proposta às equipes, que tentassem elaborar os vídeos com o que haviam aprendido durante as aulas, com orientações para as pessoas sobre os riscos e como se protegerem das descargas elétricas atmosféricas.

É importante destacar, que apesar dessa etapa ser chamada de Produção-avaliação, os alunos já estavam sendo avaliados em etapas anteriores e os questionários de aprofundamento 1 e 2 já eram instrumentos que buscavam

identificar se estavam aprendendo e demonstrando indícios de Alfabetização científica.

Foram entregues 16 cartas produzidas individualmente pelos estudantes, bem como 7 vídeos produzidos individualmente ou em equipe. As produções foram entregues via Whatsapp para o professor da turma, 15 dias após as orientações.

Nas próximas seções apresenta-se análises dessas produções que buscam responder à questão central de investigação.

5.2 Análise das cartas em articulação com questionários

Nesta seção serão analisadas as 16 cartas elaboradas pelos estudantes da turma. Nelas serão buscados elementos dos quais pode-se inferir que os estudantes estão adquirindo habilidades importantes para o desenvolvimento da Alfabetização científica, fazendo também comparações com as produções dos estudantes em outras etapas da proposta temática, como durante o levantamento de conhecimentos prévios e aprofundamento do tema. As categorias apresentadas referem-se aos 3 eixos estruturantes da Alfabetização científica de Sasseron e Carvalho (2008, 2010, 2011) que foram apresentados no referencial teórico¹⁸. Busca-se respostas para a questão de investigação apresentada na introdução: **Que elementos emergem da aplicação de uma proposta temática regionalizada que podem sinalizar contribuições para o processo de Alfabetização científica de estudantes do ensino médio?**

O Quadro 18, abaixo, resume a quantidade de produções desta terceira etapa da proposta temática.

Quadro 18 – Produções entregues da terceira etapa (Produção-avaliação).

Instrumento de avaliação	Quantidade
Carta	16
Vídeo	7

Fonte: A Autora (2022).

¹⁸ 1. Compreensão básica de termos, conhecimentos e conceitos científicos fundamentais; 2. Compreensão da natureza das ciências e dos fatores éticos e políticos que circundam sua prática; 3; Entendimento das relações existentes entre ciência, tecnologia, sociedade e meio-ambiente.

5.2.1 Eixo 1: compreensão básica de termos, conhecimentos e conceitos científicos fundamentais

As cartas de onze dos dezesseis estudantes que entregaram (D4, D6, D8, D10, D12, D13, D15, D16, D17, D21, D22) apresentaram elementos que podem sinalizar um processo de Alfabetização científica por apresentarem uma tentativa de “compreender conceitos-chave como forma de poder entender até mesmo pequenas informações e situações do dia-a-dia” (SASSERON; CARVALHO, 2008, p. 335).

Percebe-se na escrita dos estudantes que seis deles buscam principalmente descrever o que são os raios, caracterizando-os como descargas elétricas, e explicando por que surgem os relâmpagos e trovões, como nos trechos abaixo.

“Os raios são grandes descargas elétricas que ocorrem entre uma nuvem e o solo. Os trovões são os sons gerados por essas descargas e os relâmpagos são as luzes. Esse tipo de descarga elétrica aquece muito o ar, o ar superaquecido emite radiação, ou seja, os relâmpagos” (Carta D8)¹⁹.

“O raio é uma descarga elétrica e ocorre quando as nuvens estão carregadas e entram em atrito e fazem de tudo para descarregá-las” (Carta D12).

“(...) raio é a forma física, o relâmpago é a luz transmitida e o trovão é o som que escutamos (Carta D10).

“o raio é uma descarga elétrica que ocorre entre as nuvens carregadas de eletricidade e a terra. Mais precisamente entre a nuvem e o ponto mais próximo que esteja na Terra” (Carta D16).

“saiba que um raio é um relâmpago que atinge o solo. Essas são descargas atmosféricas de grande intensidade que ocorrem dentro das nuvens de tempestade, essas nuvens também são chamadas de cumulonimbus” (Carta D21).

“(...) Raio ou descarga elétrica atmosférica é uma descarga elétrica de grande intensidade que ocorre na atmosfera, entre regiões eletricamente carregadas e pode dar-se tanto no interior de uma nuvem, como entre nuvens e a terra“(...) (Carta D4).

Também foi percebido que os conceitos de *carga elétrica*, *corrente elétrica* e *poder das pontas* estiveram presentes em trechos de cartas dos estudantes, mesmo que de forma implícita algumas vezes:

“(...) Para que um raio possa ocorrer é necessário que exista cargas de sinais opostos entre as nuvens ou entre nuvens e o solo quando isso ocorre a atração entre as cargas elétricas” (Carta D22).

¹⁹ Os trechos cartas e dos questionários utilizados na análise foram citados com aspas e em itálico para melhor diferenciação das citações de referenciais teóricos.

“Os raios atingem e matam mais de forma indireta por meio de correntes que vem pelo chão ou por objetos próximos. Estar embaixo ou próximo de uma árvore é um grande perigo. Um raio também pode atingir diretamente e causar uma morte imediata se vocês tiverem uma área descampada sendo [o ponto] mais alto durante uma tempestade” (Carta D6)²⁰.

“Os raios em si como não tenho um caminho reto (alvo) mas tem o caminho mais fácil para acontecerem, lugares específicos o atraem como há árvores e estruturas altas” (Carta D17).

“(…) A maioria sobrevive porque são atingidas indiretamente, por uma faísca lateral ou porque estão próximas ou encostada no ponto que sofreu o choque direto” (Carta D16).

Percebe-se que os estudantes D6 e D17 deixam o conceito de “poder das pontas” implícito em suas escritas, mas descrevem características desse conceito que podem levar a uma pessoa estar mais vulnerável diante de situações de descargas elétricas atmosféricas.

D17 em um trecho da sua carta também apresenta elementos que nos levam a perceber uma certa compreensão sobre o conceito de quebra da *rigidez dielétrica do ar* discutido na etapa de Aprofundamento: “Os raios em si, não tem um caminho reto (alvo), mas tem o caminho mais fácil para acontecerem” (Carta D17). Analisando o questionário de conhecimentos prévios da estudante D17, percebe-se que nesse momento final já aparenta ter melhor clareza sobre por que o raio cai seguindo um caminho torto, já que naquela ocasião expressou que “Deve ser pela força que tem, e com grande intensidade elétrica” (QCP - D17).

Essa estudante inclusive deixou várias questões em branco no QCP e demonstrou insegurança quanto às perguntas se espelho atraía raios, se um raio poderia cair duas vezes no mesmo lugar e achava que metal atrai raios. Também não chegou a entregar as respostas aos dois questionários de aprofundamento, mas na carta, apresenta em sua escrita a tentativa de descrever no contexto do tema diversos fenômenos físicos, como podemos perceber no trecho abaixo.

“quero que você saiba que 80% dos raios tocam a Terra e esses são ascendentes(solo-nuvem) e descendentes (nuvem-solo) mas também existem aqueles que não tocam o solo, eles são três: Dentro da nuvem, da nuvem para o ar e de uma nuvem para outra. Quero que saiba, os raios ascendentes são mais raros, pois acontecem a partir de estruturas altas como arranha céus e torres, os raios e trovões não são causados pelo mesmo motivo, o que causa o trovão, na verdade, é o rápido aquecimento do ar pela corrente elétrica, e antes que me esqueça, se você quiser saber se um raio caiu perto é só começar a contar os segundos após o clarão e parar ao ouvir o trovão, aí você divide o valor obtido por três e terá a distância aproximada em quilômetros” (Carta D17).

²⁰ Os colchetes serão usados para complementar com pequenas palavras as ideias chaves trazidas pelos estudantes a fim de deixar a leitura mais clara, mas sem comprometer o sentido da ideia. Algumas vezes, quando foi necessário, entrou-se em contato novamente com os estudantes para ter certeza do que estavam tentando dizer.

Estão sendo analisados nesta seção trechos que sinalizam ideias de conceitos científicos em uma perspectiva *ampliada* (AULER; DELIZOICOV, 2001), pois os estudantes foram estimulados a pensarem nos conceitos não apenas sob um ponto de vista técnico, mas como meios para compreensão de temas socialmente relevantes e os trechos apresentados das cartas vão ao encontro dessa ideia, demonstrando que a proposta desenvolvida apresenta elementos que contribuem para o processo de Alfabetização científica.

Uma das estudantes parece não ter se dado conta até aquele momento como alguns conhecimentos científicos sobre raios poderiam ser tão úteis em sua vida e na de outras pessoas, pois ressalta que “não imaginávamos ser tão importante para o nosso aprendizado” (Carta D8).

O estudante D12 também comenta em seu texto sobre a necessidade das pessoas conhecerem mais sobre o tema:

“Meu querido amigo, através desta carta venho lhe orientar sobre um assunto que quase ninguém sabe, se sabem são pessoas que se esforçam para saber sobre. Durante dois dias de aula tive uma palestra sobre o assunto “raios, trovões e relâmpagos”; até lá não sabia nada do assunto e no decorrer destas duas aulas [pude] saber um pouco mais e discutir o assunto entre amigos” (Carta D12).

Nas cartas destes dois estudantes percebe-se a valorização do conhecimento científico para suas vidas. Quando o estudante D12 diz que “não sabia de nada”, possivelmente refere-se à sua falta de clareza de algumas situações demonstrada no questionário de conhecimentos prévios. No entanto, retomando às respostas de D12 naquele momento inicial, percebe-se que este estudante já trazia alguns conhecimentos prévios de que o conceito de carga elétrica poderia estar associado ao relâmpago, que um bom lugar para se proteger de raios é dentro de uma casa e que a maior incidência de raios no Brasil se dá por conta do clima quente. Mas por outro lado, acreditava que um avião atingido por um raio explodiria, que era pouco provável um raio cair duas vezes no mesmo lugar, que uma forma segura de sair do carro, caso fosse atingido por um raio, era “sair do veículo de forma lenta sem tocar na lataria externa” (QCP D12), que um raio quando caía seguia um caminho todo torto “por estar caindo de uma altura bem elevada” ou que o espelho atrai raios.

No questionário 2 de Aprofundamento esse estudante relembrou como havia respondido uma dessas questões inicialmente e apresentou o que aprendeu “Os raios sempre tentam encontrar o caminho de menos resistência à medida que

descem até o solo" (Q2 D12). Outras concepções alternativas apresentadas por D12 no questionário de conhecimentos prévios também tiveram a oportunidade de serem discutidas tanto na exposição dialogada com os professores quanto nos textos e vídeos da fase de aprofundamento.

Nas cartas analisadas e nos questionários de aprofundamento respondidos pelos estudantes percebeu-se uma ausência de conceitos de Campo elétrico, potencial elétrico na explicação dos fenômenos, o que pode demonstrar uma necessidade de maior aprofundamento desses conteúdos conceituais com as turmas, já que são fundamentais para a compreensão do tema.

No entanto, assim como Zabala (1999) considera-se nessa análise que os conteúdos conceituais não são apenas os conceitos, mas também os fatos e princípios, o que pode ser identificado na escrita dos estudantes. Assim como Maestrelli e Lorenzetti (2021, p. 15) entende-se que há necessidade de propostas para o ensino de Ciências, como a Física, que se preocupem “com as outras dimensões do saber, para além dos conteúdos meramente conceituais (...) [pois] “ensinar conceitos, fatos e princípios não são suficientes para fazer com que alguém reflita sobre suas atitudes, escolhas e decisões”. No entanto, é possível perceber nos elementos trazidos na discussão deste eixo estruturante, que em uma proposta temática é possível trabalhar os conteúdos conceituais de forma articulada com procedimentos e atitudes. Na próxima seção será discutido o segundo eixo no qual esses conteúdos procedimentais e atitudinais aparecem com maior clareza.

5.2.2 Eixo 2: compreensão da natureza das ciências e dos fatores éticos e políticos que circundam sua prática

As cartas de quatorze dos dezesseis estudantes (D1,D2,D4,D6,D7,D8,D10, D12,D15,D17,D18, D20, D21, D22,) sinalizam atributos de Alfabetização científica por que parecem apresentar

(...) a ideia de ciência como um corpo de conhecimentos em constantes transformações por meio de processo de aquisição e análise de dados, síntese e decodificação de resultados que originam os saberes. Fornece subsídios para que o **caráter humano e social das investigações científicas sejam colocados em pauta**. Além disso, deve trazer **contribuições para o comportamento assumido por alunos e professor sempre que defrontados com**

informações e conjunto de novas circunstâncias que exigem reflexões e análises considerando-se o contexto antes de tomar uma decisão (SASSERON; CARVALHO, 2008, p. 335, grifo nosso).

Nota-se na escrita dos estudantes que ao se “defrontarem com novas informações que demandam novo contexto, pode-se encontrar contribuições para resolução de problemas do dia-a-dia que circundam conceitos científicos ou conhecimentos vindos deles” (SASSERON; CARVALHO, 2008, p. 335). É o caso da escrita de alguns estudantes:

“Irei citar agora alguns cuidados quando estamos fora de casa durante uma [tempestade]: Afaste-se das árvores e terrenos abertos; Não permaneça em piscinas rios e lagos; Se estiver dirigindo, permaneça no carro; Afaste-se de cercas de arame, varais metálicos.

Quando estamos dentro de casa, ainda assim corremos risco de pegar uma descarga elétrica. Contudo, vai aí algumas dicas: Procure ficar em casa até passar a tempestade; Evite usar o celular; Evite contato com qualquer objeto com estrutura metálica, inclusive torneiras” (Carta D1).

“Uma das maneiras de proteção é ficar dentro de um carro fechado, por mais que o carro tenha metal ele protege de recebermos a carga elétrica. Outra forma de você se proteger se estiver em algum lugar aberto e sem nada em volta, é se agachar e ficar bem encolhido ou se deitar, pois o raio procura o ponto mais alto e assim ele não irá te atingir” (Carta D8).

Percebe-se que nestes trechos os alunos apresentam algumas orientações para que as pessoas, cujas suas cartas são destinadas, tenham cuidados em dias de temporal, demonstrando assim preocupações, caráter humano, social, a partir dos conhecimentos adquiridos acerca dos raios, relâmpagos e trovões. Percebe-se assim que estes estudantes conseguem utilizar dados científicos aprendidos para fazer previsão e dar explicações, ou seja, buscam um entendimento da situação analisada e expor por meio da escrita, utilizando para isso a argumentação, o que vai ao encontro do 3º indicador de alfabetização científica apresentado por Sasseron e Carvalho (2008; 2010). Essa é uma forma dos estudantes organizarem o pensamento de uma forma lógica e objetiva para a compreensão de um fenômeno natural (SASSERON; CARVALHO, 2008).

Quanto a esse fator coletivo da alfabetização científica, Fourez (2003, p. 114) diz que

A tradição de nosso ensino pensa espontaneamente em educar o indivíduo. É geralmente desta forma que a escola espera fazer de cada aluno um cidadão. Concretamente, todavia, nunca é inteiramente só que se afronta a realidade, mas também em grupo, em comunida

de humana, em sociedade organizada(...). O sujeito da alfabetização científica não é mais o indivíduo isolado, mas o grupo.

Dessa forma, percebe-se que a estratégia da carta torna-se uma possibilidade de estimular nos estudantes o pensamento coletivo, para que o processo de alfabetização científica possa chegar aos outros também, especialmente com relação a esse tema, já que não saber como se proteger de forma correta pode custar-lhes a vida. Pode-se também analisar que essa é uma forma dos estudantes serem estimulados a compartilhar seus conhecimentos, como faz a comunidade científica.

É importante destacar que há 4 procedimentos bastante explorados na escrita desses quatorze estudantes que merecem ser discutidos: 1. o uso de telefones, se é seguro ou não durante tempestades com raios (9 estudantes); 2. deitar ou não no chão quando estiver em local aberto (4 estudantes); 3. por que não se deve ficar próximo de metais (10 estudantes) e 4. cobrir ou não o espelho faz diferença durante uma tempestade com raios (2 estudantes).

Sobre o primeiro procedimento (1. o uso de telefones, se é seguro ou não durante tempestades com raios), percebe-se que no trecho acima da carta de D1 quando ela diz “evite usar o celular”, bem como na carta de D4 quando diz: “não usar equipamentos elétricos ou telefone” e na carta de D12 (...) [que] ficar no celular durante uma tempestade fazia mal, mas isso não passa de mito”, elas não comentam que o uso desses equipamentos só é perigoso se tiver conectado à tomada, o que acaba por reforçar o mito de nunca usar telefone durante tempestades. Mas outros seis estudantes especificam melhor essa situação, demonstrando clareza sobre os procedimentos seguros durante tempestades, como foi trabalhado na fase de Aprofundamento do tema:

“não utilizar telefone em tempo chuvoso conectados ao carregador” (D2).

“O que você não pode fazer sobre os riscos de uma tempestade: (...) Falar ao telefone com fio ou utilizar celular conectado ao carregador” (D6).

“não usar o celular na tomada” (D7).

“nada de celular com carregador na tomada” (D10).

“segundo especialistas não há perigo em utilizar o smartphone durante uma tempestade. O risco é manuseá-lo diante dessa situação enquanto estiver no carregador” (D15).

“procure não falar ao telefone durante o carregamento” (D17).

Sobre o segundo procedimento (2. deitar ou não no chão quando estiver em local aberto), nota-se que no trecho da carta de D8 quando ela diz que no caso de estar em campo aberto para se proteger de raios em tempestades, deve-se *“ficar bem escondido encolhido ou se deitar”*, o que ela reforça é um erro de senso comum ao indicar que uma pessoa deve se deitar, ignorando o fato de correntes provocadas pelo raio poderem atingir a pessoa em órgãos vitais ao serem transportadas pelo chão, podendo levá-la à morte. Assim, esse não é um procedimento recomendado por especialistas, mas uma possibilidade é juntar os pés para reduzir a diferença de potencial entre um pé e outro e agachar-se para minimizar o poder das pontas. D4, D6 e D18 ressaltam essa importância de: *“Não se deitar no chão” (Carta de D4), “Não fique deitada” (Carta de D6), “Não deite no chão, durante a tempestade” (Carta de D18).*

Aparentemente alguns estudantes, em determinados aspectos, ainda não conseguiram migrar do senso comum para o conhecimento científico, pois como ressaltam Lopes (1996) amparada em Gaston Bachelard, *“amalgamados aos conhecimentos, estão os preconceitos, as imagens familiares, a certeza das primeiras idéias”* (LOPES, 1996, p. 265), especialmente com relação ao tema raios, que sempre tem algum mito associado ao fenômeno e os escutamos desde a infância.

Por outro lado, Bachelard (1947, p. 250) também *“(...) defende que precisamos errar em ciência, pois o conhecimento científico só se constrói pela retificação desses erros”* (Ibidem, p. 252). Dessa forma, podemos dizer que a valorização do erro é um primeiro passo para que os estudantes compreendam como se dá o desenvolvimento da Ciência, desde que esse erro seja superado futuramente, pois *“o conhecimento científico se estrutura através da superação desses erros, em um constante processo de ruptura com o que se pensava conhecido”* (Ibidem, p. 259).

Sobre o terceiro procedimento (3. por que não se deve ficar próximo de metais), 10 estudantes comentaram sobre ele, como foram os casos de D1, D2, D6, D7, D17 e D21, como são apresentados abaixo.

“Evite contato com qualquer objeto com estrutura metálica, inclusive torneiras” (Carta de D1).

“[Não] busque abrigo perto de árvores nem perto de cercas de arame” (Carta de D2).

“O que você não pode fazer sobre os riscos de uma tempestade: Ficar próximo a varal de metal, antena ou portão de ferro...E se não houver nenhum abrigo seguro por perto, se afaste de qualquer. Mais alto e de objetos metálicos” (Carta de D6).

“primeiro se afaste de cercas e tudo que é de metal” (Carta de D7).

“você pode se ferir se estiver próximo, ao objeto atingido por um raio ou com alguma peça de metal no corpo aumenta os riscos de queimadura” (Carta de D17).

“Por isso peço que durante tempestades não fique perto de cerca de arame” (Carta de D21).

Na carta de D13 aparece uma concepção de senso comum de que ficar próximo de metais é perigoso porque ele atrai raios, quando escreve *““(...) você não deve possuir objetos metálicos nas mãos durante uma tempestade, pois esses metais atraem os raios” (D13).* Isso não fica claro como os demais que citam a situação entendem o porquê é perigoso, como podemos perceber nos trechos acima citados. No entanto, sabe-se que os metais oferecem perigo porque são bons condutores elétricos, como ressalta D15 *““não manuseie objetos metálicos que são excelentes condutores elétricos” (D15)”* e atraem com mais facilidade apenas se tiverem um formato de ponta em virtude do fenômeno “poder das pontas”, como parece ser percebido D4 quando escreve *““não segurar objetos metálicos longos como exemplo vara de pescar e etc” (D4).* Também é possível perceber na escrita de D8 uma compreensão sobre o fenômenos da blindagem eletrostática quando diz *“Uma das maneiras de proteção é ficar dentro de um carro fechado, por mais que o carro tenha metal, ele protege de recebermos a carga elétrica” (D8).*

Percebe-se assim que esses 10 estudantes usam conhecimentos científicos para justificar procedimentos seguros para a pessoa que receberá a carta, ou seja, a partir do conhecimento científico, fazem reflexões, justificam e dão explicações para uma possível tomada de decisão, o que vai ao encontro do terceiro indicador de Alfabetização científica proposto por Sasseron e Carvalho (2008).

Sobre o quarto procedimento (4. se cobrir ou não o espelho faz diferença durante uma tempestade com raios), dois estudantes apresentam em suas cartas os mitos associados a essa atitude e ressaltam, com base nas suas aprendizagens,

que esse procedimento não tem fundamento científico, como podemos ver nos trechos abaixo.

“Sobre a sua avó mandar colocar um pano nos espelhos, não se preocupe, isso não tem fundamento científico, são apenas coisas criadas pelos nossos antepassados” (Carta de D10).

“Nossos parentes mais antigos sempre nos falavam [que] tapar espelhos ou ficar no celular durante uma tempestade fazia mal, mas isso não passa de mito” (Carta de D12).

Apesar deste procedimento ter sido descrito na carta por apenas 2 estudantes, ao longo da aplicação da proposta esse foi um dos procedimentos mais comentados, pois está intimamente relacionado com a cultura local que muitos estudantes já tinham como inquestionável, como foi possível perceber no levantamento de conhecimentos prévios, quando 6 estudantes acreditavam que estava correta a afirmação: “espelhos atraem raios” (D1, D4, D8, D12, D13 e D15) e outros 6 estudantes ficaram em dúvidas quanto a resposta (D5, D6, D7, D9, D16, D17). Já nos dois questionários de aprofundamento, novamente a situação aparece para outros alunos, que se surpreendem pelo fato desse procedimento não ter fundamento científico, como apresentado nos trechos abaixo.

“O hábito [é de] quando começam as tempestades algumas pessoas, como idosos ou até mesmo os jovens, (...) cobrirem "os espelhos [porque] atraem os raios". No meu ponto de vista, pensei que essa afirmativa fosse verdadeira, porém [é] mito” (Questionário 1 - D1).

“O que me surpreendeu foi o fato de não precisar tapar o espelho com pano” (Questionário 1 - D4).

“Uma pergunta do questionário que chamou mais a minha atenção foi a que perguntava se espelhos atraem raios e no vídeo que foi assistido eu compreendi que espelhos não podem atrair raios” (Questionário 1 - D21).

“Espelhos atraem raios? Não, a crença surgiu na época em que os espelhos tinham grandes molduras metálicas, elas sim umas grandes atrativas para os raios” (Questionário 2 - D5).

Como estamos trabalhando com um tema em uma perspectiva regionalizada, é normal que apareçam concepções de senso comum com frequência, o que por um lado pode representar um obstáculo epistemológico para a apropriação do conhecimento científico, como discute Bachelard (1947 apud LOPES, 1993), mas por outro lado ao se problematizar situações como essa se inicia um processo de ruptura com ideias do realismo ingênuo do senso comum, já que esse senso comum é um pensamento necessariamente conservador, fixista, na linha descontinuísta e

há necessidade de rompermos com ele para construirmos o conhecimento científico (LOPES, 1993).

A história dos espelhos se aproxima da ideia de senso comum e não de saber popular, pois o senso comum não é exclusivo das classes populares, ou seja, tem um caráter *transclassista*, que fazem parte tanto das classes dominantes quanto das dominadas (LOPES, 1993), o que podemos perceber nesse contexto. Esse procedimento cultural de cobrir os espelhos em épocas de tempestades é percebido nas reportagens de vários lugares do Brasil e em várias classes sociais.

Por outro lado, entender a natureza da Ciência é também se dar conta que o conhecimento científico é permeado de senso comum e precisa ser superado a todo momento, o que vai ao encontro desse segundo eixo estruturante de Alfabetização científica de Sasseron e Carvalho (2008).

A carta possibilita expressar por meio da escrita conhecimentos adquiridos a partir de um estudo sistemático, assim como os cientistas fazem ao exporem suas descobertas por meio dos artigos científicos. Assim, os estudantes estão exercitando uma habilidade que é importante para que compreendam como o conhecimento científico é elaborado a partir de teorias divulgadas em fontes confiáveis e já analisadas por pares ou que seja uma hipótese plausível aceita pela maioria da comunidade científica que dá conta de responder algumas situações.

Transferir para outra pessoa o que vem aprendendo sobre uma família de situações (o que é a ideia da carta), utilizando para isso os conhecimentos adquiridos relacionados à Ciência, é uma competência importante adquirida pelos grupos alfabetizados cientificamente e tecnicamente, como ressalta Fourez (2003).

É possível perceber nos elementos trazidos na discussão deste eixo estruturante que em uma proposta temática, como a que aqui se apresenta, com foco na alfabetização científica, tem articulações entre Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente que possibilitam uma “visão crítica e humanista da forma como as tecnologias (e mesmo as tecnologias intelectuais, que são as ciências) moldam nossa maneira de pensar, de nos organizar e de agir” (FOUREZ, 1994, p. 26). Essas questões serão melhor discutidas na próxima categoria.

5.2.3 Eixo 3: entendimento das relações existentes entre ciência, tecnologia, sociedade e meio-ambiente

As cartas de seis dos dezesseis estudantes (D1, D8, D12, D13, D16, D18) apresentaram elementos que podem sinalizar um processo de Alfabetização científica por apresentarem uma tentativa de “reconhecimento de que quase todo o fato da vida de alguém têm sido influenciado, de alguma maneira, pelas ciências e tecnologias” (SASSERON; CARVALHO, 2008, p. 335). Podemos perceber esses elementos nos trechos abaixo.

“Mesmo com tantos alertas no rádio, na TV e em diversas mídias, muitos ainda se machucam ou perdem a vida por procedimentos errados durante as tempestades com raios” (Carta D1).

“Enfim, quero lhe dizer "orientar" você sobre este assunto porque não é uma coisa qualquer. Um raio cai em um lugar e causa danos ou até mesmo mortes por uma descarga” (Carta D12).

“E isso acaba gerando muitos riscos para nós. O Brasil é o país que mais caem raios no mundo inteiro, são mais de 100 mortes por ano e claro também deixa muito prejuízo no país, com o valor de bilhões” (Carta D8).

“A falta de para-raios época de temporais pode representar sérios prejuízos pois a descarga elétrica de um raio sobre uma antena televisão, rádio, ou sobre o porte de equipamentos domésticos, eletrodomésticos computadores o raio representa também graves riscos para as pessoas principalmente aquelas surpreendidas debaixo de árvores ou em áreas descampadas ou ainda que estejam trabalhando próximo a estrutura metálicas por ano quase mil pessoas são vítimas de raios em todo o país não há uma estatística precisa” (Carta D16).

“Oi Érica, vim lhe ensinar a como se proteger de raios por conta de muitos casos de morte por raios fiquei preocupado, e também por conta das chuvas constantes” (Carta D13).

“Acabei de chegar, mas deparo com uma notícia, falando sobre um acidente, que um raio caiu em um homem, daí de Manaus(...)” (Carta D18).

Percebe-se nos trechos acima que os estudantes conseguem perceber a influência do que estão aprendendo de Ciências com impactos sociais e ambientais e alguns deles demonstram preocupação sobre essas situações, o que vai ao encontro da dimensão *Afetiva* da Alfabetização científica apresentada por Rosa e Martins (2007, p. 6) que está relacionada a “emoções, atitudes, valores e disposição para a alfabetização científica”.

O entendimento das relações existentes entre Ciência, Tecnologia, Sociedade e Meio-ambiente por parte dos estudantes no ensino por temas requer uma pluralidade metodológica, pois assim dá-se condições para o desenvolvimento de

diferentes habilidades e competências que são aperfeiçoadas gradativamente, “ao mesmo tempo em que compete aos estudantes atuarem ativamente no processo, com motivação em busca da construção de novos conhecimentos” (MORAES; ARAÚJO, 2012, p. 94). Parece ser nesse sentido que Brito e Gomes (2007, p. 4) apresentam várias possibilidades para serem desenvolvidas as produções para a terceira etapa do Ensino de Física Através de Temas quando dizem: “na etapa de Produção-Avaliação é que os alunos, embasados por pesquisa bibliográfica e orientação do professor, elaboram textos, vídeos, performances, etc”.

Dessa forma, percebe-se que o planejamento e implementação das atividades no tema “Raios, relâmpagos e trovões: belezas naturais, mitos, riscos e proteção”, especialmente no terceiro momento, onde se propõe a escrita da carta individual e elaboração de um vídeo em equipe, foram estratégias para estimular a autonomia dos estudantes, fazendo-os “assumir papéis ativos, participativos, de desenvolvimento com o processo em curso” (MORAES; ARAÚJO, 2012, p. 101). Percebeu-se que essa variedade de recursos permitiu, na experiência aqui relatada, o exercício de diferentes habilidades importantes para a alfabetização científica. É importante ressaltar, no entanto, que o planejamento prévio por parte dos professores é essencial para que se possa explorar adequadamente as situações de ensino, considerando os objetivos desejados (MORAES; ARAÚJO, 2012).

A perspectiva CTSA no currículo de Ciências é incentivada no **Documento Curricular do Estado do Pará (etapa ensino médio)** na área de Ciências da Natureza e suas tecnologias²¹. Nesse documento ressalta-se que devem ser consideradas propostas que, dentre outros fatores, considerem: a “produção do conhecimento científico como uma construção humana e que permeia a sociedade; (...) a utilização e a aplicação do conhecimento científico para além do cotidiano escolar, refletindo na sua vivência” (PARÁ, [2021?], p. 167).

Antes mesmo desse documento analisado, que na ocasião da elaboração desta análise ainda estava em fase de publicação final, o Guia do Estudante do Estado do Pará de 2015 já apresentava indicações de que o enfoque CTS é muito indicado para o desenvolvimento de estratégias didáticas para o ensino de Ciências da Natureza, como apresentado por Soares (2018, p. 26):

²¹ Versão preliminar disponível em: <http://www.seduc.pa.gov.br/site/probncc/noticia/11052-consulta-publica-novo-ensino-medio>. Acesso em: 28 jan. 2022.

Das possíveis estratégias didáticas para a inserção do CTS em sala de aula que contemplem um Ensino de Física mais reflexivo, apoiando-se em problemas reais e locais e contemplando documentos como o PCNEM e o Guia do estudante do Estado do Pará, percebe-se que o uso do enfoque CTS por meio da abordagem temática é visto como um dos mais indicados.

Nesse sentido, percebe-se que a proposta aqui apresentada traz elementos que vão ao encontro de atender aos objetivos de uma educação em CTS, que são atributos para a alfabetização científica.

5.3 Análise dos vídeos

Dos estudantes que participaram da fase de apresentação do tema, foram coletados 7 vídeos produzidos, sendo 3 apresentados individualmente e 4 em equipe. Contou-se com a participação de 19 estudantes nessas produções, mas 7 desses não estavam inicialmente listados entre os 22 da turma para a análise que construímos até aqui do grupo A, pois eram do grupo B de estudantes, mas que tiveram também a oportunidade de em outra ocasião participarem da aplicação da proposta, por isso aparecem juntos no trabalho. No quadro 19 apresenta-se uma síntese das características desses vídeos.

Quadro 19 – Análise dos vídeos entregues no 3º momento (Produção-avaliação).

Vídeo	Estudantes envolvidos ²²	Habilidades	Descrição	Categorias
V1	D13 D17 D18 D19 Mais 1 estudante	<ul style="list-style-type: none"> Demonstração experimental 	Os membros da equipe aparecem juntos e apresentam um experimento da gaiola de Faraday, experimento este que explora uma das situações discutidas em aula (da blindagem eletrostática dos carros). Executam o experimento usando uma gaiola com grades, papel alumínio e 2 celulares. Conseguem reproduzir o experimento, mas não expõe o por que acontece e nem o que tem a ver com o tema. Apenas 2 alunos da equipe apresentaram o experimento.	Eixo 2
V2	D8	<ul style="list-style-type: none"> Descreve procedimentos de proteção 	Vídeo apresentado individualmente pela estudante, em local aberto e traz recomendações de como proceder em caso de raios. A estudante não se apresentou no vídeo, mas o professor da turma a identificou.	Eixo 2
V3	D9 D12 Mais 3 estudantes	<ul style="list-style-type: none"> Identifica riscos Explora conceitos científicos Descreve procedimentos de proteção 	O vídeo traz a apresentação de uma equipe de forma bem organizada, com princípios físicos claros descritos em associação com imagens adequadamente colocadas. Há apenas um deslize quanto ao valor da temperatura do raio na fala do aluno, mas o valor aparece correto na imagem. A equipe explora vários conceitos associados ao tema, de forma muito adequada, com desenvoltura na voz. Um dos estudantes fala	Eixo 1 Eixo 2 Eixo 3

²² Alguns grupos possuíam outros estudantes envolvidos neste trabalho final que não constavam inicialmente para análise e neste caso não foram indicados com códigos na tabela, mas apenas a quantidade deles em cada grupo.

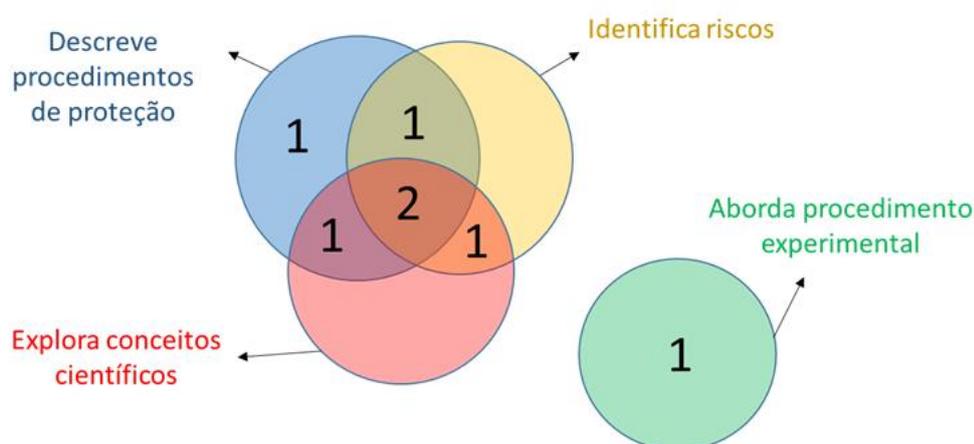
			<p>sobre a formação de raios entre nuvens e Terra e a menina fala sobre por que vemos primeiro o relâmpago e depois escutamos o trovão. Um estudante também descreve por que os raios preferem lugares altos, apresentando alguns conceitos físicos, poder das pontas, condutividade, entre outros. Falam também de raios. Escrevem no final que em virtude da Pandemia de Covid 19 cada um gravou na sua casa. O vídeo tem 2 partes.</p>	
V4	D5 D6 Mais 2 estudantes	<ul style="list-style-type: none"> • Identifica riscos • Explora conceitos científicos • Descreve procedimentos de proteção 	<p>Há uma contagem regressiva no início do vídeo e um aluno que é pessoa com deficiência auditiva aparece fazendo a introdução do trabalho em LIBRAS, enquanto a voz de outra estudante faz a descrição do que o estudante apresenta. Ele informa que vão nos apresentar como se proteger dos raios e esclarecimentos de Física que podem ajudar; descreve conceitualmente sobre os raios e em seguida uma aluna também aparece apresentando em LIBRAS a continuidade da explicação. Essa estudante também é pessoa surda, mas não estava entre as 16 que faziam parte inicialmente desta análise para a dissertação. Depois outros apresentam com sua voz e várias imagens como se proteger na parte 2 do vídeo. Os vídeos não apresentam legenda ou tradução em LIBRAS nas outras partes onde se apresentam apenas figuras e áudio, o que poderia tornar o vídeo mais acessível às pessoas</p>	Eixo 1 Eixo 2 Eixo 3

			surdas.	
V5	D22	<ul style="list-style-type: none"> • Identifica riscos • Descreve procedimentos de proteção 	A estudante aparece sozinha e faz sua exposição em vários lugares de uma residência (quintal, garagem, entre outros). Ela diz que vai falar como se proteger de raios. Explica o que são raios, fala para evitar andar de veículos automotores e bicicletas em tempestades e identifica materiais e situações que são perigosas quando há tempestades com raios, como estar próximo de cercas de arame e árvores.	Eixo 2 Eixo 3
V6	D11	<ul style="list-style-type: none"> • Identifica riscos • Explora conceitos científicos 	A estudante se apresenta sozinha e explica como os raios podem nos atingir, explicando sobre a incidência direta ou indireta para chegar até uma pessoa. Explora indiretamente o conceito de condutibilidade elétrica e diretamente o de corrente elétrica.	Eixo 1 Eixo 3
V7	D1 Mais 1 estudante	<ul style="list-style-type: none"> • Explora conceitos científicos • Descreve procedimentos de proteção 	Uma estudante começa apresentando que quando se fala em raios várias perguntas devem vir à cabeça e depois começa explicar o que são raios, por que se formam e onde costumam cair. Há uma pequena confusão entre o conceito de potência, pois diz que é Ampère. A aluna quando fala da Amazônia diz que “lá não se passa 3 ou 4 dias sem descargas elétricas”, parecendo não perceber como amazônida. Na segunda parte, o outro estudante da equipe explica procedimentos adequados a se tomar em caso de tempestades com raios.	Eixo 1 Eixo 2

Fonte: A Autora (2022).

Analisando o Quadro acima, podemos perceber que nos sete vídeos os estudantes desenvolvem habilidades como: identificar riscos, explora conceitos científicos e descreve procedimentos de proteção. Podemos perceber que há vídeos onde aparecem esses 3 elementos, mas outros onde conseguiu-se perceber apenas dois ou um desses elementos. Dessa forma, apresenta-se na Figura 12 um diagrama de Venn com as quantidades de vídeos que apresentam essas habilidades.

Figura 12 - Diagrama de Venn com as quantidades de vídeos que apresentam cada uma dessas habilidades.



Fonte: A Autora (2022).

Podemos perceber pelo que já vem se discutindo até aqui que a habilidade de *explorar conceitos científicos* está associada ao *Eixo estruturante 1* (Compreensão básica de termos, conhecimentos e conceitos científicos fundamentais). Quanto às habilidades de *descrever procedimentos de proteção* e *abordar procedimento experimental* estão associados ao eixo estruturante 2 (Compreensão da natureza das ciências e dos fatores éticos e políticos que circundam sua prática).

Por fim, as habilidades de *identificação de riscos*, estão relacionadas ao eixo estruturante 3 (Entendimento das relações existentes entre ciência, tecnologia, sociedade e meio-ambiente), pois os riscos apontados referem-se à relação do meio ambiente com a sociedade e dos impactos sociais que a não compreensão dos procedimentos adequados podem causar.

Percebe-se também o desenvolvimento da dimensão "Comunicação em Ciências" da AC (ROSA; MARTINS, 2007) nessa construção dos vídeos pelos estudantes pois eles usam suas habilidades através da mídia em áudio e visual para interpretar e expor conhecimentos científicos.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta dissertação iniciou com um objetivo geral de *identificar e analisar elementos de alfabetização científica que emergem da aplicação de uma proposta didática temática para trabalhar um tema de descargas elétricas atmosféricas com enfoque regional amazônico*. Para alcançar tal objetivo, foi elaborado e aplicado um produto educacional composto por vários instrumentos, tais como Guia de Atividades, Questionário de levantamento de conhecimentos prévios, Texto motivador, Questionários de Aprofundamento, Textos de outros autores previamente organizados e Texto de orientações para produções.

A aplicação do produto educacional aqui desenvolvido foi implementada numa escola estadual da cidade de Alenquer- Pará, com alunos de duas turmas de terceiros anos do ensino médio. Para tal aplicação utilizou-se os três momentos propostos por Brito (2004) e Brito e Gomes (2007) de Apresentação do tema, Aprofundamento e Produção-Avaliação e nos resultados discutimos os desafios que se apresentaram na aplicação dessa proposta tanto para os estudantes quanto para os professores, bem como, descrevemos os detalhes de cada etapa.

Na segunda seção dos resultados buscamos elementos que nos dessem indícios de que a proposta trazia contribuições para a alfabetização científica dos estudantes, identificando-os nas cartas e questionários respondidos pelos estudantes, bem como nos vídeos finais produzidos pelos estudantes. Discutimos esses elementos à luz dos referenciais teóricos da Alfabetização científica, tomando como categorias os três eixos estruturantes e seus indicadores de Alfabetização Científica de Sasseron e Carvalho (2011) e Sasseron (2008). Buscava-se assim respostas à questão: que elementos emergem da aplicação de uma proposta temática regionalizada que podem sinalizar contribuições para o processo de alfabetização científica de estudantes do ensino médio?

A partir da análise qualitativa dos dados coletados foi possível identificar alguns elementos nas produções dos estudantes que nos deram indícios de que o trabalho com temas regionais tem potencial para promover a AC, especialmente pela diversidade de recursos utilizados que permitiram o desenvolvimento de várias habilidades. Os estudantes deram indícios de maior envolvimento ao longo da aplicação da proposta, pois enquanto em um primeiro momento pareciam ainda ter dificuldade de participar do diálogo por estarem acostumados a um ensino com

respostas prontas, imediatas e com punição do erro, as produções das outras etapas mostraram um maior envolvimento e aprendizagens adquiridas, tanto em termos de apropriação de conceitos científicos, mostrando ao menos um início de ruptura com o senso comum, quanto de compreensão da natureza da Ciência por conseguirem expressar ideias científicas por meio da escrita ou mesmo no vídeo, socializando conhecimentos adquiridos, assim como fazem os cientistas. Por outro lado, as relações entre Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente (CTSA) também tiveram papel de destaque quando eles conseguem identificar os impactos que esse fenômeno ambiental tem na sociedade, como na economia, e na saúde das pessoas. Perceberam que conhecer mais do tema, de seus aspectos científicos pode ajudar a salvar as suas vidas e a dos outros.

Neste aspecto, percebemos que as discussões e atividades geradas nas aulas proporcionaram uma compreensão mais sólida dos estudantes, cujo conhecimentos prévios mostravam-se limitados sobre a temática. Assim sendo, podemos salientar que houve uma evolução conceitual sobre o tema como também em relação aos atributos da AC. É importante fazer com que chegue cada vez mais às escolas esse tipo de abordagem do conhecimento científico que leva os estudantes a tomadas de decisões responsáveis, esclarece problemas do seu cotidiano, para que de forma responsável tomem suas decisões e tenham uma formação mais voltada à cidadania. Esse é um meio de não apenas tornar as aulas de Ciências/Física mais atrativas, mas também dar sentidos aos conteúdos trabalhados de forma tradicional, invertendo a lógica da estrutura curricular.

É importante deixar claro que a proposta de produto educacional não é totalmente fechada, pois permite adequações à realidade da escola, dos alunos e do professor, assim como já foi adequada antes da aplicação, pois de início foi pensada para o ensino remoto.

Há um elemento importante apresentado por alguns referenciais da AC que devemos atentar, mas que não foi foco de discussão nos resultados, a dificuldade de escrita de alguns estudantes. Tanto no questionário de conhecimentos prévios quanto nos questionários de aprofundamentos 1 e 2 percebemos uma dificuldade muito grande de alguns estudantes conseguirem expressar as ideias por meio da escrita, apresentando muitos erros de concordância, pontuação, coerência, coesão, enfim. Optamos por não discutir nos resultados em virtude do tempo e o contexto da Pandemia de Covid 19 não ter permitido o retorno com esses estudantes para

trabalhar essas dificuldades que eles apresentaram, uma vez que uma das habilidades da AC é a produção textual e a organização das ideias de forma escrita, pois “Ler e escrever estão intrinsicamente ligados à natureza da ciência e ao fazer científico e, por extensão, ao aprender ciência. Retirando-os, lá se vão a ciência e o próprio ensino de ciências também”(…) (NORRIS; PHILLIPS, 2003, p. 226 apud SASSERON; CARVALHO, 2011).

Neste momento, não foi possível tomar uma atitude frente a essa situação com estes estudantes em específico, mas é importante que os professores que detectarem esse problema, adotem procedimentos que possam ajudá-los nessas produções escritas. Gomes (2008) relata uma parceria com a professora de Português da escola durante a aplicação de uma proposta temática, o que pode ser uma possibilidade. Por esse motivo, alguns trechos utilizados desses estudantes na análise foram corrigidos (tiveram suas grafias corrigidas) já que não estávamos discutindo este aspecto específico da AC, o que acreditamos que não tenha levado a comprometimento da análise.

Vivenciar essa experiência na escola, de onde estou afastada há alguns anos como professora, me fez refletir sobre minha maneira de atuar como docente, olhando agora como uma pesquisadora que analisa a própria prática e a de um colega de profissão, me faz ver o quanto necessitamos mudar, o quanto a postura dos estudantes pode estar relacionada à forma como ensinamos e como precisamos superar o senso comum pedagógico de que para ensinar bem basta ter o domínio das teorias científicas (DELIZOICOV; ANGOTTI; PERNAMBUCO, 2011). Penso que esse é um caminho para que os alunos venham a gostar mais do ensino da Física, conhecer mais sobre Ciências e aplicar os conhecimentos em suas vidas.

REFERÊNCIAS

- ALVES, H. A. **Cassino da física**: material complementar, lúdico e potencialmente significativo para o ensino de ciências no 6º Ano do nível fundamental. Dissertação (Mestrado profissional em Ensino de Física) - Universidade Federal do Pará. Belém, PA, 2018.
- AMARAL, J. J. F. **Como fazer uma pesquisa bibliográfica**. Fortaleza, CE: Universidade Federal do Ceará, 2007.
- ANDRADE, R. C. **Estudo do efeito lente produzido por nuvens na irradiação solar global medido no Nordeste do Brasil**. Orientador: Dr. Chigueru Tiba. 2016. 111 f. Tese (Doutorado em Ciências) - Universidade Federal de Pernambuco, 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/18342/1/Tese%20Ricardo%20Cesar%20de%20Andrade%20%20para%20Biblioteca%20Central.pdf>. Acesso em: 07 fev. 2022.
- ANDRADE, C. M. B.; SOUZA, O. T.; BATISTA, V. S. **Castanha-do-Pará**: um tema regional para o ensino de ciências. 2007. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Naturais) - Universidade Federal do Pará, Oriximiná, Pará, 2007.
- ATAÍDE, A. R. P. *et al.* Física, o “monstro” do ensino médio: a voz do aluno. *In*: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, 16., 2002, Paraíba. **Anais [...]** Paraíba: UEP, 2002.
- AULER, D.; DELIZOICOV, D. Alfabetização científica-tecnológica para que? **Ensaio: Pesquisa em Educação em Ciências**, Belo Horizonte, v. 3, n. 2, p. 01-13, jun. 2001. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/epec/v3n2/1983-2117-epec-3-02-00122.pdf>. Acesso em: 14 set. 2019.
- BACHELARD, G. **La formation de l'esprit scientifique**. Paris: J. Vrin, 1947.
- BARBOZA, M. B. **Utilização de tópicos de física da atmosfera e experimentos de baixo custo com o olhar da aprendizagem significativa de David Ausubel**. 2015. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Pós Graduação em Ensino de Física, Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, Mossoró, RN, 2015.
- BASSALO, J. M. F. **Eletrodinâmica quântica**. São Paulo: Livraria da Física, 2006.
- BEZERRA, Á. S. **Radiação ultravioleta no Pará**: uma proposta temática para ensinar física no nível médio. 2012. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura Plena em Física Ambiental) - Universidade Federal do Pará, Santarém, 2012.
- BOGDAN, R.; BIKLEN, S. **Investigação qualitativa em educação**: uma introdução à teoria e aos métodos. Portugal: Porto Editora, 1994.

BRANDI, A. T. E.; GURGEL, C. M. A. A Alfabetização Científica e o Processo de Ler e Escrever em Séries Iniciais: Emergências de um Estudo de Investigação-Ação, **Ciência & Educação**, Bauru, SP, v. 8, n. 1, p. 113-125, 2002.

BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular**. Brasília: MEC, [2018?]. Disponível em: http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC_EI_EF_110518_versaofinal_sit e.pdf. Acesso em: 14 set. 2020.

BRASIL. Ministério da Educação. **Itinerários formativos do novo Ensino Médio**. Brasília, DF: MEC, [2021?]. Disponível em: <https://www.gov.br/mec/pt-br/novo-ensino-medio/itinerarios-formativos-do-novo-ensino-medio>. Acesso em: 14 set. 2020.

BRASIL. Ministério da Educação. **Lei nº 13.415/2017**. Altera as Leis nºs 9.394, de 20 de dezembro de 1996, que estabelece as Diretrizes Bases da Educação Nacional, de 11.494, de 20 de junho 2007, que regulamenta o fundo de manutenção e desenvolvimento da educação básica e de valorização dos profissionais da educação, a consolidação das leis do trabalho - CLT, aprovada pelo Decreto-lei nº 5.452, de 1º de maio de 1943, e o Decreto-lei n. 236, de 28 de fevereiro de 1967; revoga a Lei nº 11.161, de 5 de agosto de 2005; e institui a Política de Fomento à implementação de escolas de ensino médio em tempo integral. Brasília: Ministério da Educação, 2017.

BRASIL. Ministério da Educação. **Lei nº 9.394, de 20 de dezembro de 1996**. Estabelece as diretrizes e bases da educação nacional. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9394.htm. Acesso em: 14 set. 2020.

BRASIL. Ministério da Educação. **Lei nº 13.005/2014**. Aprova o Plano Nacional de Educação - PNE e dá outras providências. Brasília, DF: MEC, 2014. Disponível em: <https://pne.mec.gov.br/18-planos-subnacionais-de-educacao/543-plano-nacional-de-educacao-lei-n-13-005-2014>. Acesso em: 14 set. 2020.

BRASIL. Ministério da Educação. **Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio**: ensino médio, ciências humanas e suas tecnologias. Brasília, DF: MEC, 2000. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/blegais.pdf>. Acesso em: 14 set. 2020.

BRASIL, Ministério da Educação. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. **PCNEM mais**: orientações educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais, Brasília, 2002.

BRITO, L. P. O Ensino de física através de temas: uma experiência de ensino na formação de professores de ciências. *In*: CONGRESSO NORTE/NORDESTE DE EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS E MATEMÁTICAS, 4., 2004. **Anais** [...]. Belém: UFPA/NPADC/CEJUP, 2004. p. 615. Apresentação em pôster.

BRITO, L. P.; GOMES, N. F. O ensino de física através de temas no atual cenário do ensino de ciências. *In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS*, 6., 2007, Florianópolis, SC. **Anais [...]**, Florianópolis, SC: ABRAPEC, 2007. Disponível em:

https://abrapecnet.org.br/atas_enpec/vienpec/CR2/p962.pdf?msckid=2706486da7d211ec8e4ff49f873c467b. Acesso em: 19 mar. 2022.

CARVALHO, A. M. P.; TINOCO, S. C. O Ensino de ciências como 'enculturação'. *In: CATANI, D. B.; VICENTINI, P. P. (org.). Formação e autoformação: saberes e práticas nas experiências dos professores*. São Paulo: Escrituras, 2006.

CHASSOT, A. **Alfabetização científica: questões e desafios para a educação**. Ijuí: Editora Unijuí, 2000.

CHASSOT, A. **Alfabetização científica: questões e desafios para a educação**. 5 ed. Ijuí: Unijuí, 2011. p. 368.

CHASSOT, A. **Alfabetização científica: uma possibilidade para a inclusão social**. *Revista Brasileira de Educação*, São Paulo, v. 23, n. 22, p. 89-100, 2003.

CHASSOT, A. **Catalisando transformações na educação**. Ijuí: Editora Unijuí, 1993.

CORRÊA, J. J. D. **Equilíbrio e fluabilidade das embarcações na Região Amazônica**. Orientadora: Dra. Nilzilene Gomes de Figueiredo. 2019. 106 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Física) - Universidade Federal do Oeste do Pará, Santarém, PA, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufopa.edu.br/jspui/handle/123456789/462>. Acesso em: 15 fev. 2022.

COUTO, J. J. A.; VALENTE, L. J. **Poluição sonora no Município de Breves: aspectos físicos e sociais**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Naturais)- Universidade Federal do Pará, Breves-Pa, 2005.

CRUZ JÚNIOR, L. B. **Concepções dos alunos concluintes e egressos do Ensino Médio sobre os conteúdos de cinemática e dinâmica no método tradicional de Ensino**. 2016. 71 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Física) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2016.

CORRÊA, J. J. D. **Equilíbrio e fluabilidade das embarcações na Região Amazônica**. Orientadora: Dra. Nilzilene Gomes de Figueiredo. 2019. 106 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Física) - Universidade Federal do Oeste do Pará, Santarém, PA, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufopa.edu.br/jspui/handle/123456789/462>. Acesso em:

DELIZOICOV, D.; ANGOTTI, J. A.; PERNAMBUCO, M. M. C. A. **Ensino de ciências: fundamentos e métodos**. 4. ed. São Paulo: Cortez, 2011.

DELIZOICOV, D.; ANGOTTI, J. A.; PERNAMBUCO, M. M. **Ensino de ciências: fundamentos e métodos**. São Paulo: Cortez, 2002.

DELIZOICOV, D.; ANGOTTI, J. A. **Física**. 2.ed. rev. São Paulo: Cortez, 1992. (Coleção magistério- 2º grau. Série formação geral).

DELIZOICOV, D.; ANGOTTI, J. A. **Subsídios para a física**. Brasília, DF: MEC/PUC-SP, 1988. (Coleção magistério: 2º grau. Série Formação Geral). Parte Integrante do Projeto Diretrizes Gerais para o Ensino de Segundo Grau Núcleo Comum (Convenio MEC/PUC-SP-1988).

DEMO, P. **Metodologia do conhecimento científico**. São Paulo: Atlas, 2000.

FONSECA, J. J. S. **Metodologia da pesquisa científica**. Fortaleza: UEC, 2002. Apostila.

FOUREZ, G. Crise no ensino de ciências?. **Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, RS, v. 8, n. 2, 2003. Disponível em: http://www.hu.usp.br/wp-content/uploads/sites/293/2016/05/Gerard_Fourez_CRISE_NO_ENSINO_DE_CIENTIAS.pdf. Acesso em: 14 jan. 2022.

FREIRE, P. **A importância do ato de ler em três artigos que se completam**. São Paulo: Cortez, 2005.

FREIRE, P. **Educação e mudança**. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1989.

FREIRE, P. **Pedagogia da autonomia: saberes necessários à prática educativa**. São Paulo: Paz e Terra, 1996. Disponível em: <https://nepegeo.paginas.ufsc.br/files/2018/11/Pedagogia-da-Autonomia-Paulo-Freire.pdf>. Acesso em: 15 fev. 2022.

FREIRE, P. **Pedagogia do oprimido**. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1987. Disponível em: <https://docs.google.com/file/d/0BxgqoVhThgkqdHIPTkNXUWZ5RHM/edit?resourcekey=0-TIPQUZiDHUeJCERXwQSoA>. Acesso em: 15 fev. 2022.

GESTER, W. T. **O lúdico no processo de ensino-aprendizagem de física: uma sequência didática para a construção de conceitos de eletricidade no Ensino Fundamental**. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física) - Universidade Federal do Pará, Belém, PA, 2019.

GOMES, N. F. **Ensino de física através de temas regionais**. Orientador: Licurgo Peixoto de Brito. 2005. 62 f. Trabalho de Conclusão (Licenciatura em Física) - Universidade Federal do Pará, Belém, 2005.

GOMES, N. F. **Ensino de física através de temas: potencialidades e desafios em uma prática pedagógica no ensino médio**. Dissertação (Mestrado em Educação em Ciências) - Universidade Federal do Pará, Belém, 2008.

GONÇALVES, M. L. M. **Ensino de ciências através de temas**: a física presente na navegação e na construção naval em Abaetetuba. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Física) - Universidade Federal do Pará, Abaetetuba, PA, 2006.

GRUPO DE REELABORAÇÃO DO ENSINO DE FÍSICA (GREF). **Física 3**: eletromagnetismo. 5. ed. São Paulo: EDUSP, 2017. Livro 3.

HALLIDAY; RESNICK; WALKER, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de física**. 8. ed. Rio de Janeiro, RJ: LTC, 2016. v. 3.

INPE. **ELAT/INPE divulga novo ranking da incidência de raios por município**. 2009. Disponível em: http://www.inpe.br/noticias/noticia.php?Cod_Noticia=1755. Acesso em: 13 jan. 2022.

KEMP, A. C. **Science educator's views on the goal of scientific literacy for all**: an interpretive review of the literature. 2000. Disponível em: <https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED454099.pdf>. Acesso em: 13 mar. 2022.

KEMP, A. C. Implications of diverse meanings for "scientific literacy". *In*: ANNUAL INTERNATIONAL CONFERENCE OF THE ASSOCIATION FOR THE EDUCATION OF TEACHERS IN SCIENCE, 2002, Pensacola. **Proceeding** [...]. Pensacola: AETS, 2002.

KRASILCHIK, M.; MARANDINO, M. **Ensino de ciências e cidadania**. 2. ed. São Paulo: Editora Moderna, 2007. 87 p.

LOPES, A. R. C. Bachelar: o filósofo da desilusão. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Santa Catarina, v. 13, n. 3, p. 248-273, dez.1996.

LOPES, A. R. C. Contribuições de Gaston Bachelard ao ensino de ciências. **Enseñanza de las ciencias**, Espanha, v. 11, n. 3, p. 324-330, 1993.

LORENZETTI, L.; DELIZOICOV, D. Alfabetização científica no contexto das séries iniciais. **Ensaio**: Pesquisa em Educação em Ciências, Belo Horizonte, v. 3, n. 1, jan./jun. 2001. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/epec/a/N36pNx6vryxdGmDLf76mNDH/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 15 set. 2020.

LUDKE, M.; ANDRÉ, M. E. D. A. **Pesquisa em educação**: abordagens qualitativas. Rio de Janeiro: E.P.U, 2018.

MAESTRELLI, S. G.; LORENZETTI, L. A abordagem CTSA nos anos iniciais do ensino fundamental: contribuições para o exercício da cidadania. **RBECM**, Passo Fundo, v. 4, n. 1, p. 14-57, jan./jun. 2021.

MAMEDE, M.; ZIMMERMANN, E. Letramento científico e CTS na formação de professores para o ensino de física. *In*: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, 16., 2007, São Luís. **Anais** [...]. São Luís: 2007.

- MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. **Metodologia científica**: ciência e conhecimento científico, métodos científicos, teoria, hipóteses e variáveis. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2007.
- MARTINS, L. M. **O papel da educação escolar na formação de conceitos**. In: MARSIGLIA, A. C. G. (org.). *Infância e pedagogia histórico-crítica*. Campinas, SP: Autores Associados, 2013.
- MEDINA, J. P. S.; SOARES, C. L.; TAFFAREL, C. Z. Ação pedagógica na escola pela via da interdisciplinaridade. **Motrivivência**: Revista de Educação Física, Esporte e Lazer, Florianópolis, SC, n. 4, jun. 1993. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/motrivivencia/article/view/28814/24446>. Acesso em: 05 fev. 2022.
- MEIRELES, G. C. **Estudo investigativo das chuvas em Santarém-PA**: uma proposta temática para o ensino de física. 2012. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação em Física Ambiental) - Universidade Federal do Oeste do Pará, 2012.
- MENDES JÚNIOR, O.; DOMINGUES, M. O. Introdução à eletrodinâmica Atmosférica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 24, n. 1, mar., 2002.
- MORAES, J. U. P.; ARAUJO, M. S. T. **O Ensino de física e o enfoque CTSA**: caminhos para uma educação cidadã. São Paulo: Livraria da Física, 2012.
- MORAES, R. Análise de conteúdo. **Revista Educação**, Porto Alegre, v. 22, n. 37, p. 7-32, 1999.
- MOREIRA, A. F. B. Propostas curriculares alternativas: limites e avanços. **Educação & Sociedade**, Campinas, v. 21, n. 73, p. 109-138, 2000.
- MOREIRA, J. A. M.; HENRIQUES, S.; BARROS, D. Transitando de um ensino remoto emergencial para uma educação digital em rede, em tempos de pandemia. **Dialogia**, São Paulo, n. 34, p. 351-364, jan./abr. 2020.
- MORTIMER, E. F.; MACHADO, A. H. A Linguagem em uma aula de ciências. **Presença Pedagógica**, Belo Horizonte, v. 2, n. 11, p. 49-57, 1996.
- MUENCHEN, C.; DELIZOICOV, D. Pesquisas em educação em ciências na região de Santa Maria/RS: algumas características. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 7., 2009, Florianópolis, SC. **Atas** [...]. Florianópolis, SC: 2009. Disponível em: . Acesso em: 15 fev. 2022.
- MUENCHEN, C.; DEMÉTRIO, D. Os três momentos pedagógicos e o contexto de produção do livro “Física”. **Ciência & Educação**, Bauru, SP, v. 20, n. 3, 617-638, 2014.
- NASCIMENTO, T. G.; LINSINGEN, I. V. Articulações entre o enfoque CTS e a pedagogia de Paulo Freire como base para o ensino de ciências. **Convergência**, Toluca, v. 13, n. 42, p. 95-116, dic. 2006. Disponível em: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-14352006000300006&lng=es&nrm=iso. Acesso em: 15 fev. 2022.

ORTIZ, J. P. T. **Ensinando o conceito de campo elétrico a partir do fenômeno do raio**. 2015. Dissertação (Mestrado Profissional de Ensino de Física) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP, 2015.

PANTOJA, G. C. F.; MOREIRA, M. A. Conceitualização do conceito de campo elétrico de estudantes de ensino superior em unidades de ensino potencialmente significativas sobre eletrostática. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 42, 2020.

PARÁ. Secretaria de Estado de Educação. **Documento Curricular do Estado do Pará (DCEPA): Ensino Médio**. [2021?]. Disponível em: <https://www.seduc.pa.gov.br/site/probncc/modal?ptg=10856>. Acesso em: 15 fev. 2022.

PERRENOUD, P. **Construir as competências desde a escola**. Porto Alegre: Artmed, 1999.

PINTO JÚNIOR, O. **País dos raios**. Rio de Janeiro: Rede Globo, 2014. Série de 3 episódios exibida no Fantástico. Episódios 1, 2 e 3.

RAAB, Y. S.; BARBOSA, A. Escola para quê? reflexões sobre a função da escola pública estadual paulista. **Revista HISTEDBR On-line**, Campinas, SP, v. 19, p. e019010, 2019. DOI: 10.20396/rho.v19i0.8653489. Disponível em: <https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/histedbr/article/view/8653489>. Acesso em: 14 jan. 2022.

REITZ, J. R. *et al.* **Fundamentos da teoria eletromagnética**. Rio de Janeiro: Campus, 1982.

RICARDO, E. C.; FREIRE, J. C. A. A concepção dos alunos sobre a física do ensino médio: um estudo exploratório. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 29, n. 2, p. 251-266, 2007. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/pQXFH3DqqbvMf6JW6rxXjJs/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 14 jan. 2022.

ROBORTELLA, E. A. **Física**. São Paulo: Ática, 1984. v. 1.
ROSA, K.; MARTINS, M. C. **O que é alfabetização científica, afinal?** In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, 17., 2007, São Luís, MA. **Anais [...]**. Disponível em: <http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xvii/sys/resumos/T0011-1.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2022.

SABA, M. M. F. O raio passo a passo. **A Física na Escola**, São Paulo, v. 4, n. 2, 2003. Disponível em: <http://www1.fisica.org.br/fne/phocadownload/Vol04-Num2/v4n2a031.pdf>. Acesso em: 10 fev. 2022.

SABA, M. M. F. A Física das tempestades e dos raios. **A Física na Escola**, São Paulo, v. 2, n. 1, 2001. Disponível em: <http://www.cepa.if.usp.br/e-fisica/apoio/textos/raios.pdf>. Acesso em: 10 fev. 2022.

SANTOS, A. C. F. Um raio no céu azul. **Scientific American Brasil**: aula aberta, [online], n. 15, p. 64-65, 2013. Disponível em:

https://issuu.com/ed_moderna/docs/aulaaberta_15. Acesso em: 05 fev. 2022.

SANTOS, W. L. P.; MORTIMER, E. F. Tomada de decisão para ação social responsável no ensino de ciências. **Ciência & Educação**, Bauru, SP, v. 7, n. 1, p. 95-111, 2001.

SASSERON, L. H. **Alfabetização científica no ensino fundamental**: estrutura e indicadores deste processo em sala de aula. Tese (Doutorado em Educação) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

SASSERON, L. H.; CARVALHO, A. M. P. Alfabetização científica: uma revisão bibliográfica. **Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, RS, v. 16, n. 1, p. 59-77, 2011. Disponível em:

https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/844768/mod_resource/content/1/SASSERON_CARVALHO_AC_uma_revis%C3%A3o_bibliogr%C3%A1fica.pdf. Acesso em: 22 mar. 2021.

SASSERON, L. H.; CARVALHO, A. M. P. Almejando a alfabetização científica no ensino fundamental: a proposição e a procura de indicadores do processo. **Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, RS, v.13 n. 3 p. 333-352, 2008.

SASSERON, L. H.; CARVALHO, A. M. P. Escrita e desenho: análise de registros elaborados por alunos do ensino fundamental em aulas de ciências. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, São Paulo, v. 10, n. 2, p. 1-19, 2010. Acesso em: 22 mar. 2021.

SASSERON, L. H.; MACHADO, V. F. **Alfabetização científica na prática**: inovando a forma de ensinar Física. São Paulo: Livraria da Física, 2017.

SAVIANI, D. **Pedagogia histórico-crítica**: primeiras aproximações. 3. ed. São Paulo: Cortez; Autores Associados, 1992.

SEIXAS, A. G.; SERRÃO, A. R. B.; COSTA, T. M. S. **Produção de farinha de mandioca**: uma abordagem temática para o ensino de ciências. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Licenciatura em Ciências) – Universidade Federal do Pará, Oriximiná, 2007.

SIEMSEN, G. H.; LORENZETTI, L. Potencialidades para a promoção da Alfabetização Científica e Tecnológica a partir de uma proposta interdisciplinar de ensino de astronomia para o ensino médio. *In*: SIMPÓSIO NACIONAL DE EDUCAÇÃO EM ASTRONOMIA, 5., 2018, Londrina, PR. **Anais [...]**. Londrina, PR: 2018.

SILVA F. H.; CARVALHO, P. G. B. A. Letramento Científico nas aulas de física: um desafio para o Ensino Médio. 22º SEMINÁRIO DE EDUCAÇÃO, TECNOLOGIA E SOCIEDADE, 22., 2017, Taquara, RS. **Anais [...]**. Taquara, RS: Núcleo de Educação On-line, 2017.

SILVA, G. S. N.; ABREU, M. A. **As olarias de Abaetetuba e o ensino de Física**. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Licenciatura em Ciências) – Universidade Federal do Pará, Abaetetuba, 2006.

SOARES, M. J. C. **Física no trânsito: uma abordagem com enfoque ciência, tecnologia e sociedade em Santarém-Pará**. 2018. Dissertação (Mestrado profissional em Ensino de Física)- Universidade Federal do Oeste do Pará, Santarém, 2018.

SOARES, M. V.; ARTUSO, A. R. A. Campo elétrico: uma investigação sobre compreensão, definição e abordagem. *In*: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, 19., 2011, Manaus. **Anais [...]**. Manaus: 2011.

SOUZA, V. J. O. **Princípios físicos do sistema de abastecimento de água de Breves**. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Licenciatura em Ciências) – Universidade Federal do Pará, Breves, 2005.

SOUZA, A. S.; VIEIRA, A. C. **Ensino de ciências através de temas: a produção da cachaça em Abaetetuba**. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Ciências) – Universidade Federal do Pará, Abaetetuba, 2006.

TAVARES, M.; SANTIAGO, M. A. M. Eletricidade atmosférica e fenômenos correlatos. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 24, n. 4, 2002. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/3LgdPzbwyFWv4mH5LPnWfcm/>. Acesso em: 05 fev. 2022.

TIPLER, P. A; MOSCA, G. **Física para cientistas e engenheiros**. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2006. v. 2.

WALKER, J. **O circo voador da física**. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

ZABALA, A. (org.). **Como trabalhar os conteúdos procedimentais em aula**. Tradução E. Rosa. Porto Alegre, RS: Editora Artes Médicas Sul, 1999.

APÊNDICE

APÊNDICE A - PRODUTO DE PESQUISA

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DO PARÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO
TECNOLÓGICA
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA**

**DÉBORA SANTOS MIRANDA
NILZILENE GOMES DE FIGUEIREDO**

**LIVRETO PARA ABORDAGEM DO TEMA “RAIOS, RELÂMPAGOS E
TROVÕES: BELEZA NATURAL, MITOS, RISCOS E PROTEÇÃO” E
ORIENTAÇÕES AOS PROFESSORES**

**SANTARÉM-PA
2022**

DÉBORA SANTOS MIRANDA
NILZILENE GOMES DE FIGUEIREDO

LIVRETO PARA ABORDAGEM DO TEMA “RAIOS, RELÂMPAGOS E TROVÕES: BELEZA NATURAL, MITOS, RISCOS E PROTEÇÃO” E ORIENTAÇÕES AOS PROFESSORES

Produto educacional apresentado ao Programa de Pós-Graduação de Mestrado Profissional em Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Nilzilene Gomes de Figueiredo

SANTARÉM-PARÁ
2022

**DÉBORA SANTOS MIRANDA
NILZILENE GOMES DE FIGUEIREDO**



PARTE 1 – ORIENTAÇÕES INICIAIS AOS PROFESSORES

**SANTARÉM-PA
2022**

SUMÁRIO

1 ORIENTAÇÕES INICIAIS AOS PROFESSORES	112
1.1 Por que trabalhar o tema de descargas elétricas atmosféricas?	114
1.2 Por que trabalhar com a proposta temática?	115
1.3 Como se desenvolve a proposta de ensino de Física Através de Temas Regionais?	117
1.4 Como está organizado o livreto?	119
1.4.1 Guia de atividades	119
1.4.2 Questionário de levantamento de conhecimentos prévios.....	119
1.4.3 Texto motivador para apresentação do tema.....	120
1.4.4 Textos e vídeos para a etapa de Aprofundamento.....	120
1.4.5 Questionários de aprofundamentos 1 e 2.....	121
1.4.6 Lista de exercícios.....	121
1.4.7 Texto de Orientações para a etapa de produção- avaliação.....	122
1.5 Como os conceitos de Física aparecem nesta proposta?	122
REFERÊNCIAS	123

1 ORIENTAÇÕES INICIAIS AOS PROFESSORES

Esse produto educacional faz parte de uma dissertação de mestrado profissional em ensino de Física defendida em 2022 e é inspirado no desafio que se apresenta a educação para um ensino de Física mais significativo para a vida dos estudantes e uma formação de cidadãos científica e tecnologicamente alfabetizados, com discernimento para entender, julgar, posicionar-se e tomar decisões acerca de questões científico- tecnológicas que se fazem presentes no cotidiano (AULER; DELIZOICOV, 2001; CHASSOT, 2003).

Na ocasião de elaboração do produto educacional, a Pandemia de Covid-19 obrigou as escolas a fecharem as portas, desde março de 2020 e, tentava-se implementar um Ensino Remoto Emergencial (ERE)²³, uma vez que o mundo acompanhou perplexo pelos meios de comunicação, a disseminação rápida de um vírus que, naquela ocasião, não se imaginava como iria mudar as vidas das pessoas e afetar vários setores da sociedade, entre eles, a educação. Antes mesmo de toda essa mudança ocasionada em nossas vidas por esse período de Pandemia, outros desafios já se apresentavam às escolas e aos professores: a implementação da Base Nacional Comum Curricular, da proposta do novo ensino médio e a necessidade de capacitação dos professores para tentar entender e acompanhar todo esse processo de mudança. Enfim, chegamos a 2022 com a sensação de que diante de tudo que vivemos precisamos repensar nossas prioridades, repensar nosso papel como professores, pois mesmo que muitos de nós relutemos diante dessa necessidade, é um caminho sem volta. A mudança no currículo é necessária e urgente!

Percebe-se que os estudantes, em geral, associam a Física apenas aos cálculos matemáticos, com os quais têm dificuldades. Além disso, também não conseguem perceber a relação entre os conteúdos, tradicionalmente abordados na escola, com as suas vidas, ao mesmo tempo em que a tradição de apenas escutar o professor, resolver exercícios repetitivos e de aplicação de fórmulas sem uma

²³ Segundo Oliveira, Corrêa e Morés (2020), o Ensino Remoto Emergencial (ERE) caracteriza-se por um “modelo de educação como aulas síncronas com uso de tecnologias digitais interativas via Internet e, por vezes, complementadas com materiais impressos, disponibilizados nas secretarias das escolas, com uma metodologia semelhante a do ensino presencial, incluindo horários fixos de aulas por períodos e com salas virtuais com o mesmo número de estudantes do modelo presencial” (p. 3).

reflexão mais profunda sobre os fenômenos está distanciando os estudantes da efetiva aprendizagem da Física.

Isso tem tornado o ensino dessa disciplina sem sentido, seja por não apresentar propósito claro, seja por parecer, para muitos, completamente desnecessária da forma como vem sendo trabalhada na maioria das escolas. Talvez a redução nítida de carga horária de Física, que estamos percebendo atualmente nas propostas de implementação da Base Nacional Comum Curricular (BRASIL, 2018) e novo Ensino Médio (BRASIL, 2017) pelo Brasil possam se amparar nesse tipo de argumento.

Entretanto, a Física tem sido responsável pela geração de muita tecnologia que usamos hoje, dos elementos mais simples, como um celular, uma torradeira elétrica aos mais complexos, como os foguetes que levam sondas espaciais para outros planetas. Apesar disso,

(...) a física ensinada tem nada ou muito pouco a ver com as tecnologias atuais. Na maior parte do tempo, esta serve apenas como simples ilustração e não é considerada como uma referência dos saberes a ensinar (RICARDO; FREIRE, 2007, p. 263).

Como uma Ciência que é responsável por grande parte dos avanços tecnológicos que tivemos até hoje, e estamos tendo, não é difícil perceber a importância que a Física tem também enquanto disciplina escolar. Afinal, considerando que a função da escola é a socialização do saber sistematizado (SAVIANI, 1992), entende-se, assim como Martins (2013) e Raab e Barbosa (2019), que essa socialização deve estar associada ao cotidiano dos estudantes, partindo do contexto em que eles estão inseridos, mas, ao mesmo tempo, fazendo-os distanciar-se aos poucos dos conceitos espontâneos construídos neste cotidiano, munindo-se dos conceitos científicos para que, a partir da sua compreensão, possa argumentar, intervir e ter possibilidade de modificar essa realidade.

Então, o ensino de Física não pode ficar à margem para que se tenha uma educação básica de qualidade, independente do *projeto de vida* que o estudante queira seguir. Aprender Física deverá garantir uma base de conhecimento e formação científica, de modo que

(...) permita tanto a apreensão dos conceitos, leis, relações da Física e sua utilização, bem como sua aproximação com fenômenos ligados a situações vividas pelos alunos, sejam as de origem natural, sejam as de origem tecnológica (DELIZOICOVI; ANGOTTI, 1988, p. 5).

Para a implementação da proposta que aqui apresentamos, partimos do pressuposto que o ensino de Física na educação básica tem o propósito de contribuir com a *Alfabetização científica* e tecnológica dos cidadãos (AULER; DELIZOICOV, 2001; CHASSOT, 2003; SASSERON; CARVALHO, 2011), pois é importante e necessário que as ocorrências de nossas vidas tenha espaço privilegiado no currículo escolar e que esse currículo esteja voltado à formação cidadã, independente do caminho que queira seguir na vida. Nesse sentido, todas as áreas de conhecimento, dentre elas a Física, são importantes para que esse mundo seja, não apenas, compreendido pelos estudantes sob o ponto de vista científico, mas também, que estes possam intervir nele, exercendo efetivamente sua cidadania. Assim, as propostas temáticas para a implementação do currículo vão ao encontro desses objetivos de promoção da Alfabetização científica dos estudantes.

1.1 Por que trabalhar o tema de descargas elétricas atmosféricas?

Dados coletados pelo Grupo de Eletricidade Atmosférica (ELAT) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) apontam que o Brasil é o país onde mais cai raios no mundo, com cerca de 77,8 milhões de ocorrências por ano²⁴. Em um estudo inédito feito pelo INPE, aponta-se que o país ocupa a sétima posição no ranking global de mortes provocadas pelo fenômeno (INPE, 2009). Mas, apesar de tantas incidências de raios em nosso país e, conseqüentemente, muitas mortes causadas pelas descargas elétricas, ainda há muitos mitos em relação a eles e pouco conhecimento sobre como se proteger, o que tem levado a muitos acidentes e mortes.

O livreto produzido como produto educacional, que tem o tema central “Raios, relâmpagos e trovões: beleza natural, mitos, riscos e proteção”, é destinado ao trabalho com os estudantes com um propósito claro de contribuir com um ensino de

²⁴ Dados de acordo com o levantamento divulgado pelo Grupo de Eletricidade Atmosférica (ELAT) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) com dados de 2000 a 2019. <http://www.inpe.br/webelat/homepage/menu/filme.documentario.-.fragmentos.de.paixao.php/releases.php?id=81>

Física mais significativo e voltado à formação cidadã, especialmente para os estudantes do ensino médio ou final do fundamental, em especial da região Amazônica. Espera-se, com essa proposta, contribuir para a alfabetização científica dos jovens, de modo a proporcionar o conhecimento sobre sua proteção pessoal e de outrem referente a esse fenômeno.

1.2 Por que trabalhar com a proposta temática?

O ensino de Física por temas difere em muitos aspectos do ensino expositivo tradicional no qual os estudantes apenas escutam o professor, resolvem exercícios e fazem provas. Ele parte da tentativa de compreensão da realidade e busca os conteúdos tradicionalmente estudados no currículo como necessidade para compreender, explicar o que emerge desse contexto.

As propostas temáticas que estruturam práticas educativas no Ensino de Ciências no Brasil têm forte influência das concepções epistemológicas críticas de educação defendidas pelo brasileiro Paulo Freire e pelo francês George Snyders (DELIZOICOV; ANGOTTI; PERNAMBUCO, 2011). Tanto Freire quanto Snyders consideram que o planejamento didático-pedagógico precisa reconhecer duas categorias de conhecimento: o de senso comum, presente nos conhecimentos prévios dos estudantes, e o conhecimento científico, foco do ensino de Ciências. Nesse sentido, Delizoicov, Angotti e Pernambuco (2011, p. 189) indicam que no referencial analítico dos autores eles propõem uma “abordagem temática que possibilite a ocorrência de rupturas durante a formação dos alunos”.

A característica fundamental das propostas temáticas no ensino de Ciências é ter **a conceituação científica subordinada ao tema**. Nesse sentido, as atividades planejadas, os conteúdos a serem contemplados, bem como sua abordagem busca romper com a tradição curricular que parte do conceito científico, o que é chamado de abordagem conceitual, tendo o tema como estruturador do programa (BRITO; GOMES, 2007; DELIZOICOV; ANGOTTI; PERNAMBUCO, 2011).

Há uma valorização dos conhecimentos prévios dos estudantes por que entende-se que os estudantes não chegam à escola como tábulas rasas, mas carregam conhecimentos de senso comum que precisam ser colocados em cheque frente aos conhecimentos científicos, de modo que ocorra uma ruptura, o que vai ao encontro das ideias defendidas por Bachelard sobre apropriação do conhecimento

científico e o obstáculo epistemológico da experiência primeira (LOPES, 1996). Por isso, um dos primeiros itens do livreto que apresentamos é um questionário de caracterização de conhecimentos prévios.

A contextualização com a realidade dos sujeitos é fator determinante na escolha do tema nessa perspectiva de ensino por temas, o que vai ao encontro da justificativa dada por Gomes (2005) do por que trabalhar com temas regionais, pois essa abordagem desenvolve conhecimentos relacionados à realidade regional, ou local do estudante, que acredita-se que despertam maiores interesses do que aqueles conhecimentos expostos em livros didáticos, que muitas vezes nada tem a ver com o contexto em que o estudante está inserido.

No entanto, diante de um currículo escolar estruturado em disciplinas²⁵ sempre foi um desafio se pensar em propostas temáticas, pois uma de suas características é a interdisciplinaridade, o que tem sido um grande desafio de implementar na escola.

Diante dessa realidade, por volta do ano 2000 uma iniciativa em um curso de formação de professores de Ciências oferecido pela Universidade Federal do Pará no interior paraense, deu início a um movimento de repensar o currículo de Ciências com temas da realidade dos municípios, mas de modo que ainda fosse possível trabalhar em um currículo disciplinar (BRITO, 2004). Dessa forma surge o que ficou conhecido como **Ensino de Física Através de Temas Regionais (EFATR)** (BRITO, 2004; BRITO; GOMES, 2007; GOMES, 2005) que já conseguiu inspirar diversas propostas didáticas no Estado.

Assim como sugerem Brito e Gomes (2007), essa abordagem tem sido usada em diversos contextos de modo a contemplar uma única disciplina, uma unidade do programa ou mesmo um tópico de uma unidade. A escolha geralmente é feita pelo professor considerando a realidade dos estudantes e a necessidade da abordagem curricular de determinados conteúdos, mas também pode ser escolhido com os estudantes, mas cabendo ao professor alertá-los sobre a necessidade da escolha contemplar o que prevê o programa (GOMES; BRITO, 2007).

Percebe-se aqui uma diferença entre os *temas geradores* de Freire e a proposta temática de Brito (2004), pois a escolha do *tema gerador* na proposta freireana é livre, os alunos escolhem e os conteúdos surgem a partir daí. Nesse

²⁵ Como ainda se tem nas escolas atualmente, mas em perspectiva de mudança com a chegada da BNCC em 2022.

sentido é que Brito e Gomes (2007) caracterizam a proposta de EFATR como uma perspectiva temática mediadora entre a Prática Dominante Atualmente (PDA) e a Tendência Atual (TA), que se aproxima da abordagem CTS. No entanto, o Ensino de Física Através de Temas sugerido por Brito (2004) possui componentes estruturais como a interdisciplinaridade, contextualização, desenvolvem a iniciativa do estudante, o que o coloca em condições de atender às novas demandas de ensino para uma formação cidadã (GOMES, 2005).

Brito (2004), já com base nos resultados aplicados no curso de Licenciatura em Ciências usando EFATR, argumenta que

Não é difícil perceber que os alunos ficam muito mais interessados em discutir e construir conhecimentos que estejam relacionados a seu cotidiano do que os conceitos formalmente hierarquizados que estamos acostumados a encontrar nos manuais didáticos. Imagine que um professor propõe a uma turma estudar Física começando por descrever qualitativamente e quantitativamente os movimentos, depois suas causas, depois a energia dos corpos em movimento, suas transformações, etc., enquanto outro propõe estudar física começando por entender como ocorrem os raios, relâmpagos e trovões, como funciona a visão humana, por que as garrafas de refrigerante quebra no congelador, que processos físicos estão envolvidos na industrialização do palmito, por exemplo. Parece evidente que a segunda abordagem é muito mais atraente, particularmente para aqueles não iniciados no estudo de Física (BRITO, 2004, p. 1).

1.3 Como se desenvolve a proposta de ensino de Física Através de Temas Regionais?

A proposta do EFATR é sugerida por Brito (2004), Gomes (2005) e Brito e Gomes (2007) para ser trabalhada em três etapas:

1ª etapa - Apresentação do tema: Inicialmente é feita uma Apresentação do tema para os estudantes, de forma dialógica, para demonstrar uma visão geral, mas sem entrar nos detalhes da conceituação científica. A exposição tem o objetivo de suscitar dúvidas, estimular a curiosidade, trazer motivação e chamar atenção dos estudantes para problemas/situações relacionadas ao tema que tanto o professor traga quanto os próprios estudantes. A forma de apresentar o tema é da escolha do professor, porém, deve provocar a curiosidade dos estudantes e ser dialógica, com

estratégias como: contar uma história²⁶, apresentar um texto motivador, fazer uma exposição dialogada com *slides*, exibição de um filme, visita a uma fábrica ou outro ambiente produtivo.

2ª etapa - Aprofundamento: Neste momento, de detalhamento conceitual, os conceitos científicos servem para explicar ou tirar dúvidas da etapa precedente que pode nascer de uma conversa informal com o objetivo de ultrapassar fronteiras, permitir que os estudantes possam perceber várias possibilidades quanto aos conceitos que vão surgir do tema, problematizando sempre os conhecimentos prévios levantados de maneira formal ou informal no primeiro momento. É um momento de buscar respostas aos questionamentos iniciais, fazendo ligação entre o tema e o saber científico. A ideia é esta segunda etapa já sanar muitas dúvidas, mas deixar para o terceiro momento a maior produção de conhecimentos por parte dos estudantes.

3ª etapa - Produção-Avaliação: nesta etapa os estudantes vão elaborar um produto que possa ao mesmo tempo contemplar as provocações do primeiro momento, bem como mostrar que estão se apropriando adequadamente do conhecimento científico. Esta fase, de formalização do saber científico, é construída com a ajuda do professor ou de outras pessoas, livros, Internet entre outras fontes para pesquisa seguras. É nesta etapa que há a maior parte da aprendizagem, pois “o estudante torna-se responsável pela construção do conhecimento” (BRITO, 2004, p. 20), mas tendo o professor como um importante mediador do processo. Nessa etapa os produtos gerados

(...) devem expressar o conhecimento físico construído coletivamente e coerente com os objetivos do currículo. Devido ao indispensável envolvimento do professor com a orientação dos alunos para a construção coletiva do conhecimento, fica bem caracterizada a avaliação de aprendizagem baseada em processo e não em momentos isolados, como ocorre na PDA (BRITO; GOMES, 2007, p. 4).

Apesar desta 3ª etapa ser chamada de Produção-Avaliação por Brito e Gomes (2007), é importante destacar que a avaliação ocorre não apenas nesta etapa, mas ao longo do processo, como indica o final da citação acima, o que é conseguido pela diversidade de recursos que podem ser utilizados para avaliação na

²⁶ É comum nessa proposta o uso de textos com narrativas regionalizadas.

segunda e terceira etapas. É possível citar uso de questionários, elaboração de cartas, resolução de exercícios, produção de textos, produção de vídeos, análise de discursos dos estudantes, envolvimento deles na proposta, entre outros, como pode ser percebido nos trabalhos que já aplicaram temas utilizando a perspectiva de Brito (2004), tais como Soares (2018) e Corrêa (2019).

1.4 Como está organizado o livreto?

1.4.1 Guia de atividades

Este Guia que compõe o produto educacional foi inspirado no Guia Pedagógico Semanal (GPS) proposto por Moreira e Lencastre (2015 apud MOREIRA, HENRIQUE; BARROS, 2020, p. 353), instrumento criado para que “os estudantes possam consultar todas as informações e orientações necessárias para acompanhar as aulas online”. Teve o objetivo de situar os estudantes sobre quais atividades deveriam desenvolver ao longo da aplicação do produto, sobre cada passo a ser tomado para o seu desenvolvimento.

O Guia de Atividades traz uma pequena apresentação em que situa o aluno e orienta como proceder durante as aulas. Após as apresentações ele traz as atividades com orientações, a serem realizadas, sejam elas de forma presencial ou fora da sala de aula.

1.4.2 Questionário de levantamento de conhecimentos prévios

Este questionário foi pensado como uma estratégia para compor o produto educacional porque visa explorar os conhecimentos prévios dos estudantes, bem como suscitar dúvidas, curiosidades, suas concepções espontâneas no primeiro momento para a partir delas desenvolver o tema. Parte-se do princípio de que o aluno já traz algum conhecimento de casa, de suas vivências, conhecimentos estes que já detém e que faz com que não chegue à escola com a mente puramente vazia, como uma *tábula rasa*. Assim, este questionário serve como ponto de partida para um conhecimento mais aprofundado (DEMO, 2000) e sugere-se que os estudantes respondam logo após a leitura do texto, mas também pode ser respondido antes da

leitura do texto, já que a própria leitura do texto pode já gerar discussões que interfiram nessas concepções prévias.

Este questionário é composto por 17 questões, sendo 10 delas subjetivas e 7 questões objetivas. Foi pensado assim para que os alunos pudessem responder da maneira que pensam e para que tivessem alternativas de respostas.

1.4.3 Texto motivador para apresentação do tema

O texto da apresentação do tema foi elaborado para despertar a curiosidade dos estudantes em relação ao tema, assim como Brito (2004) e Brito e Gomes (2005) propõem. Busca-se através de situações familiares dos estudantes fazer uma narrativa que aguça a curiosidade e proporcione o diálogo ao trazer perguntas que muitos já se fizeram, mas não sabem ao certo a resposta, mas sem ainda trazer respostas científicas relacionadas ao tema, o que ocorrerá apenas na segunda etapa da proposta. São discutidos mitos associados aos fenômenos dos raios e dados de acidentes com raios na Amazônia.

1.4.4 Textos e vídeos para a etapa de Aprofundamento

Foram propostos três textos para a fase de Aprofundamento, sendo um artigo publicado na revista Física na Escola, um livro didático diferenciado e uma Cartilha do INPE, como indicados abaixo:

- ❖ **Texto 1 (SABA, 2001):** A Física das tempestades e dos raios, que aborda questões e dúvidas frequentes sobre as tempestades, raios, relâmpagos e trovões. É um artigo da Revista Física na escola, publicado em 2001.
- ❖ **Texto 2 (WALKER, 2012):** Parte do capítulo 5 do livro O circo Voador da Física. É um livro de Jearl Walker republicado em 2012 que em seu capítulo 5 traz o tema Escapando de um estrondo de um trovão e aborda sobre tema com uma metodologia através de perguntas e respostas, esclarecendo sobre raios, relâmpagos e trovões.
- ❖ **Texto 3:** Cartilha Proteção contra raios do INPE²⁷: É uma cartilha publicada no site do INPE e serve de orientação para que acidentes com raios sejam evitados,

²⁷ Cartilha que pode ser acessada no link abaixo.
<http://www.inpe.br/webelat/homepage/menu/protacao/cartilha.de.protacao.contra.raios.php>

pois segundo o próprio instituto, 80% das mortes por raio no Brasil, podem ser evitadas se as pessoas tiverem as informações adequadas.

❖ **Vídeos de série sobre o tema:** além dos textos, também foram disponibilizados links dos três episódios de uma série exibida no Fantástico intitulada: “País dos raios”, de 2013, que estão disponíveis no youtube nos links: https://www.youtube.com/watch?v=e-KQ_F-e100, <https://www.youtube.com/watch?v=q6sTUOAisa8>, <https://www.youtube.com/watch?v=8OqHYA6FOOA>

1.4.5 Questionários de aprofundamentos 1 e 2

Foram elaborados dois questionários para servir como avaliação da fase de Aprofundamento a fim de identificar como os estudantes estavam compreendendo o que estavam estudando. O primeiro, com três questões subjetivas relacionadas ao que tinham lido ou assistido naquela etapa e o segundo com duas questões subjetivas.

1.4.6 Lista de exercícios

A lista de exercício foi elaborada com o intuito de exercitar as aprendizagens que estavam adquirindo no tema, de modo que os estudantes percebam que esse tema tem aparecido com certa frequência no ENEM (Exame Nacional do Ensino Médio) e poderiam tirar proveito disso, já que o exame se aproximava. Teve-se o cuidado de buscar 10 questões nas provas tanto do ENEM desde o ano de 2014, quanto de Universidades Federais, para que os alunos pudessem resolver e colocar em prática seu aprendizado.

1.4.7 Texto de Orientações para a etapa de produção- avaliação

Este texto traz orientações para o trabalho em equipe sobre produção do **vídeo** ou experimento sobre raios, relâmpagos e trovões, como fazer a parte escrita do trabalho, formatação e organização, assim como a orientação para o trabalho individual, que é a produção de uma **carta** destinada a um amigo ou parente em que

abordam sobre os riscos e como as pessoas devem se proteger das descargas elétricas atmosféricas.

1.5 Como os conceitos de Física aparecem nesta proposta?

O produto educacional aqui apresentado foi elaborado como um material de apoio às aulas dos professores para a abordagem do tema: raios, relâmpagos e trovões e uma perspectiva temática. Os conceitos de eletricidade, tais como carga elétrica, corrente elétrica, rigidez dielétrica do ar entre outros estão presentes na aplicação e caso o professor queira se aprofundar mais nesses conceitos associados ao tema, recomendamos a leitura do Apêndice A deste produto educacional.

É importante dizer que os professores podem fazer suas adaptações ou modificações que julgarem necessárias para o contexto de aplicação, conforme suas necessidades e de seus estudantes, mas sempre lembrando que o propósito fundamental é a promoção da Alfabetização científica no ensino de Física.

REFERÊNCIAS

- AULER, D. Novos caminhos para a educação CTS: ampliando a participação. *In*: SANTOS, W. L. P.; AULER, D. **CTS e educação científica desafios tendências e resultados de pesquisa**. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2011. p. 73-97.
- BRASIL. Ministério da Educação. **Lei nº 9394, de 20 de dezembro de 1996**. Estabelece as diretrizes e bases da educação nacional. Brasília, DF: MEC, 1996.
- BRITO, L. P. Ensino de física através de temas: uma experiência de ensino na formação de professores de ciência. *In*: CONGRESSO NORTE/NORDESTE DE EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS E MATEMÁTICA, 7., 2004, Belém, PA. **Anais [...]**. Belém, PA: 2004.
- BRITO, L. P. **Tópicos especiais em física, tecnologia e sociedade**. Belém: 2005. Notas de aula (UFPAPPGECM/NPADC).
- BRITO, L. P.; GOMES, N. F. O ensino de física através de temas no atual cenário do ensino de ciências. *In*: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 6., 2007, Florianópolis, SC. **Anais [...]**, Florianópolis, SC: ABRAPEC, 2007. Disponível em: https://abrapecnet.org.br/atas_enpec/vienpec/CR2/p962.pdf?msclkid=2706486da7d211ec8e4ff49f873c467b. Acesso em: 19 mar. 2022.
- CACHAPUZ, A. (org.). **A Necessária renovação do ensino das ciências**. São Paulo: Cortez Editora, 2005. Disponível em: <http://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/17569/material/T.5-%20A%20NECESS%3%81RIA%20RENOVA%3%87%3%83O%20DO%20ENSINO%20DA%20CI%3%8ANCIAAS.pdf>. Acesso em: 17 jan. 2021.
- FREIRE, P. **Educação como prática da liberdade**. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1999.
- FREIRE, P. **Ação cultural para a liberdade**: e outros escritos. 6 ed. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1982. Disponível em: <http://www.inpe.br/>. Acesso em: 16 jan. 2021.
- FREIRE, P. **Pedagogia da autonomia**: saberes necessários à prática educativa. 25. ed. São Paulo: Paz e Terra, 2002.
- FREIRE, P. **Pedagogia do oprimido**. São Paulo: Paz e Terra, 2009.
- GOMES, N. F. O Ensino de física através de temas no atual cenário do Ensino de Ciências. *In*: ENCONTRO DE PESQUISADORES EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 6., 2007, Florianópolis. **Atas [...]**. Florianópolis, 2007.
- OLIVEIRA, R. M.; CORRÊA, Y.; MORÉS, A. Ensino remoto emergencial em tempos de Covid-19: formação docente e tecnologias digitais. **Revista Internacional de Formação de Professores**, Itapetininga, v. 5, p. 1-18, 2020. Disponível em: <file:///C:/Users/ACER/Documents/NDE%20LICINAT/Downloads/alexandre,+179-Texto+do+Artigo-555-1-2-20200902.pdf>. Acesso em: 01 ago. 2022.
- ZABALA, A. **A Prática educativa**: como ensinar. Porto Alegre: Artmed, 1998.



UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DO PARÁ
SOCIEDADE BRASILEIRA DE FÍSICA
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

DÉBORA SANTOS MIRANDA
NILZILENE GOMES DE FIGUEIREDO



RAIOS, RELÂMPAGOS E TROVÕES:

Beleza natural, mitos, riscos e proteção

PARTE 2 – LIVRETO
SEÇÃO 1 - GUIA DE ATIVIDADES AOS
ESTUDANTES

SANTARÉM-PARÁ
2022

GUIA DE ATIVIDADES

COMPONENTE CURRICULAR: Ciências da Natureza e suas Tecnologias
(Física)

PROFESSOR(A): _____

Período: ___/___/___ a: ___/___/___

Atividades fora do horário da escola: 10 h

Atividades durante a aula de Física: 5 h

Carga horária total: 15 h

1. Apresentação:

Caros estudantes!

Este guia foi elaborado para orientá-los nas atividades que vocês precisarão desenvolver ao longo do estudo deste tema sobre **Raios, relâmpagos e trovões: beleza natural, mitos, riscos e proteção**. Leia com atenção e acesse os materiais que estão indicados para a leitura e os vídeos. É importante que você faça suas anotações do que vai aprendendo em seu caderno pois isso lhe ajudará com as avaliações da aprendizagem.

Haverá atividades fora da sala de aula, ou seja, atividades que vocês deverão realizar à em casa e outras que serão realizadas durante os encontros com seu/sua professor(a), na sala de aula.

Os materiais serão entregues no primeiro dia da apresentação do tema e vocês poderão fazer a leitura em casa, para posteriormente discutirmos na sala de aula.

Desejo muitas aprendizagens a todos!

2. Atividades a serem realizadas

1º Período: ___/___/___ a ___/___/___

Atividade fora da escola: 2 h

- Responda o questionário de conhecimentos prévios que se encontra na turma virtual do Google sala de aula e Whatsapp ou no material impresso que você recebeu.
- Leia o material da APRESENTAÇÃO DO TEMA que se encontra na turma

virtual do Google sala de aula e Whatsapp ou receba impresso em sua escola e faça a leitura.

Atividades durante a aula: 1 h

- Encontro virtual pelo presencial no dia ____/____/____ com o(a) professor(a), de ____h às ____h para dialogarmos sobre as hipóteses iniciais da turma e dar orientações para o segundo momento, o APROFUNDAMENTO do tema.

2º Período: ____/____/____ a ____/____/____

Atividades fora da escola: 2 h

- Para a etapa de APROFUNDAMENTO, assista os vídeos de três episódios de uma série exibida no Fantástico intitulada: “País dos raios”, de 2013, que se encontram disponíveis no Youtube. Faça as anotações e observações que achar necessárias em seu caderno. Os vídeos serão postados na turma virtual do Classroom e no grupo do Whatsapp, mas podem também ser acessados nos links abaixo (clique sobre o link):
https://youtu.be/e-KQ_F-e100 - Episódio 1 (12 min 28 s)
<https://youtu.be/q6sTUOAisa8> - Episódio 2 (12 min 39 s)
<https://youtu.be/8OqHYA6FOOA> - Episódio 3 (9 min 58s)
- Leia o texto 1 “A Física das Tempestades e dos raios”, que é um artigo da Revista Física na escola, publicado em 2001, e que foi disponibilizado na turma do Classroom e grupo de Whatsapp, e anote suas dúvidas e pontos que mais lhe chamaram atenção.
- Após assistir os vídeos e ler o texto, responda às perguntas criadas no QUESTIONÁRIO – APROFUNDAMENTO 1. Você deve responder essas perguntas até o dia ____/____/____. Esta atividade será considerada para avaliação de sua aprendizagem, portanto, capriche!
- Participe das discussões no grupo de Whatsapp sobre o que foi aprendido com a série do Fantástico e a leitura.

Atividade durante a aula de Física: 1h

- Encontro presencial no dia ____/____/_____ com o(a) professor(a), de ____h às ____h para dialogarmos sobre as aprendizagens desta fase de APROFUNDAMENTO do tema. O(a) professor(a) fará uma apresentação sobre raios e irá tirar algumas dúvidas dos estudantes.

3º Período: ____/____/____ a ____/____/____

Atividades fora da escola: 2 h

- Leitura do material do livro “Circo voador da Física” que trata sobre raios disponibilizado de forma material e em pdf na turma do grupo do Whatsapp e anote suas dúvidas e pontos que mais lhe chamaram atenção;
- Leitura a cartilha: “Proteção Contra raios” do INPE (Instituto Nacional de Pesquisa Espaciais) disponibilizada na turma e no grupo do Whatsapp e anote suas dúvidas e pontos que mais lhe chamaram atenção;
- Após assistir ler os textos, responda à pergunta no QUESTIONÁRIO – APROFUNDAMENTO 2. Você deve responder essas perguntas até o dia __/__/____. Esta atividade será considerada para avaliação de sua aprendizagem, portanto, capriche!
 - Resolução da lista de exercícios disponibilizada na turma e no Whatsapp. Esta lista também se encontra no material de apoio impresso para quem não tem acesso à internet. Esta atividade será considerada para avaliação de sua aprendizagem, portanto, capriche!

Atividade durante a aula de Física: 1,5 h

- Encontro com o(a) professor(a) de forma presencial de __h às __h para tirar dúvidas, discutir sobre as aprendizagens adquiridas, sintetizar conteúdos relevantes e resolver os exercícios. Nesse momento também serão dadas orientações para a terceira etapa PRODUÇÃO-AVALIAÇÃO.

4º Período: ____/____/____ a ____/____/____

Atividades fora da escola: 4 h

- Com base nas orientações do material de apoio para o terceiro momento de PRODUÇÃO-AVALIAÇÃO você deverá fazer as atividades e entregar ao professor até o dia ____/____/__. Esta atividade será considerada para avaliação de sua aprendizagem, portanto, capriche!
- As dúvidas podem ser tiradas presencialmente ou no grupo de Whatsapp.

Atividade durante a aula de Física: 1,5 h

- Encontro com o(a) professor(a) presencial no dia ____/____/__, de __h às __h para que os estudantes possam compartilhar o que produziram e o que aprenderam durante as aulas.
- Ao final da aula os estudantes terão acesso a um questionário com questões referentes ao tema para responderem e entregarem até o horário definido pelo(a) professor(a). Esta atividade será considerada para avaliação de sua aprendizagem, portanto, capriche!

3. Finalização das atividades

Ao final desse período de atividades você deverá estar apto para responder as questões levantadas inicialmente sobre raios, relâmpagos e trovões, a tomar decisões baseadas na Ciência para se proteger e orientar melhor seus familiares e amigos quanto aos riscos e proteção referentes a descargas elétricas. Também é importante ter compreendido os conhecimentos de Física que nortearam nossas discussões, em especial sobre Eletricidade (Campo elétrico, potencial elétrico, rigidez dielétrica, velocidade da luz e do som, entre outras), pois conhecer Física pode salvar sua vida e de outras pessoas que você conheça. Espero que você não pare por aqui e que busque mais conhecimentos científicos referentes a esse e outros temas que sejam importantes para sua vida.

**Sugestão de vídeo complementar: Documentário sobre raios no Brasil: Fragmentos de Paixão*

Referências do Guia de atividades

País dos raios (Documentário do Fantástico-Rede Globo). Episódio 1. 2013. Disponível em: https://youtu.be/e-KQ_F-e100. Acesso em: 27 mai. 2021.

País dos raios (Documentário do Fantástico-Rede Globo). Episódio 2. 2013. Disponível em: <https://youtu.be/q6sTUOAisa8>. Acesso em: 27 mai. 2021.

País dos raios (Documentário do Fantástico-Rede Globo). Episódio 3. 2013. Disponível em: <https://youtu.be/8OqHYA6FOOA>. Acesso em: 27 mai. 2021.

SABA, M. M. F. O raio passo a passo. **A Revista Física na Escola**, Rio de Janeiro, v. 4, n. 2, 2003. Disponível em: <http://www1.fisica.org.br/fne/phocadownload/Vol04-Num2/v4n2a031.pdf>. Acesso em: 10 fev. 2022.

WALKER, Jearl. **O Circo voador da Física**. Tradução de Cláudio Coutinho de Biasi. [Reimpr.]. Rio de Janeiro: LTC, 2012. Partes do Capítulo 5.

INPE. Cartilha: “Proteção Contra raios”. Disponível em: http://www.inpe.br/webelat/docs/Cartilha_Protecao_Contra_Raios_Brasil_2020.pdf. Acesso em: 27 maio 2021.



UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DO PARÁ
SOCIEDADE BRASILEIRA DE FÍSICA
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

DÉBORA SANTOS MIRANDA
NILZILENE GOMES DE FIGUEIREDO



PARTE 2 – LIVRETO
SEÇÃO 2 - QUESTIONÁRIO DE LEVANTAMENTO DE
CONHECIMENTOS PRÉVIOS

SANTARÉM-PA
2022

QUESTIONÁRIO DE LEVANTAMENTO DE CONHECIMENTOS PRÉVIOS

Caros estudantes!

Este questionário é destinado a avaliação de seus conhecimentos prévios sobre o tema que será trabalhado, sobre Raios, relâmpagos e trovões. Você deve respondê-lo sem consultar nenhum material ou site de internet, pois a intenção é saber o que vocês trazem de conhecimentos nesse primeiro momento para poder orientar as aulas seguintes. Não tenham vergonha de apresentarem suas hipóteses e é importante que respondam todas as questões. Conto com a colaboração de todos!

Professor(a) da turma

1. Qual seu e-mail?

Qual o seu nome?

2. Para você, o que são raios e por que eles ocorrem na atmosfera?

3. Relâmpago é a mesma coisa que raio?

() Sim () Não () Não faço ideia da resposta

4. Por que você acha que ocorre o relâmpago?

10. É possível um raio cair duas vezes no mesmo lugar?

- Não, é impossível é pouco provável sim, com certeza

11. Em uma tempestade com raios os bois, cavalos e carneiros correm mais perigos que humanos. Por que você acha que é mais perigoso para esses animais do que para os humanos?

12. Qual o procedimento mais seguro a seguir caso um raio atinja um veículo e você esteja dentro?

- Sair rapidamente do veículo colocando primeiro um pé no chão e depois o outro
- Sair do veículo de forma lenta sem tocar na lataria externa
- Permanecer no veículo sem tocar na lataria externa
- Permanecer no veículo com as janelas abertas e segurando na lataria do carro

13. É comum em época de tempestades as pessoas cobrirem espelhos por que **“espelho atrai os raios”**. No seu ponto de vista, essa afirmação: () Está correta () Não está correta () Tenho dúvidas se está correta ou não

14. É comum em época de tempestades as pessoas ficarem com medo de ficar próximos a metais, alegando que metais atraem raios. No seu ponto de vista, essa afirmação:

- Está correta
- Não está correta
- Tenho dúvidas se está correta ou não

15. É comum em época de tempestades as pessoas desligarem os eletrodomésticos das tomadas para evitar queimarem caso um raio caia. No seu ponto de vista, essa afirmação:

- () Está correta
- () Não está correta
- () Tenho dúvidas se está correta ou não

16. Você tem alguma dúvida sobre raios, relâmpagos e trovões aproveite para perguntar aqui.

Agradeço suas respostas. Elas serão muito úteis para nossas discussões durante os estudos deste tema.



UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DO PARÁ
SOCIEDADE BRASILEIRA DE FÍSICA
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

DÉBORA SANTOS MIRANDA
NILZILENE GOMES DE FIGUEIREDO



PARTE 2 – LIVRETO
SEÇÃO 3 - APRESENTAÇÃO DO TEMA

SANTARÉM-PARÁ
2022

1ª etapa

APRESENTAÇÃO DO TEMA

Todos nós já tivemos a oportunidade de presenciarmos um raio cortando o céu de onde moramos, e é curioso que desde a infância escutamos inúmeras histórias sobre este fenômeno. Essas curiosidades não são típicas de nossa civilização e é possível percebermos explicações míticas e religiosas sobre raios, relâmpagos e trovões em várias civilizações antigas e atuais. No entanto, já tivemos vários avanços e hoje já é possível dar explicações pautadas em conhecimentos científicos, apesar de algumas questões ainda permanecerem sem respostas.

É comum encontrarmos pessoas mais idosas, ou mesmo algumas mais jovens, que têm o hábito de cobrir espelhos quando começam as tempestades, alegando que o **“espelho atrai os raios”**. Será que há fundamento científico nessa afirmação? É comum também ouvirmos afirmações como: **“um raio não cai duas vezes no mesmo lugar”**, **“estamos protegidos dentro de casa”**, **“árvores são bons abrigos para se proteger dos raios”**, **“raios só caem em locais altos”**, **“é preciso desligar os eletrodomésticos das tomadas para evitar queimarem caso caia um raio”**, entre outras. Mas quais dessas afirmações tem fundamento científico, com base nas pesquisas já realizadas?

Em regiões chuvosas, como na comunidade Bela Vista do Rio Curuá, em Alenquer-PA, há relatos de moradores que dizem ter perdido muitas *reses*²⁸, que **“foram atingidas por descargas elétricas por estarem próximas às cercas”**, mas, segundo relatos de uma moradora da região, **“a incidência de raios diminuiu quando instalaram as torres do linhão que passam nos terrenos dos moradores”** e os raios começaram a ficar mais concentrados bem próximos às torres. Será que tem fundamento científico essa explicação? Por que será que **“os bois, cavalos e carneiros correm mais perigos que humanos”**? Uma outra moradora idosa da região também relatou que **“perdeu seu pai que foi atingido por um raio enquanto pescava”** e que raios são castigos divinos²⁹. Afinal, **“a que perigos os pescadores poderiam estar sujeitos quando há tempestades com raios?”**.

²⁸ Como são chamadas as cabeças de gado na região

²⁹ Dados coletados em entrevista realizada com duas moradoras da região.

Os mitos que são passados de pais para filhos, a religiosidade da família, entre outros fatores, também levam a várias crenças sobre esses fenômenos de raios, relâmpagos e trovões. Na maioria dos casos, são interpretados como manifestações divinas, ira contra as atitudes erradas dos homens, seja na crença de um Deus cristão, deuses gregos, romanos, nórdicos ou na cultura indígena brasileira, como veremos a seguir.

Para os gregos antigos, os raios eram lanças produzidas pelos gigantes ciclopes e essas lanças eram usadas por Zeus para punir humanos arrogante e pecadores. Como os romanos apropriaram-se muito da mitologia grega, o deus romano Júpiter também é descrito com hábito de punir os homens com lanças e a deusa da sabedoria Minerva era quem criava as lanças para esse deus. Entre os nórdicos, o deus do trovão era Thor, que gerava raios quando lançava seu martelo e o movimento das rodas de sua carruagem é que produziam o trovão. Mesmo na Europa medieval, as pessoas acreditavam que os sinos das igrejas podiam servir como uma proteção sagrada contraraios³⁰.

Entre os indígenas brasileiros também encontramos explicações sobre esses fenômenos, que se aproximam da concepção grega. Em sua grande maioria das lendas indígenas os raios são explicados como referência à Tupã e os trovões como a ira e a desadivindade para com os homens. Também veio dos indígenas a ideia de que os raios não caem duas vezes no mesmo lugar e “usavam pedaços de troncos de árvores carbonizados por raios como poderosos amuletos de proteção”³¹. No quadro a seguir temos parte de um artigo publicado na página do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) que conta um pouco da história da pedra-

AMULETOS DE PROTEÇÃO

(...) Outra crença popular considerava a pedra-de-raio um talismã para proteção pessoal e de residências entre povos europeus, asiáticos e americanos. No nordeste brasileiro, a pedra-de-raio é conhecida até hoje como pedra-de-corisco, por influência dos portugueses do século XVI. A pedra seria trazida pelo raio, cuja força meteórica a enterraria. (...) A origem destas ideias pode estar relacionada com achados de utensílios e armas de pedra polida de povos mais antigos. Sabe-se que os etruscos e, mais tarde, os romanos da antiguidade usavam a pedra (pontas de flechas e demartelos) em colares como amuleto. Ficavam à mostra no pescoço, mas também eram colocadas nas casas e no telhado com o intuito de ficar a salvo dos raios. Na Bahia, os escravos africanos acreditavam que a pedra-santa-bárbara, como chamavam a pedra-de-raio, desprendia-se da atmosfera durante as tempestades. Ela teria poderes curativos e por isso era utilizada em preparos de remédios para diversas doenças.

Fonte: <http://www.inpe.br/webelat/homepage/menu/el.atm/mitos.php>. Acesso: 12 maio. 2021.

³⁰ Fonte: <http://www.inpe.br/webelat/homepage/menu/el.atm/mitos.php>. Acesso em 10 mai. 2021.

³¹ Fonte: <https://cienciahoje.org.br/acervo/que-raio-de-historia/>. Acesso em 10 mai. 2021.

de-raio.

Como podemos perceber, há muitas explicações diferentes associadas a esses fenômenos, mas nossa civilização já teve o privilégio de avançar nos conhecimentos científicos sobre o tema. O Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), por meio do Grupo de Eletricidade Atmosférica (ELAT) tem apresentado resultados de vários anos de pesquisa que muito podem nos auxiliar na compreensão desses fenômenos, do ponto de vista da Física.

É importante sabermos que “80% das mortes ocorridas com raios no Brasil poderiam ser evitadas se as vítimas tivessem mais informações e regras básicas de proteção”. Essa foi uma afirmação feita pelo Engenheiro eletricista Osmar Pinto Júnior e a jornalista Iara Cardoso no livro “Brasil: que raio de história”³². Essa afirmação nos faz pensar o quanto é importante discutirmos esse tema nas escolas, tendo como oportunidade as aulas de Ciências da Natureza/Física, afinal, o fenômeno é belo, mas precisamos saber os riscos que corremos, como podemos nos proteger e como orientar as pessoas que conhecemos para evitarem acidentes com raios durante uma tempestade.

Além de buscarmos explicações na Ciência para os questionamentos destacados no texto em vermelho, buscaremos responder outras questões como as listadas abaixo, ou outras que possam surgir durante nossas aulas.

1. *O que são os raios?*
2. *Por que os raios quando caem produzem luzes e sons?*
3. *Por que o raio segue um caminho todo torto?*
4. *O que pode acontecer se um raio atingir um avião?*
5. *Em um dia de tempestades com raios, que lugar(es) é/são mais seguro(s) para ficar?*
6. *Qual o procedimento mais seguro a seguir caso um raio atinja um veículo e você esteja dentro?*
7. *Por que no Brasil, em especial na região Norte, há maior incidência de raios?*

Antes de passarmos para a etapa de **Aprofundamento** do tema, precisamos saber seus conhecimentos prévios sobre as questões aqui apresentadas, ou seja, que respostas você daria para essas questões, antes de começarmos a aprofundá-las. Neste momento não haverá certo ou errado, pois o que pretendemos é apenas saber

³² <https://cienciahoje.org.br/acervo/que-raio-de-historia/>. Acesso em 10 mai. 2021.

para partir desses conhecimentos para aprofundarmos no segundo momento.

Acesse AQUI a *apresentação do tema criado em um programa de apresentações.*



UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DO PARÁ
SOCIEDADE BRASILEIRA DE FÍSICA
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

DÉBORA SANTOS MIRANDA
NILZILENE GOMES DE FIGUEIREDO



PARTE 2 – LIVRETO
SEÇÃO 4 - APROFUNDAMENTO

SANTARÉM-PA

2022

APROFUNDAMENTO

Chegamos à segunda etapa dos nossos estudos sobre Raios, relâmpagos e trovões. É hora de aprofundarmos os conhecimentos sobre os questionamentos que foram levantados no texto anterior. Vimos na Apresentação do tema que desde as civilizações mais antigas a humanidade vem tentando explicar como e por quê ocorrem estes fenômenos da natureza, muitas vezes com explicações místicas e ou religiosas. Agora vamos buscar compreender por que ocorrem esses fenômenos do ponto de vista da Ciência. É importante destacar que ainda há questões sem respostas sobre esse tema, mas há hipóteses plausíveis para algumas questões.

Neste material trazemos uma coletânea de textos publicados por pesquisadores que em muito podem nos ajudar nesse aprofundamento, na busca por respostas aos questionamentos levantados. Buscaremos os conceitos e equações de Física à medida da necessidade para compreendermos as questões que surgirem no tema. Durante os encontros com o(a) seu/sua professor(a) também serão trazidos materiais, serão feitas exposições com a intenção de auxiliá-lo nessa compreensão, mas suas leituras e busca por respostas também são fundamentais.

Ao longo das aulas aparecerão algumas curiosidades que poderão ser compartilhadas com os seus colegas, familiares, afim de que você possa aprender cada vez mais com essa interação. Também faremos sugestões de alguns vídeos e outras leituras complementares ao longo das aulas. Por fim, seu(sua) professor(a) sintetizará as principais discussões trazidas em uma exposição.

Agora, leia os textos sugeridos, participe das discussões e acompanhe as aulas do seu (sua) professor(a).

Você pode acessar uma apresentação síntese para esta etapa, explorando os conceitos físicos [associados ao tema clicando AQUI](#).

Como as nuvens seformam?

A origem de uma nuvem está no calor que é irradiado pelo Sol atingindo a

superfície de nosso planeta. Este calor evapora a água que sobe por ser menos denso que o ar ao nível do mar. Ao encontrar regiões mais frias da atmosfera o vapor se condensa formando minúsculas gotinhas de águas que compõem então as nuvens.

que para o vapor tornar-se uma gotinha d'água ele precisa encontrar na atmosfera partículas sólidas sobre as quais se condensar. Essas partículas estão sempre em suspensão no ar, mesmo nas regiões onde o ar é muito puro.

Todas as nuvens produzem relâmpagos?

Não. Somente as nuvens de tempestades, conhecidas como cumulonimbus, possuem os ingredientes necessários para produzir relâmpagos: ventos intensos, grande extensão vertical e partículas de gelo e água em diversos tamanhos.

Marcelo M.F. Saba

Pesquisador do Grupo de Eletricidade Atmosférica
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
C.P. 515 - 12201-970
S. José dos Campos, SP, Brasil
e-mail: saba@dge.inpe.br



A Física das tempestades e dos Raios.

Basta então calor e umidade?

Não. Na atmosfera a temperatura do ar diminui com a altura. Dependendo de quão rápida é esta diminuição, o crescimento de uma nuvem pode ser acelerado ou inibido. Alguns outros fatores podem também dar uma "mãozinha" para que a nuvem cresça: as montanhas, onde ventos batem forçando o ar

quente subir, e as frentes frias, camadas de ar frio que funcionam como uma cunha empurrando o ar quente para cima. Sabemos ainda

Que aspecto têm as nuvens de tempestade?

Estas nuvens são enormes. Elas têm sua base em 2 ou 3 km e o topo em até 20 km de altitude! Podem ter 10 ou mesmo 20 km de diâmetro. Normalmente têm a sua base escura, pois a luz solar é absorvida e espalhada pelas partículas de água e gelo de que são formadas. O seu topo muitas vezes atinge a base da estratosfera

(camada da atmosfera logo acima da troposfera, onde vivemos). Ao atingir a base da estratosfera, a nuvem não consegue mais subir, pois a tempe-

Neste artigo explicam-se diversos aspectos sobre a física envolvida na formação de nuvens de tempestades e relâmpagos, fenômenos que por milhares de anos assustaram a humanidade e com os quais devemos ter alguns cuidados.

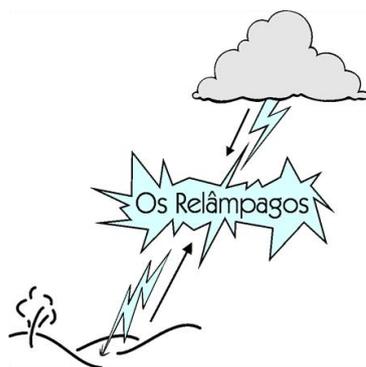
ratura nessa camada tende a aumentar devido à absorção do ultravioleta pela camada de ozônio. Assim ela se espalha horizontalmente na direção dos ventos nessa altitude, fazendo que a nuvem tenha o aspecto de uma bigorna. As nuvens de tempestade geralmente estão associadas a: chuvas torrenciais e enchentes, granizo ou “chuva de pedra”, ventos intensos ou “rajadas de vento”, e eventualmente os temíveis tornados. A quantidade de energia envolvida em apenas uma tempestade modesta é assustadora. Ela é várias vezes superior à energia liberada pela primeira bomba atômica detonada em um deserto dos Estados Unidos em 1945. A diferença é que a bomba atômica libera toda sua energia em uma fração de segundo, enquanto uma tempestade o faz durante um período de muitos minutos ou várias horas.

Qual o efeito das tempestades sobre o clima?

As tempestades são como grandes trocadores de calor. Ou seja, o ar que próximo ao chão encontrava-se, em dias de verão, a quase 40 °C, pode ser transportado até o topo da tempestade onde pode chegar com a temperatura de -70 °C. Existem estimativas de que o nosso planeta sem essas nuvens trocadoras de calor teria uma temperatura média 10 °C maior.

Por que as nuvens se eletrificam?

Ainda não há uma teoria definitiva que explique a eletrificação das nuvens. Há, no entanto, um consenso entre os pesquisadores de que a eletrificação surge da colisão entre partículas de gelo, água e granizo no interior da nuvem. Uma das teorias mais aceitas nos diz que o granizo, sendo mais pesado, ao colidir com cristais de gelo, mais leves, fica carregado negativamente, enquanto os cristais de gelo ficam carregados positivamente. Isso explicaria o fato de a maioria das nuvens de tempestade terem centro de cargas negativas embaixo e um centro de cargas positivas na sua parte superior. Algumas nuvens apresentam também um pequeno centro de cargas positivas próximo à sua base.



Por que existem relâmpagos?

Quando a concentração de cargas no centro positivo e negativo da nuvem cresce muito, o ar que os circunda já não consegue isolá-los eletricamente. Acontecem então descargas elétricas entre regiões de concentração de cargas opostas que aniquilam ou pelo menos diminuem essas concentrações. A maioria das descargas (80%) ocorre dentro das nuvens, mas como as cargas elétricas na nuvem induzem cargas opostas no solo, as descargas podem também se dirigir ao solo.

Quando e quem descobriu que os raios eram enormes descargas (faíscas) elétricas?

Em 1752, Benjamin Franklin propôs uma experiência para verificar se as nuvens possuíam eletricidade. Sugeriu que uma pessoa subisse no alto de uma montanha em um dia de tempestade e verificasse se de uma haste metálica isolada do chão pulariam faíscas em direção aos dedos da sua mão. Era uma experiência arriscadíssima que ele mesmo não a realizou, talvez por não haverem montanhas suficientemente altas na Filadélfia, onde morava. Quem a realizou pela primeira vez foi Thomas François Dalibard, na França, em maio de 1752. Um mês depois, sem saber do sucesso da experiência na França, Franklin conseguiu uma maneira de realizar na Filadélfia. Em um dia de tempestade empinou uma pipa e observou faíscas pularem de uma chave amarrada próximo da extremidade da linha à sua mão. Tanto uma

como outra experiência não devem ser repetidas por ninguém. Várias pessoas morreram tentando repeti-las!

Como funciona o pára-raios?

Um pára-raios nem atrai nem repele os raios. Ele também não descarrega a nuvem como pensava Benjamin Franklin. Ele simplesmente oferece ao raio um caminho fácil até o solo que é ao mesmo tempo seguro para nós e para o que pretendemos proteger.

Quais os tipos de relâmpagos?

Aqueles que tocam o solo (80%) podem ser divididos em descendentes (nuvem-solo) e ascendentes (solo-nuvem). Os que não tocam o solo podem ser basicamente de três tipos: dentro da nuvem, da nuvem para o ar e de uma nuvem para outra. O tipo mais frequente dos raios é o descendente. O raio ascendente é raro e só acontece a partir de estruturas altas no chão (arranha-céus) ou no topo de montanhas (torres, antenas). Os raios ascendentes têm sua ramificação voltada para cima.

O que é um raio bola?

O raio bola é o mais misterioso dos raios e, portanto o que mais intrigou os cientistas. Ele já foi observado por milhares de pessoas e, no entanto não há até hoje medidas suficientes que possam comprovar qualquer uma das várias teorias elaboradas para explicá-lo. Normalmente o seu tamanho varia entre o de uma bolada de ping-pong e o de uma grande bola de praia, e sua duração é em média 15 segundos; possui um colorido na maioria das vezes amarelado e luminosidade menor do que uma lâmpada de 100 W. Flutua pelo ar não muito longe do chão, e não segue necessariamente a direção do vento. Costuma desaparecer silenciosamente ou acompanhado de uma explosão.

Existem raios positivos e negativos?

Sim. Os raios têm a sua polaridade atribuída conforme o tipo de carga que neutralizam na nuvem. Portanto, se um raio neutralizar cargas negativas na nuvem ele é um raio negativo. Na prática não pode-

mos dizer com certeza se um raio é positivo ou negativo a não ser com o auxílio de instrumentos adequados.

Quais as fases de um raio?

Um raio começa com pequenas descargas dentro da nuvem. Estas descargas liberam os elétrons que começarão seu caminho de descida em direção ao solo. Esse caminho de descida é tortuoso e truncado em passos de 50 metros, como que buscando o caminho mais fácil. Esta busca de uma conexão com a terra é muito rápida (330.000 km/h) e pouco luminosa para ser visto a olho nu. Quando essa descarga, conhecida como 'líder escalonado', encontra-se a algumas dezenas de metros do solo, parte em direção a ela uma outra descarga com cargas opostas, chamada de 'descarga conectante'. Forma-se então o que é conhecido como o canal do raio, um caminho ionizado e altamente condutor. Por ele passa um gigantesco fluxo de cargas elétricas denominado 'descarga de retorno'. É neste momento que o raio acontece com a máxima potência, liberando grande quantidade de luz.

O raio pisca?

Se houver cargas disponíveis na nuvem, uma outra descarga intensa (chamada 'subseqüente') pode acontecer logo após a primeira. Aproximadamente metade dos raios possui descargas subseqüentes. Eles são chamados de raios múltiplos. Em média o número de descargas subseqüentes em raios múltiplos é três, mas já foram observadas mais de 50 descargas subseqüentes em um mesmo raio. O tempo entre uma descarga e outra é às vezes suficientemente longo possibilitando ao olho humano ver não uma, mas várias descargas acontecendo no mesmo local; é quando vemos o raio piscar.

Sobe ou desce?

As duas coisas. Se pensarmos em termos das cargas elétricas que fluem no raio, concluiremos, como foi explicado anteriormente, que as cargas descem um bom trecho do caminho antes de se encontrarem com uma descarga que parte do solo subindo

em direção a ela para formar o caminho do raio.

Por que os raios se ramificam?

A primeira descarga do raio geralmente apresenta-se muito ramificada pois no seu caminho até o solo as cargas elétricas buscam o caminho mais fácil (em termos de menor resistência do ar) e não o mais curto (que seria uma linha reta). O caminho mais fácil, geralmente em zigue-zague, é determinado por diferentes características elétricas da atmosfera, que não é homogênea.

Qual a duração de um raio?

Um raio composto de várias descargas pode durar até 2 segundos. No entanto, cada descarga que compõe o raio dura apenas frações de milésimos de segundo.

Qual a sua voltagem e corrente?

A voltagem de um raio encontra-se entre 100 milhões a 1 bilhão de Volts. A corrente é da ordem de 30 mil Ampères, ou seja, a corrente utilizada por 30 mil lâmpadas de 100 W juntas. Em alguns raios a corrente pode chegar a 300 mil Ampères!

Qual a energia envolvida em um raio?

Grande parte da energia de um raio é transformada em calor, luz, som e ondas de rádio. Apenas uma fração dela é convertida em energia elétrica. Sabemos que a duração de um raio é extremamente curta, assim, apesar dos grandes valores de corrente e voltagem envolvidos a energia elétrica média que um raio gasta é de 300 kWh, ou seja, aproximadamente igual à de uma lâmpada de 100 W acesa durante apenas quatro meses.

É possível utilizar a energia de um raio?

Para que pudessemos utilizar essa energia, necessitaríamos não só capturá-la mas também armazená-la, o que é ainda impossível. Para capturar raios seria necessária uma quantidade muito grande de hastes metálicas para aumentar a chance de que fossem atingidas. No entanto, encontram-se em andamento pesquisas que

tentam drenar as cargas elétricas das nuvens de tempestade com o auxílio de potentíssimos raios laser. A idéia é tentar, com o auxílio do laser, guiar o raio até um local onde fosse possível armazenar a sua energia.

Qual a sua espessura e comprimento?

O raio pode ter até 100 km de comprimento. Raios com esse comprimento geralmente envolvem mais de uma nuvem de tempestade. Apesar de seu grande comprimento, a espessura do canal de um raio é de apenas alguns centímetros.

Qual a temperatura de um relâmpago?

A temperatura é superior a cinco vezes a temperatura da superfície solar, ou seja, a 30.000 graus Celsius. Quando um raio atinge e penetra nos solos arenosos a sua alta temperatura derrete a areia, transformando-a em uma espécie de tubo de vidro chamado fulgurito.

O que é o trovão?

Muita gente acha que o trovão é o barulho causado pelo choque entre nuvens. Esta idéia é errada e muito antiga. Lucrécio (98-55 a.C.) acreditava que tanto o raio como o trovão eram produzidos por colisões entre nuvens. Na verdade é o rápido aquecimento da corrente elétrica do raio que produz o trovão. Assim como uma corrente elétrica aquece a resistência de nossos aquecedores, a corrente do raio, ao passar pelo ar (que é um péssimo condutor), aquece-o e ele se expande com violência, produzindo um som intenso e grave. Nos primeiros metros a expansão ocorre com velocidade supersônica. Um trovão intenso pode chegar a 120 decibéis, ou seja, uma intensidade comparável à que ouve uma pessoa nas primeiras fileiras de um show de rock.

Como saber se o raio "caiu" perto?

A luz produzida pelo raio chega quase que instantaneamente na vista de quem o observa. Já o som (trovão) demora um bom tempo, pois a sua velocidade é aproximadamente um milhão de vezes menor. Para saber a

que distância aconteceu o raio, comece a contar os segundos ao ver o seu clarão e pare de contar ao ouvir o seu trovão. Divida o número obtido por três e você terá a distância aproximada do raio até você em quilômetros. Essa conta se explica se tivermos em conta que a velocidade do som é de aproximadamente 330 m/s, ou seja, um terço de quilômetro por segundo.

Se o raio dura apenas frações de segundo, porque o trovão é tão longo?

O som do trovão inicia-se com a expansão do ar produzida pelo trecho do raio que estiver mais próximo do observador e termina com o som gerado pelo trecho mais distante (sem considerar as reflexões que possa ter). Como vimos, o canal do raio pode ter dezenas de quilômetros. Assim, o som gerado por uma extremidade que esteja muito distante pode chegar dezenas de segundos depois de ouvirmos o som gerado por um trecho do canal que estiver mais próximo.

A que distância pode-se ouvir o trovão?

Um trovão dificilmente pode ser ouvido se o raio acontecer a uma distância maior do que 25 quilômetros. Isso deve-se à tendência que o som tem de curvar-se em direção a camadas de ar com menor temperatura (refração). Como a temperatura da atmosfera geralmente diminui com a altura, o som do trovão curva-se para



Foto do primeiro raio artificial induzido no Brasil.

cima passando por cima do observador.

Além da luz, o raio produz alguma outra radiação?

Além de produzir luz, o raio produz ondas eletromagnéticas em várias outras frequências, inclusive raios-X. É comum ouvirmos ruídos e chiados ao sintonizarmos uma rádio AM em dia de tempestade. Isso ocorre porque o raio também produz ondas nesta faixa de frequência. Graças a essa característica, antenas sincronizadas

podem localizar o local de sua ocorrência com precisão simplesmente recebendo a onda eletromagnética produzida pelos raios.

O que são os raios induzidos?

Uma grande dificuldade no estudo dos raios é não poder reproduzi-los em laboratório. Como a natureza não avisa onde e quando o raio vai ocorrer, uma maneira alternativa de estudá-lo consiste em provocar o raio para que aconteça próximo aos instrumentos de medida e no momento em que estiverem preparados. Para que isso aconteça, foguetes especialmente preparados são lançados em direção à base de uma nuvem de tempestade. Eles têm aproximadamente 1 metro de comprimento e levam consigo uma bobina de fio de cobre que se desenrola ao longo da subida. O fio de cobre atua como um gigante pára-raios cuja presença induz a ocorrência do raio. A corrente elétrica do raio passa pelo fio e por instrumentos de medida na base de lançamentos. Outras medidas podem ser feitas também ao redor da base. Raios induzidos foram feitos pela primeira vez no Brasil na sede do INPE em Cachoeira Paulista, em novembro de 2000.

Notas

Mais informações sobre o assunto podem ser encontradas na internet: www.lightning.dge.inpe.br e com o autor, Marcelo Saba, pelo e-mail: saba@dge.inpe.br



Material

- caixa de sapato;
- papel vegetal;
- papel alumínio.

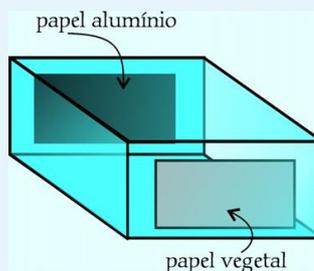
Procedimento

Corte um retângulo grande em um dos lados menores de uma caixa de sapato e cubra-o com papel vegetal. No lado oposto abra um quadrado de 1,5 cm de lado e cubra-o com papel alumínio (ver figura).

Faça um furo pequeno no papel

Imagens Múltiplas

alumínio. Feche a caixa e aponte-a para alguma coisa bem iluminada (ou mesmo o filamento de uma lâmpada



transparente) e veja a imagem formada no papel vegetal. Faça outro furo no papel alumínio.

Observe que...

Para cada furo feito no papel alumínio, aparece uma nova imagem sobre o papel vegetal.

Tópicos de Discussão

- Propagação retilínea da luz
- Formação de imagens na câmara escura
- Princípios da fotografia

QUESTÕES – APROFUNDAMENTO 1

Nome: _____

Data: ____ / ____ / _____

Após assistir os três episódios de uma série exibida no Fantástico intitulada: “País dos raios”³³, de 2013 e fazer a leitura do texto “A Física das Tempestades e dos raios”, que é um artigo da Revista Física na escola, publicado em 2001, responda as questões abaixo:

- 1) Comente como os cientistas conseguem prever que vai cair uma descarga elétrica (raio) e como são feitas as pesquisas sobre raios, relâmpagos e trovões.
- 2) Comente abaixo qual/quais situação ou situações discutida(s) no vídeo ou no texto que surpreenderam você e que você pensava de forma diferente antes de ter acesso a esse material.
- 3) Destaque pelo menos duas perguntas que foram feitas no texto APRESENTAÇÃO DO TEMA ou do questionário de CONHECIMENTOS PRÉVIOS e responda com base no que aprendeu nesses vídeos e texto.

³³ https://youtu.be/e-KQ_F-e100 - Episódio 1 (12 min 28 s)

<https://youtu.be/q6sTUOAisa8> - Episódio 2 (12 min 39 s)

<https://youtu.be/8OqHYA6FOOA> - Episódio 3 (9 min 58s)

Texto 02: Capítulo do livro Circo Voador da Física de Jearl Walker (2012)

C • A • P • Í • T • U • L • O 5

Escapando de um Estrondo e de um Clarão

5.1 • Raios

O que causa os raios e por que eles produzem sons e luzes? Como podem ser vistos a grandes distâncias? Os relâmpagos são largos?

Resposta O raio é uma descarga elétrica (centelha) muito grande entre as nuvens e a terra. Embora os detalhes da descarga tenham sido calculados e medidos, ainda não se sabe muito bem por que as nuvens ficam carregadas e o que produz a descarga. A explicação mais comum para as cargas é que colisões entre o granizo e cristais de gelo menores transferem elétrons para o granizo, que desce para a parte inferior de uma nuvem. Como os elétrons têm carga negativa, a base da nuvem fica com uma carga negativa; como a parte superior da nuvem perdeu elétrons, fica com uma carga positiva. Uma pequena quantidade de cargas positivas também existe em algum lugar perto da base.

A terra normalmente é rica em elétrons que podem se mover de um lugar para outro; quando existe uma nuvem carregada nas proximidades, os elétrons são repelidos pela carga negativa da base da nuvem. Ao perder elétrons, a terra abaixo da nuvem fica com uma carga positiva. Essa carga e as cargas da nuvem produzem um grande campo elétrico entre a terra e a nuvem. Se o campo excede um valor crítico, ocorre uma descarga, que começa na base da nuvem, quando alguns elétrons saltam de repente em direção à pequena quantidade de cargas positivas que existe nas proximidades.

Em seguida, um *líder escalonado* começa a serpentear em direção à terra, *ionizando átomos* (removendo os elétrons da última camada) e levando parte das cargas negativas da nuvem para a terra. Esse trajeto, que é fraco demais para ser visto, acontece em saltos de 50 metros (por isso é “escalonado”), com muitas ramificações. Embora o relâmpago em geral pareça vertical para um observador na terra, o movimento das cargas é quase horizontal. Somente quando se aproxima da terra é que o relâmpago parece “notar” a presença de objetos como árvores ou pára-raios.

Formam-se canais de átomos ionizados que partem desses objetos para cima. Quando uma dessas *descargas conectantes* encontra o líder escalonado, cria-se um *caminho condutor* entre a terra e a nuvem e os elétrons perto da terra são acelerados para baixo em direção à terra por um campo elétrico. Essa descarga de elétrons para a terra, chamada *descarga de retorno*, sobe rapidamente pelo caminho condutor até chegar à base da nuvem. Como os elétrons estão acelerados, colidem violentamente com as moléculas de ar que encontram no caminho, arrancando elétrons e aumentando em muito a temperatura das moléculas. Por causa do aquecimento, o ar se expande tão depressa que produz uma onda de choque, que é o estrondo do trovão. A recombinação dos elétrons livres com as moléculas de ar produz a luz intensa do relâmpago. Embora o relâmpago seja muito luminoso, o caminho condutor no qual acontece toda a

atividade provavelmente tem menos de um centímetro de diâmetro.

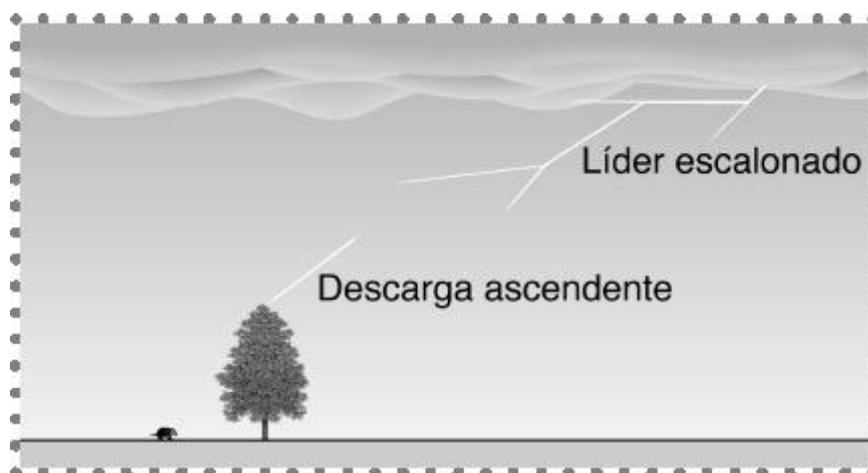


Figura 5-1 / Item 5.1

Uma vez criado o caminho condutor, uma nuvem pode enviar vários pulsos de elétrons para baixo, quando novos elétrons se movem do resto da nuvem para o ponto mais elevado do caminho condutor. Esses pulsos múltiplos podem ser observados como um relâmpago intermitente. Se um vento forte desloca o caminho para o lado durante os pulsos múltiplos, o relâmpago assume a aparência de uma “faixa” luminosa no céu.

A maioria dos relâmpagos envolve um líder escalonado que se propaga para baixo e uma transferência de elétrons da nuvem para a terra. Entretanto, um líder escalonado que se propaga para baixo também pode surgir na região mais alta da nuvem, que tem carga positiva; nesse caso, os elétrons são transferidos da terra para a nuvem. Os líderes escalonados também podem surgir na terra ou, o que é mais provável, em estruturas altas como um arranha-céu, e se propagar para cima. Um líder escalonado que se dirige para a parte inferior da nuvem transfere elétrons para a terra, enquanto outro que se dirige para a parte superior da nuvem transfere elétrons para a nuvem. É fácil reconhecer os líderes escalonados que se propagam para cima porque eles *se ramificam para cima*. O *relâmpago-aranha*, um lindo espetáculo luminoso que se espalha lentamente pelo céu e enfeita a parte inferior das nuvens de tempestade, é formado em geral por descargas de uma nuvem para outra durante os últimos estágios de uma tempestade.

5.1 • Raios: pessoas, vacas e ovelhas

Por que o impacto direto de um raio costuma ser fatal? Por que os sapatos e as roupas às vezes são arrancados da vítima de um raio? Se a pessoa estiver ao ar livre durante uma tempestade de raios, o que deve fazer para correr menos risco? É melhor se abrigar debaixo de uma árvore ou ficar de pé em campo aberto? A pessoa deve ficar parada, agachar-se ou correr? Por que o cabelo da pessoa pode ficar em pé? Isso é sinal de perigo?

Por que grupos de pessoas, tais como os jogadores durante uma partida de futebol, correm o risco de ser atingidos por um raio? Se o raio é tão estreito que só pode atingir um dos jogadores, por que, às vezes, todos os jogadores que estão em campo são derrubados?

Por que, em uma tempestade de raios, os bois, cavalos e carneiros correm mais perigo que as pessoas?

De acordo com muitos relatos, Benjamin Franklin, o famoso cientista e estadista americano, empinou uma pipa enquanto uma tempestade de raios se aproximava para demonstrar as propriedades elétricas dessas tempestades. Por que não foi morto por um raio?

Resposta Uma pessoa pode ser ferida ou morta por um raio de cinco maneiras.

(1) O modo mais óbvio é o impacto direto de um raio, que pode fazer passar uma grande quantidade de corrente (elétrons) pelo peito, parando o coração, paralisando os músculos da respiração e causando queimaduras internas. Se a vítima estiver muito molhada, boa parte da corrente pode passar por fora do corpo e o raio pode não ser fatal.

(2) A pessoa pode se ferir se estiver encostada em um objeto, tal como um carro, que seja atingido por um raio. Nesse caso, parte da corrente pode passar pela pessoa.

(3) A pessoa também pode se ferir por estar perto de um objeto, como, por exemplo, uma árvore, que seja atingido por um raio. Nesse caso, parte da corrente pode saltar pelo ar até a vítima, fenômeno conhecido como *descarga lateral*. Se a vítima tiver sorte, a corrente pode ser pequena demais para ser mortal.

(4) Um modo mais sutil pelo qual um raio pode causar ferimentos ou mortes é a *corrente de terra*, que é a corrente

produzida na terra pelo raio. Se a vítima estiver de pé com um pé mais próximo do ponto de impacto do que o outro, a corrente de terra pode subir por uma perna, atravessar o tronco da pessoa e descer pela outra perna (Fig. 5-2a). Se a intensidade da corrente for pequena, a vítima pode sofrer apenas uma paralisia temporária. Correntes de terra podem derrubar várias pessoas ao mesmo tempo, tais como os participantes de uma partida de futebol.

(5) O quinto modo é ainda mais sutil. Como foi explicado anteriormente, em um raio comum um líder escalonado desce da nuvem em ziguezague e encontra uma descarga conectante curta na qual o ar sofre ionização. Depois de estabelecido o contato, acontece a descarga propriamente dita, com correntes enormes. Outras descargas conectantes também podem acontecer sem fazer contato com o líder escalonado. Embora a corrente total do raio não escoe por essas descargas conectantes sem saída, ainda assim são canais nos quais os elétrons são arrancados das moléculas de ar. Se uma dessas descargas passar por uma pessoa, a passagem de elétrons pela pessoa pode ser mortal.

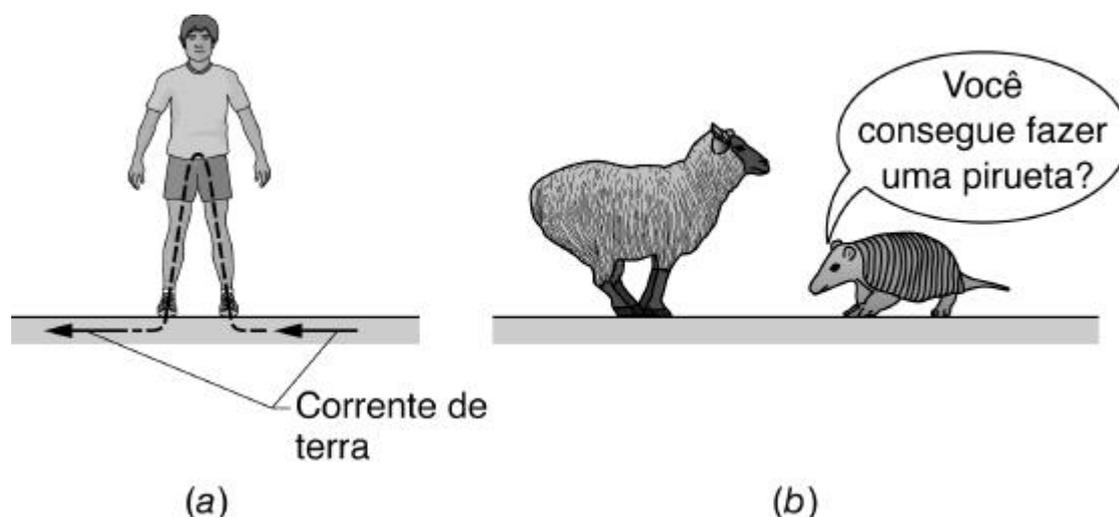


Figura 5-2 / Item 5.2 (a) A corrente de terra produzida por um relâmpago pode subir pelo corpo por causa dos pés separados. (b) Uma ovelha se protege contra a corrente de terra.

As queimaduras produzidas por um raio na pele de uma pessoa às vezes são *dendríticas* (com ramificações em forma de samambaia, padrão conhecido como *figura de Lichtenberg*), porque a corrente se irradia a partir de um ponto inicial. (Uma pessoa de imaginação fértil pode interpretar o padrão como a imagem de uma flor, de uma paisagem, ou do seu líder religioso favorito, mas os relâmpagos não tiram

fotografias nem desenham figuras religiosas.) Se a pessoa estiver em contato com uma peça de metal, mesmo que seja apenas a armação de arame de um sutiã, a temperatura do metal pode aumentar suficiente para queimar a vítima. Se as roupas e os sapatos da pessoa estiverem muito molhados, podem ser arrancados quando a corrente esquenta a água, fazendo-a evaporar com um aumento explosivo de volume.

O melhor conselho para uma pessoa que está ao ar livre durante uma tempestade é afastar-se de árvores altas e outras estruturas altas e condutoras que os raios podem procurar, procurar um local baixo, baixar a cabeça, agachar-se e manter os pés juntos para reduzir a possibilidade de uma corrente de terra através do tronco. Correr pode ser uma boa opção, mesmo que a cabeça tenha que ficar um pouco alta, porque apenas um pé fica na terra de cada vez. Os bois, cavalos e carneiros correm mais perigo que as pessoas por causa das correntes de terra, já que as patas dianteiras e traseiras ficam bem separadas, o que pode permitir que uma corrente de terra maior passe pelo corpo. As pessoas podem manter os pés juntos, mas isso é difícil para um carneiro (Fig. 5-2b).

Quando uma pessoa é atingida por um raio, o coração muitas vezes volta a funcionar automaticamente, mas o mesmo não acontece com os pulmões. Assim, restabelecer a respiração da vítima usando a respiração boca-a-boca é extremamente importante. Se o coração não volta a bater ou começa a fibrilar, torna-se necessário usar um desfibrilador.

O raio pode, em alguns casos, atingir a vítima dentro de casa, entrando por uma antena de televisão externa não-aterrada (mas não por uma antena interna), pela linha telefônica (mas não por um telefone celular ou um telefone conectado por fibra óptica), pelo encanamento ou pela fiação da casa. Quando começa uma tempestade de raios, é melhor jogar cartas ou conversar com alguém no celular e deixar o banho para mais tarde.

Eis outra norma de segurança: os raios podem ser mais frequentes no início de uma tempestade, mas também podem acontecer quando a tempestade está no fim; às vezes, pessoas imprudentes saem do abrigo antes da hora e são mortas por um raio.

Se o cabelo de uma pessoa fica em pé, o campo elétrico entre a terra e a nuvem está muito forte e pode cair um raio a qualquer momento. Assim, a pessoa deve procurar abrigo imediatamente. (Definitivamente, essa não é a hora de posar para uma

fotografia engraçada. Fuja! Procure abrigo!) No arranjo normal das cargas, com a base da nuvem com uma carga negativa e a terra com uma carga positiva, os fios de cabelo ficam com uma carga positiva. Assim, repelem-se mutuamente e tentam se afastar o máximo possível, mesmo que tenham que se mover para cima, contra a força gravitacional.

Segundo histórias não comprovadas de pescadores, as nuvens de tempestade podem fazer uma linha de pesca pairar no ar pouco acima da água depois de ser lançada. Se as histórias forem verdadeiras, a superfície da linha e da água devem ter cargas de igual sinal. A água pode estar carregada por causa das nuvens no céu; a linha pode estar carregada pela mesma razão ou por ter ganho carga ao passar pelo carretel durante o arremesso.

Benjamin Franklin não morreu enquanto empinava uma pipa durante uma tempestade porque jamais realizou esse tipo de experimento. Só alguém sem juízo iria empinar pipa com uma tempestade se aproximando; Franklin era um homem muito inteligente. Na verdade, porém, deu a impressão de que havia realizado o experimento.

5.2 • Raios: veículos

Por que uma pessoa que está no interior de um carro geralmente não corre perigo de ser atingida por um raio? Por que um avião não está livre de ser atingido por um raio?

Resposta Um carro é um lugar muito bom para se esconder de um raio porque a carroceria conduz eletricidade. Assim, se o carro for atingido por um raio, a corrente provavelmente não vai penetrar no interior do veículo. Entretanto, um conversível (com um teto feito de material não-condutor) oferece pouca proteção e um carro com uma carroceria de plástico pode não oferecer proteção alguma. Uma pessoa que esteja dentro de um carro durante uma tempestade de raios deve evitar tocar em um objeto do lado de fora do carro ou em qualquer coisa que esteja ligada a uma antena externa. Uma boa idéia é manter levantadas as janelas para que sejam molhadas pela chuva (que conduz eletricidade). Um carro tem quatro pneus que são maus condutores de eletricidade, mas os pneus não impedem que o carro seja atingido por um raio que atravessou vários quilômetros de ar, que também é um mau condutor.

Por ser feito de metal, um avião também oferece proteção aos ocupantes. Os aviões feitos de materiais não-condutores, porém, assim como os carros conversíveis, oferecem menos proteção.

O avião é mais vulnerável que o carro porque seus instrumentos eletrônicos podem ser avariados ou destruídos diretamente pela corrente ou pelo campo eletromagnético criado pelo raio. Se a corrente chegar aos tanques de combustível, por via direta ou através de um filete de combustível não queimado ejetado por uma turbina, os tanques podem explodir.

Quando um avião faz parte do caminho condutor de um raio, o percurso da corrente através do avião depende do ponto em que caiu o raio. Se o impacto foi na frente do avião, é provável que o raio atravesse o avião e saia pela traseira. Se o impacto foi na parte traseira, é provável que a saída ocorra em um ponto próximo.

Um avião também pode provocar uma descarga elétrica, mesmo em nuvens em que não existam outros raios. Por todas essas razões, e por causa das turbulências que acompanham a maioria das tempestades, os pilotos evitam tempestades elétricas ou qualquer aglomeração de nuvens na qual o avião possa causar raios. Mesmo assim, a maioria dos aviões comerciais é atingida uma vez ou outra por raios.

5.3 • Raios: árvores, torres e a terra

Por que um raio pode incendiar uma árvore ou despedaçá-la? Por que um edifício alto pode não ser danificado por um raio? Por que um raio pode abrir um buraco no solo ou produzir formações (quase esculturas) conhecidas como *fulguritos*?



Resposta Quando um raio atinge uma árvore, pode chamuscá-la, arrancar pedaços

da casca, fazê-la em pedaços, incendiá-la ou não causar nenhum dano. Os danos são maiores quando a árvore está molhada e quando o raio chega até

a seiva. Se a seiva for percorrida por uma alta corrente, pode evaporar tão depressa que sua expansão faz a árvore em pedaços. A expansão rápida da água da chuva debaixo da casca pode fazer a casca explodir ou rachar. A maioria dos raios que caem em árvores não as faz pegar fogo, provavelmente porque a corrente dura tão pouco tempo que a madeira não se aquece até o ponto de ignição. Os raios que incendeiam árvores (às vezes provocando incêndios florestais) são os que duram tempo suficiente (cerca de um segundo) para esquentar a árvore até que ela entre em combustão.

Um raio pode começar em um edifício alto se o edifício enviar um líder escalonado para uma nuvem que paira acima dele. A corrente da descarga pode passar pelo pára-raios do edifício ou pela superestrutura de metal do edifício. Quando uma construção como uma igreja com um campanário é atingida por um raio sem a proteção de um pára-raios, a corrente pode fazer em pedaços as regiões molhadas, como acontece no caso de uma árvore, e a madeira pode pegar fogo se a corrente durar tempo suficiente.

Quando um raio cai em terra molhada, evapora a água tão depressa que a terra é lançada para o lado, deixando uma vala. A onda de choque produzida pelo aquecimento súbito do ar também pode abrir um buraco na terra.

Quando um raio atinge areia de quartzo, a corrente pode elevar a temperatura da areia acima do ponto de fusão. A areia logo esfria, formando um cilindro fino ao longo da trajetória tortuosa da corrente na areia. A formação resultante de areia fundida é um fulgurito, que é muito valorizado quando escavado intacto em uma praia.

5.4 • Relâmpagos de contas e relâmpagos globulares

O que produz as esferas luminosas que às vezes são observadas (e fotografadas) nas tempestades elétricas? Um *relâmpago de contas* é um cordão de esferas luminosas ou manchas alongadas deixadas no céu pelo clarão de um relâmpago. Um *relâmpago globular* é uma esfera luminosa mais misteriosa, com um diâmetro de cerca de 20 centímetros, que flutua sobre o solo por vários segundos. Alguns desaparecem silenciosamente e outros com um estampido. Já houve casos em que um relâmpago globular atravessou um vidro sem danificá-lo. Relâmpagos globulares foram vistos deslizando ao longo de linhas de transmissão e de pisos de aposentos (de uma tomada para outra). Também foram vistos percorrendo corredores de aviões de uma extremidade a outra (o que deve tornar os assentos do lado do corredor um pouco menos desejáveis). Quando um relâmpago globular encosta em alguém, pode paralisar, derrubar ou queimar a pessoa, além de causar uma lesão cerebral. Se você vir um relâmpago globular, afaste-se dele.

Resposta Não existe uma explicação simples para o relâmpago de contas. Acredita-se que as contas sejam regiões que permanecem quentes e, portanto, luminosas, depois que o resto da trajetória do relâmpago esfriou demais para ser visto. Talvez os pontos

quentes residuais sejam pontos em que havia uma mudança brusca na trajetória.

Também não existe uma explicação simples para o relâmpago globular. Na verdade, foram propostas muitas teorias, mas nenhuma é capaz de prever as propriedades observadas do relâmpago globular, em especial a duração. Um tipo semelhante de esfera luminosa, conhecido como *bola de plasma*, pode ser produzido em laboratório ou em uma usina de energia elétrica quando acontece uma forte descarga elétrica. Com a descarga, as moléculas de ar são ionizadas, ou seja, elétrons são arrancados das moléculas, de modo que a região passa a conter cargas negativas e positivas. Esse estado (*plasma*) dura menos de um segundo até que os elétrons e as moléculas ionizadas se recombinam.

Embora essa duração seja bem menor que a dos relâmpagos globulares, alguns dos quais podem durar alguns segundos, a explicação mais provável do relâmpago globular é que se trata de uma bola de plasma produzida por um relâmpago ou uma descarga conectante. Presumivelmente, a descarga ioniza o ar ou o material (terra, pára-raios etc.) da parte inferior do relâmpago ou descarga conectante. Entretanto, se uma bola de plasma é produzida por um relâmpago, precisa ter uma parte interna peculiar para durar alguns segundos em vez de se desfazer rapidamente. Além disso, sua temperatura não pode ser muito elevada, já que a bola não costuma subir, como acontece com o ar quente. Também não pode ser um tipo de fogo-de-santelmo, a descarga visível que acontece nas pontas de objetos condutores, porque o relâmpago globular se move e o fogo-de-santelmo permanece no mesmo lugar. Até hoje não existe um modelo convincente para a estrutura do relâmpago globular.

5.5 • Sprites

Durante décadas, pilotos que voavam à noite nas proximidades de uma tempestade elétrica acreditaram haver avistado grandes clarões muito acima das nuvens de tempestade, logo depois de avistarem um relâmpago abaixo das nuvens. Entretanto, os clarões eram tão tênues e fugazes que a maioria dos pilotos pensava que não passavam de ilusões de ótica. Nos anos 1990, porém, os clarões foram filmados e receberam o nome de *sprites*. Se os sprites estão associados a relâmpagos que ocorrem entre a terra e as nuvens, por que só aparecem muito acima das nuvens e não logo acima delas?

Texto 3: Cartilha Proteção Contra Raios do INPE

PROTEÇÃO CONTRA RAIOS

Quebra de coluna

Quebra de seção (continua)

Desenvolvido pelo Grupo de Eletricidade Atmosférica (ELAT) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)

Quebra de seção (próxima página)

O QUE É O RAIOS E COMO ELE SE FORMA?

Raios é o nome designado para um relâmpago que atinge o solo. Os relâmpagos são descargas atmosféricas de grande intensidade que ocorrem dentro das nuvens de tempestade – também conhecidas como nuvens Cumulonimbus – a partir de cargas elétricas provocadas pelo atrito entre partículas de gelo. Quando o campo elétrico produzido por essas cargas excede a capacidade isolante do ar, a descarga elétrica se forma.

Relâmpagos também podem ocorrer no interior de uma nuvem, entre duas nuvens ou de uma nuvem para o ar.

Os raios percorrem distâncias da ordem de 5 km e podem ser denominados ascendentes, quando iniciam no solo e sobem em direção à tempestade, ou descendentes, quando iniciam na tempestade e descem em direção ao solo. A intensidade típica de um raio é de 20 mil ampères, cerca de mil vezes a intensidade de um chuveiro elétrico.

O trovão, por sua vez, é o barulho produzido pelo deslocamento do ar na região da atmosfera onde a corrente elétrica do raio circula.

COMO OS RAIOS PODEM NOS ATINGIR?

Os raios atingem e matam mais de forma indireta por meio de correntes que vêm pelo chão ou por objetos próximos. Estar embaixo ou próximo de uma árvore é um exemplo no qual muitas pessoas são atingidas indiretamente por uma **descarga lateral**, que se desloca do ponto atingido e encontra no corpo humano um caminho menos resistente para chegar ao solo.

Um raio também pode atingir uma pessoa diretamente e causar a sua morte imediatamente se ela estiver, por exemplo, numa área descampada sendo o ponto mais alto de uma forte tempestade.

POR QUE É TÃO IMPORTANTE SABER COMO SE PROTEGER DOS RAIOS NO BRASIL?

As estatísticas mostram que a cada 50 mortes por raios no mundo, uma é no Brasil, o país campeão mundial em incidência de raios, atingido por 78 milhões de descargas atmosféricas por ano.

Em média, o fenômeno mata no país 110 pessoas, deixa mais de 200 feridos e causa, a cada ano, prejuízos de um bilhão de reais. No ranking de fatalidades causadas por raios de países com estatísticas confiáveis, o Brasil é o segundo na América Latina com o maior número de mortes (o México ocupa o primeiro lugar), e o sétimo no mundo.

EM QUE ÉPOCA DO ANO OS RAIOS MATAM MAIS?

Em 20 anos – 2000 a 2019 – 43% das mortes por raios ocorreram no verão e 33% durante a primavera. Esses são os períodos do ano em que as altas temperaturas e umidade do ar favorecem a formação de tempestades e raios.

Mas lembre-se: é importante prestar atenção no tempo em qualquer época do ano, pois as fatalidades por raios também acontecem durante o outono (16%) e o inverno (8%).

ESTAMOS PROTEGIDOS EM UM EDIFÍCIO COM PARA-RAIOS?

O para-raios tem como objetivo proteger a estrutura das edificações. Quando um raio atinge o sistema de proteção tipo Franklin, instalado na maioria dos prédios comerciais e residências, são induzidas correntes elétricas por toda a fiação, o que oferece risco aos seus ocupantes. Portanto, a recomendação de evitar contato com a rede elétrica e telefônica durante uma tempestade também vale para edifícios com para-raios.



AGORA QUE VOCÊ JÁ SABE O QUE EVITAR, VEJA AS OPÇÕES MAIS SEGURAS DE ABRIGO PARA QUALQUER CENÁRIO:

Entre em um veículo não conversível e feche as portas e vidros, evitando contato com a lataria;

Entre em moradias ou prédios, mantendo distância das redes elétrica, telefônica e hidráulica, de portas e janelas metálicas;

Entre em abrigos subterrâneos, tais como metrô ou túneis.

E SE NÃO HOUVER NENHUM ABRIGO SEGURO POR PERTO?

Afasta-se de qualquer ponto mais alto e de objetos metálicos, mantenha os pés juntos e agache-se até a tempestade passar. Não fique deitado.

Embora não seja uma posição confortável, nesse caso é a opção mais segura.



CURIOSIDADE

Os cães em geral têm muito medo de tempestades. Nos casos mais graves, eles entram em pânico durante as trovoadas, começam a roer mobiliário, chorar, quebrar janelas, etc. Entretanto, a origem da fobia ainda não é totalmente conhecida.

QUAL É A PROBABILIDADE DE MORRER ATINGIDO POR UM RAIO NO BRASIL?

A probabilidade média de uma pessoa morrer atingida por um raio no Brasil ao longo de toda a sua vida é de um em 25.000, considerando uma expectativa de vida em torno de 75 anos. Embora pareça pequena, essa chance pode ser muito maior dependendo da circunstância que a pessoa se encontra durante uma tempestade e pode chegar a uma probabilidade semelhante a de morrer participando de uma corrida de moto - da ordem de um em mil.

E O QUE DEVEMOS FAZER PARA NOS PROTEGER?

O ELAT analisou as mortes causadas por raios no Brasil nos últimos 20 anos – 2000 a 2019 – e aperfeiçoou as orientações de proteção contra os raios utilizando mapeamento detalhado.

ATENÇÃO!

Os raios podem acontecer pouco antes da chuva começar ou no estágio final da tempestade. Portanto, busque abrigo tão logo veja nuvens carregadas no céu ou escute um trovão, que sinalizam o início da tempestade. Evite sair para lugares abertos, ou entrar na água de mar, rio ou piscina imediatamente após a chuva.

SAIBA EXATAMENTE O QUE EVITAR PARA SE PROTEGER DOS RAIOS EM LOCAL FECHADO

O QUE NÃO FAZER SOB OS RISCOS DE UMA TEMPESTADE DENTRO DE CASA:

Embora durante uma tempestade seja mais seguro estar dentro de casa do que ao ar livre, essa é segunda circunstância em que mais morrem pessoas por raios no Brasil, com 21% das fatalidades.

- Utilizar equipamentos elétricos ligados à rede elétrica ou ficar perto de tomadas;
- Falar ao telefone com fio ou utilizar celular conectado ao carregador;
- Tomar banho em chuveiro elétrico;
- Ficar próximo a janelas e portas metálicas;
- Ficar próximo à rede hidráulica (torneiras e canos).



QUESTÕES – APROFUNDAMENTO 2

Nome:

Data:

Após leitura do material do livro Circo voador da Física que trata sobre raios e a cartilha: “Proteção Contra raios” do INPE, responda as questões abaixo:

1. Comente que novidades trouxeram esses textos que você ainda não sabia e que você aprendeu lendo os textos.

2. Destaque pelo menos duas perguntas (diferentes do 1º questionário) que foram feitas no texto APRESENTAÇÃO DO TEMA ou no questionário de CONHECIMENTOS PRÉVIOS e responda com base no que aprendeu com a leitura desses textos.



UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DO PARÁ
SOCIEDADE BRASILEIRA DE FÍSICA
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

DÉBORA SANTOS MIRANDA
NILZILENE GOMES DE FIGUEIREDO



PARTE 2 – LIVRETO
SEÇÃO 5 – PRODUÇÃO – AVALIAÇÃO

SANTARÉM-PA
2022

3ª etapa:

PRODUÇÃO – AVALIAÇÃO

ORIENTAÇÕES PARA A AVALIAÇÃO FINAL: PRODUÇÃO DE VÍDEO E TEXTO

Chegou o momento de mais uma avaliação, a etapa final, ela consiste em, assim como as demais, verificar seu aprendizado, e para tal verificação vocês, em equipe ou individualmente podem gravar um vídeo sobre o que entenderam sobre raios, quais os riscos e como se proteger deles, podendo também ser um vídeo com algum experimento abordando o tema, fica a seu critério. O vídeo que fará parte do material enviado para avaliação final deve ser gravado pelo(as) estudantes em que apareça explicando com suas palavras quais suas percepções e aprendizados sobre o tema abordado. A duração do vídeo deverá ser de até 5 minutos, com boa qualidade de áudio e imagens. O trabalho será feito em equipes de no máximo 6 integrantes. Abaixo são apresentadas algumas orientações e dicas tanto para a produção do vídeo quanto para a produção do texto que também deve ser entregue no dia da apresentação.

ORIENTAÇÕES E DICAS PARA A PRODUÇÃO DO VÍDEO³⁴

- a) Elabore um roteiro de seu vídeo, explicitando qual será a sequência de sua fala e que elementos principais ele terá. Não esqueça de se apresentarem logo no início do vídeo ou colocar uma legenda com sua identificação, explicitando nome, escola e série.
- b) Caso seja necessário, para deixar mais claro o que você fala, podem ser inseridas imagens ou fotos, mas use-as com moderação;
- c) Caso grave o vídeo no celular, faça a filmagem com o aparelho na horizontal;
- d) Escolha um lugar silencioso, preferencialmente fechado e com boa luminosidade. Use um microfone ou outro celular para captar melhor o som, depois no processo de edição troque o áudio do vídeo gravado pelo do celular que estava próximo de você. Veja algumas dicas nos vídeos do youtube sugeridos abaixo;

³⁴ Dicas adaptadas das Orientações para produção de vídeos para a 4ª edição da Feira de Ciências e Tecnologias Educacionais da Mesorregião do Baixo Amazonas-Pará (FECITBA).

- e) Faça um teste primeiro para verificar se a imagem está bem iluminada e se o som está ok.
- f) Caso você considera que errou alguma fala pode dar uma pausa e depois continuar falando, pois no processo de edição é possível retirar o que não ficou bom;
- g) Cuidado para não falar muito rápido e fique atento para o fundo que aparece em seu vídeo. É preferível que ao fundo esteja uma parede neutra. Há algumas dicas em um vídeo do youtube sugerido abaixo;
- h) Atente para o seu visual, para o cabelo ou outro acessório não cobrir o seu rosto e use uma roupa adequada para apresentar seu projeto (pode ser, por exemplo, a farda da escola ou uma camisa preta);
- i) Se você é iniciante na arte de produzir vídeos, estude dicas e tutoriais de produção e edição de vídeos antes. Você pode encontrar vários no Youtube. Abaixo sugiro alguns. Com relação ao experimento também deve ter a parte escrita a ser entregue no dia da apresentação.
- j) Assista “Gravar Vídeos Melhores e Não Parecer Um Robô Falando”
<https://www.youtube.com/watch?v=5FmgXKNnV5M>
- k) Assista “Para Gravar Vídeos Perfeito Com o Celular”
<https://www.youtube.com/watch?v=b0gZb4D48pl>
- l) Dicas para gravar seu vídeo (FETEC-MS)
<https://www.instagram.com/tv/CCKOwSYFz6v/?igshid=1xqhnezescfmu>
- m) Dicas de programas editores de vídeos: Shotcut e OBS Studio.

ORIENTAÇÕES E DICAS PARA A PRODUÇÃO ESCRITA

As equipes deverão elaborar um trabalho para ser entregue no dia das exposições tomando por base as seguintes orientações.

FORMATAÇÃO DO TRABALHO

Todas as equipes deverão entregar um trabalho digitado. Os trabalhos escritos devem ser organizados da seguinte forma:

- a)** Capa
- b)** Folha de rosto
- c)** Introdução (onde você apresenta o que é o trabalho, como foi feito para conseguir as informações, o que produziram e como está organizado o trabalho escrito);
- d)** Uma seção em que vocês descrevem o que contém o trabalho, que

conhecimentos são apresentados, em que se basearam; (OBS: Essa é a parte do DESENVOLVIMENTO, mas você não coloca esse nome)

e) Conclusão (o que aprenderam de mais significativo no trabalho e por que foi importante estudar esse tema);

f) Bibliografia (colocar todas as bibliografias que foram consultadas para a elaboração do trabalho, seguindo as normas da ABNT - ver indicações que como fazer no final deste material).

Para facilitar, algumas informações sobre a formatação do trabalho. Um trabalho deve ter capa, folha de rosto seguindo as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT):

- A letra deve ser Arial ou Times New Roman;
- Margens esquerda e superior: 3 cm. Margens direita e inferior: 2 cm.
- O espaço entre linhas ao longo do corpo do trabalho deve ser 1,5, mas na capa e folha de rosto deve ser simples.
- Segundo a Norma Brasileira de Referência para Trabalhos acadêmicos (NBR 14724 de 2011), “O texto é composto de uma parte introdutória, que apresenta os objetivos do trabalho e as razões de sua elaboração; o desenvolvimento, que detalha a pesquisa ou estudo realizado; e uma parte conclusiva”.

ORIENTAÇÃO PARA ATIVIDADE EXPERIMENTAL

Caso optem por elaborar um experimento, faça-o individualmente, em dupla ou trio. Nesse caso, o trabalho consiste em elaborar um RELATÓRIO DE EXPERIMENTO E UM VÍDEO COM VOCÊ(S) APRESENTANDO O EXPERIMENTO para abordagem de algum tópico/questão ou questões referentes ao tema trabalhado. Por exemplo: como ocorrem os raios? Como se defenderem? Quais os riscos? O experimento deve pautar-se em conhecimentos de Física que nortearam nossas discussões, em especial sobre Eletricidade, a exemplo de Campo elétrico, potencial elétrico, rigidez dielétrica, velocidade da luz e do som, entre outras. As dicas e orientações para a produção do vídeo são as mesmas dadas anteriormente. Leiam as instruções de como deverá ser o vídeo e o experimento.

Você(s) deve(m) elaborar um **PLANO DE EXPERIMENTO** contendo:

1. Nome dos integrantes da equipe
2. Nome do experimento
3. Objetivo do experimento
4. Assuntos abordados
5. Materiais necessários
6. Metodologia de abordagem experimental (como foi abordado o experimento?)

8. Bibliografia consultada. Façam um vídeo de no máximo 5 min expondo o experimento. Caso seja em dupla ou trio, todos devem aparecer no vídeo explicando algo referente ao trabalho. No vídeo devem ficar claro os princípios físicos envolvidos no que escolheram para abordar, além de outros aspectos que considerarem relevantes.

Postem em um canal do youtube e mandem o link no Classroom junto com o plano.

Serão considerados como critério de avaliação:

1. Domínio do conteúdo na explicação da situação escolhida e apresentação geral do vídeo



UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DO PARÁ
SOCIEDADE BRASILEIRA DE FÍSICA
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

DÉBORA SANTOS MIRANDA
NILZILENE GOMES DE FIGUEIREDO



PARTE 2 – LIVRETO
SEÇÃO 6 - ORIENTAÇÕES PARA PRODUÇÃO DE
UMA CARTA

SANTARÉM-PA

2022

ORIENTAÇÕES PARA A PRODUÇÃO DA ATIVIDADE INDIVIDUAL: CARTA

RAIOS, RELÂMPAGOS E TROVÕES: BELEZA NATURAL, MITOS, RISCOS E PROTEÇÃO

Nome: _____

Turma: _____ Data: ____/____/____

Considerando o que você entendeu sobre raios, quais os riscos e como se proteger, escreva uma carta a um parente e ou amigo contando o que voce aprendeu na disciplina e falando dos riscos que as pessoas correm e como devem se protegerem com base em argumentos necessários (máximo de 35 linhas). Não se esqueça de colocar na estrutura de uma carta.

1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	
13	
14	
15	
16	
17	
18	
19	
20	
21	
22	
23	
24	
25	
26	
27	
28	
29	
30	
31	
32	
33	
34	
35	



UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DO PARÁ
SOCIEDADE BRASILEIRA DE FÍSICA
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

DÉBORA SANTOS MIRANDA
NILZILENE GOMES DE FIGUEIREDO



PARTE 2 – LIVRETO
ANEXO - LISTA DE EXERCÍCIOS

SANTARÉM-PA

2022

LISTA DE EXERCÍCIOS

TEMA: Raios, relâmpagos e trovões: beleza natural, mitos, riscos e proteção

Questão 1. (ENEM 2014)

Durante a formação de uma tempestade, são observadas várias descargas elétricas, os raios, que podem ocorrer das nuvens para o solo (descarga descendente), do solo para as nuvens (descarga ascendente) ou entre uma nuvem e outra. Normalmente, observa-se primeiro um clarão no céu (relâmpago) e somente alguns segundos depois ouve-se o barulho (trovão) causado pela descarga elétrica. O trovão ocorre devido ao aquecimento do ar pela descarga elétrica que sofre uma expansão e se propaga em forma de onda sonora. O fenômeno de ouvir o trovão certo tempo após a descarga elétrica ter ocorrido deve-se:

- a) A velocidade de propagação do som ser diminuída por conta do aquecimento do ar.
- b) Propagação da luz ocorrer através do ar e a propagação do som ocorrer através do solo.
- c) A velocidade de propagação da luz ser maior do que a velocidade de propagação do som no ar.
- d) Ao relâmpago ser gerado pelo movimento de cargas elétricas, enquanto o som é gerado a partir da expansão do ar.
- e) Ao tempo da duração da descarga elétrica ser menor que o tempo gasto pelo som para percorrer a distância entre o raio e quem o observa.

Questão 2. (UFRS)

Raios e relâmpagos nos proporcionam um espetáculo de luzes, provocando fascínio e medo a quem observa estes fenômenos durante as tempestades. Cada descarga libera milhares de ampères que fluem entre as nuvens e a Terra. O dispositivo de proteção denominado de para-raios foi desenvolvido por Benjamim Franklin que empinou pipas de papel em dias de tempestade para estudar as descargas atmosféricas. Assinale a alternativa que **NÃO** está de acordo com a teoria eletromagnética na descrição das descargas atmosféricas, seus riscos e sua prevenção.

- a) O topo de uma colina, uma árvore isolada ou o interior de um carro fechado sob a chuva são todos lugares de risco em potencial para se ficar ou se abrigar numa tempestade de raios.
- b) Em dias de ar seco, isto é, com a umidade relativa do ar baixa, notamos facilmente um pequeno ruído, um estalo, causado por uma “faísca elétrica” que salta entre o pente e o cabelo quando nos penteamos. Este é um fenômeno semelhante ao que ocorre no aparecimento de um raio numa tempestade.
- c) A duração do raio se dá em um tempo muito curto. O intenso fluxo de cargas elétricas entre as nuvens e a terra leva ao aquecimento repentino do ar junto às descargas,
- d) provocando uma rápida expansão que se propaga em forma de uma onda sonora, originando o trovão.
- e) Os raios atingem mais facilmente árvores, torres ou edifícios mais altos. Quando estão sob uma nuvem carregada eletricamente, neles são induzidas cargas elétricas, de sinal contrário ao da nuvem, que atingem valores muito altos que dão origem a um intenso campo elétrico que irá ionizar o ar, formando um caminho condutor entre eles e a nuvem.
- f) O para-raios é um dispositivo que consiste essencialmente em uma ou várias pontas metálicas, que deve ser colocado no ponto mais alto a ser protegido, ligado ao solo por meio de um bom condutor, que termina em uma grande placa enterrada no solo. Dessa forma, atraindo os raios, a carga elétrica que recebe da nuvem é levada para o solo sem causar danos.

Questão 3. (UEL-PR)

Leia o texto a seguir.

Um raio é uma descarga elétrica na atmosfera. Geralmente, ele começa com pequenas descargas elétricas dentro da nuvem, que liberam os elétrons para iniciar o caminho de descida em direção ao solo. A primeira conexão com a terra é rápida e pouco luminosa para ser vista a olho nu. Quando essa descarga, conhecida como “líder escalonado”, encontra-se a algumas dezenas de metros do solo, parte em direção a ela outra descarga com cargas opostas, chamada de “descarga conectante”. Forma-se então o canal do raio, um caminho ionizado e altamente condutor. É neste momento que o raio acontece com a máxima potência, liberando grande quantidade de luz e som. (Adaptado de: SABA, M. M. F. A Física das

Tempestades e dos Raios. **Física na Escola**, São Paulo, v. 2, n. 1, 2001.)

Com base no texto e nos conhecimentos sobre eletrostática, atribua **V** (verdadeiro) ou **F** (falso) às afirmativas a seguir.

() A maioria das descargas elétricas atmosféricas ocorre quando o campo elétrico gerado pela diferença de cargas positivas e negativas é próximo de zero.

() A corrente elétrica gerada pelo raio produz um rápido aquecimento do ar, e sua inevitável expansão produz o som conhecido como trovão.

() A corrente elétrica gerada a partir de um raio pode ser armazenada e utilizada, posteriormente, para ligar o equivalente a 1000 lâmpadas de 100 watts.

() Para saber a distância aproximada em que um raio caiu, é preciso contar os segundos entre a observação do clarão e o som do trovão. Ao dividir o valor por 3, obtém-se a distância em quilômetros.

() A energia envolvida em um raio produz luz visível, som, raios X e ondas eletromagnéticas com frequência na faixa de AM.

Assinale a alternativa que contém, de cima para baixo, a sequência correta.

a) V, V, F, F, V.

b) V, F, V, V, F.

c) V, F, F, F, V.

d) F, V, F, V, V.

e) F, F, V, V, F.

Questão 4.

Considere que a corrente elétrica que flui por um fio após a queda de um raio seja de 50.000 A. Determine o número aproximado de elétrons que passam pela área de seção transversal do fio a cada segundo.

Dado: carga do elétron = $1,6 \times 10^{-19}\text{C}$

a) $2,200 \cdot 10^{20}$ elétrons

b) $3,125 \cdot 10^{23}$ elétrons

c) $4,500 \cdot 10^{15}$ elétrons

d) $5,000 \cdot 10^{19}$ elétrons

e) $1,250 \cdot 10^{23}$ elétrons

Questão 5. (UERJ)

Há uma crença popular segundo a qual “um raio não cai nunca duas vezes em um mesmo lugar”. Lembrando-se do “poder das pontas” e da formação dos raios, é correto afirmar:

- a) a crença tem fundamento científico, pois após a primeira queda de raio a superfície perde seu poder de pontas.
- b) a crença tem fundamento científico, pois após a primeira queda a superfície que recebeu o raio se carrega e acaba por repelir novos raios.
- c) a crença não tem fundamento, pois é evidente que se houver uma ponta em um local elevado, haverá probabilidade de que ela seja atingida por raios, sempre que ocorrer uma tempestade.
- d) a crença não tem fundamento científico, pois o local que recebeu o raio pela primeira vez, se torna carregado e aumenta a possibilidade de receber raios.

Questão 6. (CESPE/CEBRASPE)

Não é recomendável usar telefones celulares durante tempestades com raios e trovões, sob risco de atrair as descargas elétricas. O alerta foi feito por médicos recentemente. Os especialistas relataram o caso de uma menina de 15 anos que usava o telefone em um parque quando foi eletrocutada por um raio. A jovem sobreviveu, mas teve danos permanentes à saúde. O fenômeno é raro, mas é um problema de saúde pública. A população precisa ser educada para o risco. Assim, poderemos prevenir casos fatais como esse, no futuro, disse Swinda Esprit, médica do Northick Park Hospital, no Reino Unido. Ela explicou, ainda, que, quando uma pessoa é atingida pela descarga elétrica de um raio, a alta resistência da pele humana conduz a energia pelo corpo, em um fenômeno chamado flashover. No entanto, se algum objeto feito de metal, como um telefone celular, estiver em contato com a pele, interrompe-se o flashover e aumenta a gravidade dos ferimentos internos. Discorra sobre a importância de saber quais os riscos e proteção contra raios.

Questão 7. (UERJ)

Os relâmpagos e os trovões são consequência de descargas elétricas entre nuvens ou entre nuvens e o solo. A respeito desses fenômenos, considere as afirmações que seguem:

- I. Nuvens eletricamente positivas podem induzir cargas elétricas negativas no solo.
- II. O trovão é uma consequência da expansão do ar aquecido.
- III. Numa descarga elétrica, a corrente é invisível, sendo o relâmpago consequência da ionização do ar.

Dentre as afirmações:

- a) somente I é correta.
- b) somente II é correta.
- c) somente III é correta.
- d) somente I e II são corretas.
- e) I, II e III são corretas.

Questão 8. (UERJ)

No dia seguinte ao de uma intensa chuva de verão no Rio de Janeiro, foi publicada em um jornal a foto a seguir com a legenda: Durante o temporal no morro do Corcovado, raios cortam o céu e um deles cai exatamente sobre a mão esquerda do Cristo Redentor. A alternativa que explica corretamente o fenômeno é:

- a) Há um excesso de elétrons na Terra.
- b) O ar é sempre bom condutor de eletricidade.
- c) Há uma transferência de prótons entre a estátua e a nuvem.
- d) Há uma suficiente diferença de potencial entre a estátua e a nuvem.
- e) O material de que é feita a estátua é um mau condutor de eletricidade.

Questão 9.

O funcionamento de pára raios é baseado:

- a) na indução eletrostática e no poder das pontas.
- b) na blindagem eletrostática e no poder das pontas.
- c) na indução e na blindagem eletrostática.
- d) no efeito Joule e no poder das pontas.
- e) no efeito Joule e na indução eletrostática.

Questão 10. (UERJ)

O Brasil é considerado o campeão mundial de descargas elétricas na atmosfera com, aproximadamente, 100 milhões de raios por ano. Esse número equivale ao dobro do registrado nos Estados Unidos. Essa ocorrência é explicada pelo calor, que acaba propiciando a formação dos “cúmulos-nimbos”, que são nuvens negras, parecidas com cogumelo atômico e que apresentam um curto período de vida, cerca de duas horas. A descarga elétrica ocorre quando o campo elétrico de uma nuvem supera a capacidade isolante do ar, dando uma descarga elétrica entre a nuvem e a Terra, entre a nuvem e o ar ou entre ou entre as próprias nuvens. A descarga pode ocorrer mesmo antes de se iniciar a chuva, bastando ter a formação dos cúmulos-nimbos. Portanto, aconselha-se não manipular objetos metálicos pontiagudos em locais abertos, que poderão funcionar como pára-raios. A nuvem eletricamente carregada pode causar nesse objeto pontiagudo:

- a) uma atração elétrica devida ao fato de o metal ser isolante.
- b) uma atração gravitacional intensa entre o metal e a nuvem.
- c) uma eletrização, somente se o metal estiver conectado na rede de energia elétrica.
- d) uma indução com carga de sinal contrário ao da nuvem e com uma densidade superficial de cargas acentuada, pelo fato de ser pontiagudo.
- e) uma eletrização, somente se o metal estiver perfeitamente isolado do solo.



UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DO PARÁ
SOCIEDADE BRASILEIRA DE FÍSICA
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

DÉBORA SANTOS MIRANDA

NILZILENE GOMES DE FIGUEIREDO



PARTE 2 – LIVRETO

APÊNDICE – TEXTO DE APOIO AOS PROFESSORES
(APROFUNDAMENTO DO TEMA)

SANTARÉM-PA

2022

A FÍSICA DAS DESCARGAS ELÉTRICAS ATMOSFÉRICAS³⁵

Os raios são fenômenos elétricos que ocorrem na natureza que sempre despertaram medo, fascínio e curiosidade do ser humano. Desde as civilizações mais antigas a humanidade vem tentando explicar como e por que eles ocorrem e por que vem associados a luz (relâmpago) e som (trovão). Muitas dessas explicações são míticas ou religiosas. Agora vamos buscar compreender por que ocorrem esses fenômenos do ponto de vista da Ciência Física. É importante destacar que ainda há questões sem respostas sobre esse tema, mas há hipóteses plausíveis que discutiremos aqui.

Em conformidade com o tema do produto educacional “Raios, relâmpagos e trovões: beleza natural, mitos, riscos e proteção”, este capítulo será organizado de forma que se possa compreender, do ponto de vista da Física, algumas situações que surgem quando discutimos o tema, buscando sempre articulação com outras áreas de conhecimento à medida da necessidade, já que em uma abordagem temática, como já discutido no capítulo anterior, além da perspectiva interdisciplinar necessária para a compreensão de vários aspectos, “a conceituação científica é subordinada ao tema” (DELIZOICOV; ANGOTTI; PERNAMBUCO, 2011, p. 189), diferente de uma abordagem conceitual “cuja lógica de organização é estruturada pelos conceitos científicos” (Ibidem, p. 190).

Ao longo do texto são apresentados alguns quadros para que os leitores que estão começando a entrar em contato com o tema possam aprofundar os conceitos físicos que são destacados em negrito na narrativa. A opção por esse modelo teve a intenção de não provocar desvio das ideias principais, na tentativa de compreensão do contexto, mas ao mesmo tempo permitindo que os leitores que tem maior clareza dos conceitos possam seguir naturalmente no texto sem parar para leitura dos quadros.

Em levantamento em diversas fontes, tais como livros didáticos, artigos de pesquisadores da área e matérias publicadas foi percebido que ainda há uma carência de produções que discutem mais profundamente a Física dos raios usando também um formalismo matemático em articulação com a Teoria. Dessa forma, este capítulo foi construído com o desafio de apresentar algumas interpretações, utilizando conceitos e equações de Física básica, mostrando-se alguns limites e como algumas formalizações

³⁵ Capítulo 3 da dissertação de mestrado de Miranda (2022), da qual faz parte este produto educacional.

são encontradas nos livros didáticos de ensino médio. Dessa forma, entendemos que poderá ser útil em cursos de formação inicial de professores de Física e, parte dele, como texto didático para os estudantes de ensino médio, para que ao mesmo tempo que os professores compreendam com mais profundidade os fenômenos, possam ter clareza de como desenvolver o formalismo e explicações na etapa de *Aprofundamento* da proposta temática (BRITO; GOMES, 2007) e ainda tenham um material de auxílio para suas aulas.

Para isso, buscamos amparo em fontes como série e reportagem de emissoras de televisão³⁶ feitas com pesquisadores do Grupo de Eletricidade Atmosférica do Instituto Nacional de Pesquisas Atmosféricas (INPE/ELAT), materiais publicados por este grupo, livros didáticos do ensino médio e superior e artigos publicados sobre o tema.

1. O que são e como se formam raios, relâmpagos e trovões?

O estudo da natureza elétrica da matéria e dos efeitos da passagem de uma descarga elétrica pela matéria tem trazido importantes contribuições para se compreender os raios, relâmpagos e trovões. O consenso que se tem hoje é que os raios são **descargas elétricas** que se formam quando existem nuvens de tempestades carregadas (. Existem vários tipos de nuvens e elas podem estar situadas em três diferentes camadas da atmosfera: camada superior, camada média e camada inferior, como mostra o Quadro 6.

A nuvem do gênero *Nimbostratus*³⁷, simbolizada por N_s , formada na camada média, forma chuva (precipitação). Essa nuvem é extensa, tem aspecto sombrio e geralmente vem acompanhada de outras nuvens que se espalham ao seu redor. As N_s provocam temporais que podem vir associados a descargas elétricas (raios). No entanto, há um outro tipo de nuvem que é muito mais perigosa, a *Cumulonimbus*³⁸, simbolizada por C_b .

Quadro 6 – Tipos básicos de nuvens.

FAMÍLIA DE NUVENS E ALTURA	TIPO DE NUVEM	CARACTERÍSTICAS
NUVENS ALTAS Base acima de 6km de altura- são sólidas	Cirrus (Ci)	Aspecto delicado, sedoso ou fibroso, cor branca brilhante
	Cirrocumulus (Cc)	Delgadas, compostas por elementos muito pequenos em forma de grânulos e rugas.

³⁶ Foram utilizados dados da série “País dos Raios” que foi apresentada em 3 episódios no Fantástico da Rede Globo em 2014. Também buscamos informações na reportagem sobre raios apresentada em janeiro de 2022 no Domingo Espetacular da Rede Record. Participam dessa reportagem pesquisadores do INPE que realizam pesquisas sobre raios no Brasil e são referência no tema, como é o caso do pesquisador Osmar Pinto Junior.

³⁷ Etimologia da palavra: nimbus - nuvem que chove; stratus - estendido, coberto.

³⁸ Etimologia da palavra: cummulus - pilha, acúmulo; nimbus - nuvem que chove.

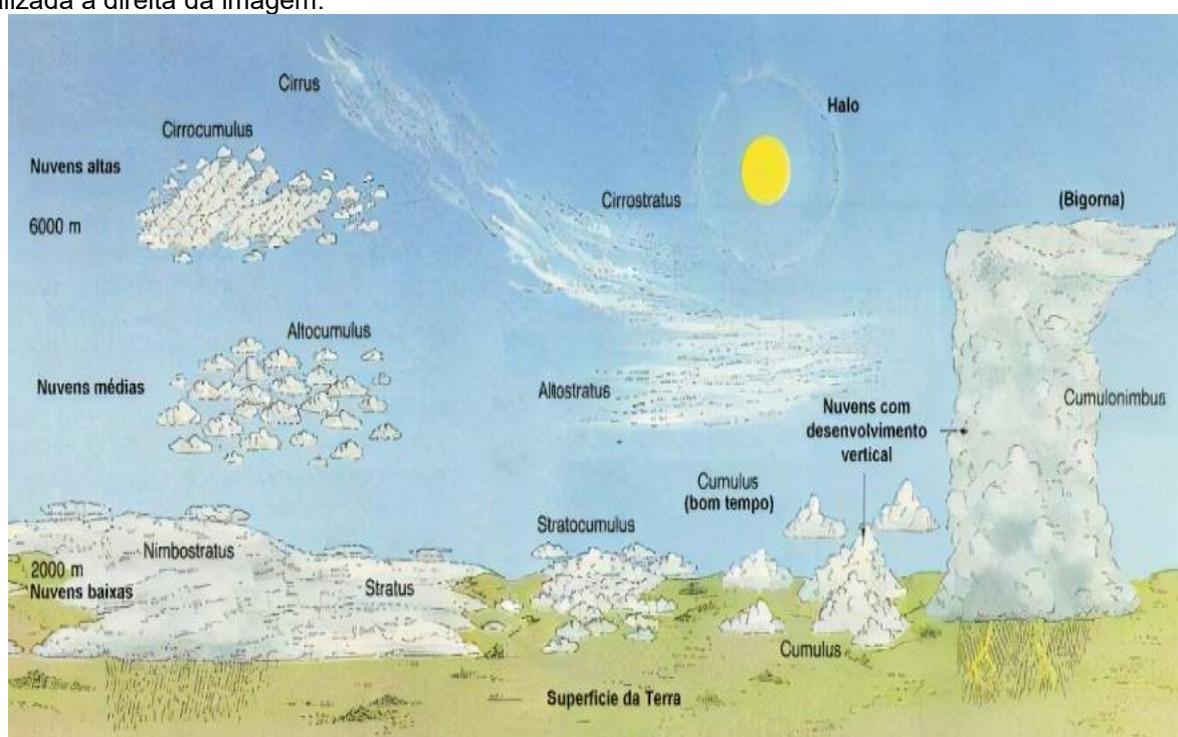
		Indicam base de corrente de jato e turbulência.
	Cirrostratus (Cs)	Véu transparente, fino e esbranquiçado, sem ocultar o sol ou a lua, apresentam o fenômeno de halo (fotometeoro).
NUVENS MÉDIAS Base entre 2 a 4 km de altura nos polos, entre 2 a 7 km em latitudes médias, e entre 2 a 8 km no Equador- líquidas e mistas	Altostratus (As)	Branco, lençol ou camada de nuvens brancas ou cinzentas, tendo geralmente sombras próprias. Constituem o chamado “céu encarneirado”.
	Altostratos (As)	Camadas cinzentas ou azuladas, muitas vezes associada a altocumulus; compostas de gotículas superesfriadas e cristais de gelo; não formam halo, encobrem o sol; precipitação leve e contínua.
NUVENS BAIXAS Base até 2 km de altura- líquidas	Stratocumulus (Sc)	Lençol contínuo ou descontínuo, de cor cinza ou esbranquiçada, tendo sempre partes escuras. Quando em voo, há turbulências dentro da nuvem.
	Stratus (St)	Muito baixas em camadas uniformes e suaves, cor cinza, coladas á superfícies, é o nevoeiro; apresenta topo uniforme (ar estável) e produz chuvisco (garoa). Quando se apresentam fracionadas são chamadas fractostratos (FS)
	Nimbostratus (Ns)	Aspecto amorfo, base difusa e baixa, muito espessa, escura ou conzenta; produz precipitação intermitente e mais ou menos intensa.
NUVENS COM DESENVOLVIMENTO VERTICAL	Cumulus(Cu)	Contornos bem definidos, assemelham-se a couve-flor; máxima frequência sobre a terra de dia e sobre a água de noite. Podem ser orográficas ou térmicas (convectivas); apresentam precipitação em forma de pancadas; correntes convectivas. Quando se apresentam fraccionadas são chamadas de fractocumulus (FC). As muito desenvolvidas são chamadas de cumulus congestus.
	Cumulonimbos	Nuvem de trovoadas, base entre 700 e 1500 m, com topos chegando a 24 e 35 km de altura, sendo a média entre 9 e 12 km, são formadas por gotas d’água, cristais de gelo, gotas superesfriadas, flocos de neve e granizo. Caracterizadas pela “bigorna”: o topo apresenta expansão horizontal devido aos ventos superiores, lembrando a forma de uma bigorna de ferreiro, e é formado por cristais de gelo, sendo nuvens do tipo Cirrostratos (CS).
Observação: <i>Nimbostratos e cumollonimbos são as nuvens responsáveis pela maior parte da precipitação.</i>		

Fonte: Grimm (2012) citado por Andrade (2016, p. 38).

A nuvem *Cumulonimbus* é na verdade a principal causadora de chuvas, de tempestades com relâmpagos e trovões intensos (MEIRELES, 2012). Além de serem muito perigosas quanto ao seu potencial para produzir descargas elétricas na atmosfera,

elas ocasionam ventos fortes na superfícies, tornados e queda de granizo. Elas são nuvens baixas que se desenvolvem passando pelo nível médio e chegando até o nível alto, ou seja, podem alcançar os três estágios de desenvolvimento. Quanto ao formato desse tipo de nuvem, elas são volumosas, muito densas e tem uma formação vertical, como indica a figura 1. Em altas altitudes da Troposfera ocorre o processo de inversão térmica e a nuvem se espalha por não conseguir mais se elevar, o que a deixa com a forma de uma bigorna (MEIRELES, 2012), como pode ser visto na Figura 1.

Figura 1 - Classificação de nuvens segundo altura e forma. Observe o formato da nuvem Cumulonibus localizada à direita da imagem.



Fonte: <https://fisica.ufpr.br/grimm/aposmeteo/cap6/cap6-2-2.html>. Acesso em: 07 fev. 2022.

Essas nuvens de tempestades adquirem **carga elétrica**, definida na Física como:

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

Onde q é a carga adquirida pela nuvem, n é um número inteiro que representa o número de cargas em excesso, e é a carga elementar ($1,602 \times 10^{-19} C$). Essa “carga elementar e é uma das constantes mais importantes da natureza. Tanto o elétron quanto o próton possuem uma carga cujo valor absoluto é e ” (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2016, p. 12).

Quadro 7 – Aprofundamento do conceito de carga elétrica.

Carga elétrica
<p>É uma propriedade intrínseca das partículas fundamentais de que é feita a matéria; em outras palavras, é uma propriedade associada à própria existência das partículas.</p> <p>A grande quantidade de cargas que existem em qualquer objeto geralmente não pode ser observada porque o objeto contém quantidades iguais de dois tipos de carga: <i>cargas positivas</i> e <i>cargas negativas</i>. Quando existe essa igualdade (ou <i>equilíbrio</i>) de cargas, dizemos que o objeto está <i>eletricamente neutro</i>, ou seja, sua carga total é zero. Quando as quantidades de dois tipos de cargas contidas em um corpo são diferentes, a carga total é diferente de zero e dizemos que o objeto está eletricamente carregado.</p>

Fonte: Halliday, Resnick; Walker (2016, p. 1).

Atualmente já se calculou e mediu detalhes dessas cargas elétricas nas nuvens, mas quanto aos motivos que as levam a ficarem carregadas, ainda não há consenso. A hipótese mais comum apresentada em várias fontes, tais como Walker (2012), Pinto Júnior (2014), entre outros, é que essas cargas surgem devido ao **atrito** entre granizo e cristais de gelo menores no interior da nuvem. Esses cristais de gelo transferem elétrons para os granizos, e estes, por terem maior massa, descem para a base da nuvem, tornando esta eletrizada negativamente, como indicado na Figura 2. A base da nuvem induz então cargas elétricas na superfície da Terra, gerando uma **diferença de potencial** entre a nuvem e a Terra e um **campo elétrico** ascendente (direcionado para cima), já que se sabe que o campo elétrico é uma grandeza vetorial (simbolizada por \vec{E}) que é representada por um vetor saindo do polo positivo em direção ao polo negativo, como indica a Figura 2.

Quadro 8 – Aprofundamento do conceito de eletrização por atrito.

Eletrização por atrito
<p>Um das formas de eletrizar um corpo é esfregando um com o outro, ou seja, por atrito. Assim, os dois que estavam inicialmente neutros ficam eletrizados com cargas de mesmo valor, mas de sinais opostos. Isso ocorre porque um corpo perde elétrons enquanto o outro recebe esses elétrons, mas a quantidade total de cargas permanece sempre a mesma se o sistema for isolado. Esse é conhecido como Princípio de Conservação da carga elétrica.</p> <p>As outras formas de eletrizar um corpo são por <i>contato</i> e por <i>indução</i>.</p>

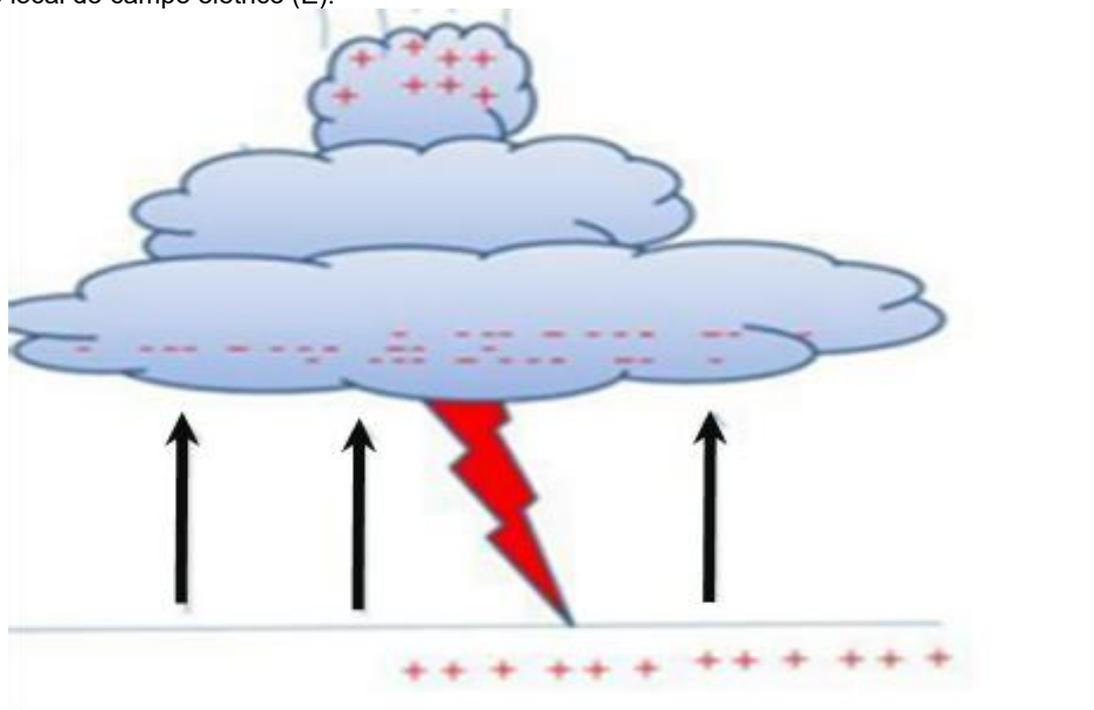
Fonte: As Autoras (2022).

Quadro 9 – Aprofundamento do conceito de Campo Elétrico.

Campo Elétrico
<p>O conceito de campo elétrico pode ter vários significados, dependendo da teoria que está sendo considerada. Amparados em como esse conceito é exposto em algumas teorias, Soares e Artuso (2011) discutem que:</p> <p style="padding-left: 40px;">No formalismo de Maxwell, campo elétrico e campo magnético são conceitos primitivos, portanto não são definidos explicitamente. O que encontramos são equações que relacionam esses campos entre si (REITZ, 1982). No formalismo de Weber, o campo elétrico não é definido. A teoria de Weber é toda desenvolvida com base nos conceitos de partícula e força (ASSIS, 1995). Na formulação de Coulomb, o conceito de campo elétrico é apresentado a partir de uma carga pontual bem como em termos de força que atua sobre uma carga de prova (TIPLER; MOSCA, 2006). Já na Eletrodinâmica Quântica, a interação entre duas cargas elétricas é descrita em termos de troca de fótons entre elas (BASSALO, 2006; SOARES; ARTUSO, 2011. p. 3)</p> <p>Pantoja e Moreira (2020) ressaltam o quanto a abordagem desse conceito é arbitrária nos livros didáticos, pois “não costuma ocorrer de maneira a explicar a natureza do conceito” (p. 2). Nos livros didáticos do ensino médio costuma-se usar a ideia de campo elétrico associado à noção de força elétrica, mas enquanto a Lei de Coulomb foi publicada em 1785, a noção de campo elétrico surge apenas no século XIX, o que nos leva a pensar na dificuldade que existe na apropriação desse conceito ao se usar as obras didáticas, como apresentado por Pantoja e Moreira (2020). O que podemos sintetizar e que pode nos ajudar na compreensão desse tema de Descargas elétricas atmosféricas é que se existe excesso de carga elétrica em um corpo, existe um campo elétrico em torno desse corpo e o campo elétrico é uma grandeza vetorial (que tem módulo, direção e sentido). Seu módulo será discutido mais adiante e sua direção e sentido é saindo do polo positivo e entrando no polo negativo.</p>

Fonte: As Autoras (2022).

Figura 2 – Distribuição de cargas em nuvem e superfície da Terra sob tempestade. As setas indicam a direção local do campo elétrico (E).



Fonte: Adaptado de Santos (2013, p. 3).

Quadro 10 – Aprofundamento do conceito de potencial elétrico e diferença de potencial.

Potencial elétrico e diferença de potencial
<p>Potencial (V) é uma propriedade do campo elétrico que não depende da presença de um corpo carregado. É medido em joules por coulomb (J/C), que recebeu um nome especial de volt (V) no SI. (HALLIDAY; RESNICK; WALKER 2016).</p> <p>O potencial é uma grandeza escalar que mede a capacidade que um corpo eletrizado tem de fazer com que um outro corpo eletrizado realize trabalho se for colocado naquele ponto, ou seja, se vai ser atraído ou repellido por uma força elétrica (F). O potencial elétrico poderá ser positivo, negativo ou nulo.</p> <p>Para uma carga pontual, o potencial é definido como:</p> $V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r}$ <p>A diferença de potencial U dentro de um campo elétrico é dada por:</p> $U = V_2 - V_1$

Fonte: As Autoras (2022).

Mendes Júnior e Domingues (2002), Tavares e Santiago (2002), Santos (2013), entre outros, apresentam que mesmo em condições de tempo bom, há sempre uma densidade de carga na atmosfera, que leva a existência de um campo elétrico descendente (apontando para baixo) quando não há nuvens de tempestade (observe que nesse caso a polarização se inverte em relação à figura anterior).

A primeira tentativa de explicar a existência desse campo elétrico foi sugerida por Charles T.R. Wilson em 1820, quando propôs que ele surgia em virtude da existência de um capacitor esférico formado pela superfície da Terra e uma superfície equipotencial localizada em alguma altitude supostamente entre 40 km e 60 km, a qual chamou inicialmente de *eletrosfera*, mas posteriormente considerou-se essa camada como sendo a ionosfera³⁹ (Ver Figura 3). Segundo essa “Teoria do capacitor esférico”, esse capacitor é carregado até uma diferença de potencial de 200 quilovolts (200 KV)⁴⁰.

³⁹Fonte:

<http://www.inpe.br/webelat/homepage/menu/relamp/eletricidade.atmosferica/circuito.eletrico.atmosferico.global.php>

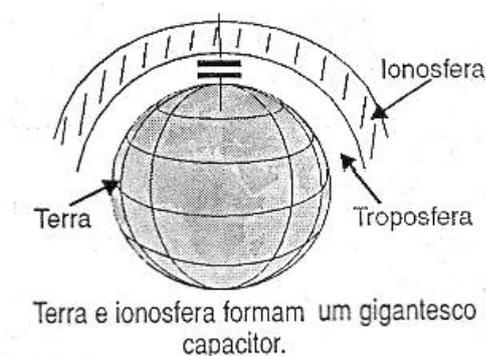
⁴⁰ 200.000 volts. Compare com a diferença de potencial que temos em nossas residências (127V ou 220 V), ou seja, é mais de mil vezes maior.

Quadro 11 – Aprofundamento do conceito de capacitor.

Capacitor	
<p>É um dispositivo constituído por duas placas condutoras separadas por um material isolante. As placas condutoras podem ser planas como, por exemplo, duas lâminas; podem ser esféricas (duas esferas concêntricas); ou cilíndricas (dois cilindros coaxiais ocios). Há também capacitores constituídos por mais de um par de placas (como aqueles utilizados em aparelhos de rádio) ou então constituídos por várias placas metálicas separadas por isolantes e enroladas em espiral. Alguns tipos de capacitores são mostrados abaixo:</p>	

Fonte: (GREF, 2017, 320-321).

Figura 3 – Representação do modelo do capacitor esférico formado pela Terra que teria carga negativa e a ionosfera, com carga positiva.



Fonte: https://www.newtonbraga.com.br/images/stories/artigo2020/hist0062_0003.png. Acesso em: 10 fev. 2022.

O valor do campo elétrico em condições de tempo bom, próximo à superfície da Terra, é cerca de 100 V/m (ou 100 N/C). Mas a atmosfera é composta por gases (75% de Nitrogênio e 24% de Oxigênio) que não formam um isolante perfeito entre a ionosfera e a Terra⁴¹, o que acaba por gerar um fluxo de corrente elétrica de cima para baixo da ordem de $2 \times 10^{-12} \text{ A/m}^2$ e esse fluxo integrado sobre toda a Terra descarregaria por completo o capacitor em cerca de 10 minutos, anulando a diferença de potencial (MENDES JÚNIOR; DOMINGUES, 2002; TAVARES; SANTIAGO, 2002). No entanto, essa descarga

⁴¹ Pois lembre-se que as ligações desses gases são covalentes e não iônicas.

completa não ocorre e acredita-se que as nuvens Cumulonimbus são as principais responsáveis pela manutenção dessa diferença de potencial, pois age “no sentido de manter a carga negativa da esfera interna, contribuindo para a manutenção das cargas positivas na esfera externa (MENDES JÚNIOR; DOMINGUES, 2002, p. 10).

Quadro 12 – Aprofundamento do conceito de Isolantes e Condutores.

ISOLANTES E CONDUTORES
Podemos classificar os materiais de acordo com a facilidade com que as cargas elétricas se movem em seu interior. Os condutores são materiais nos quais as cargas elétricas se movem com facilidade, como os metais, o corpo humano e a água da torneira. Os não condutores, também conhecidos como isolantes [ou dielétricos], são materiais nos quais as cargas têm dificuldade de se mover, como os plásticos, a borracha, o vidro e a água pura (destilada). É importa dizer que não existem isolantes ou condutores perfeitos, pois isso vai depender da diferença de potencial a que são submetidos.

Fonte: (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2016, p. 3, com adaptações).

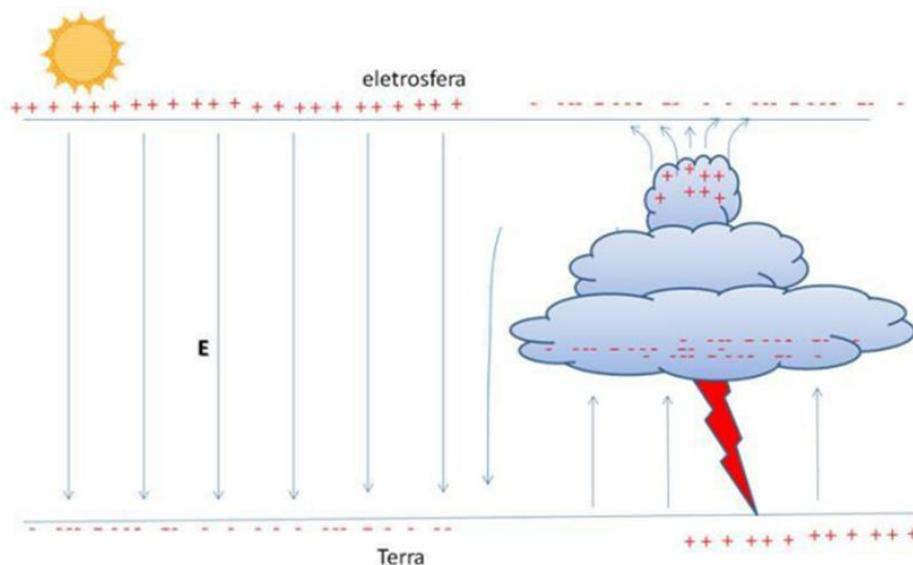
Quadro 13 – Aprofundamento do conceito de Corrente Elétrica.

CORRENTE ELÉTRICA
A corrente elétrica (i) é o movimento orientado de cargas elétricas em um meio em um determinado tempo definida como $i = dq/dt$ ou $i = \Delta q/\Delta t$ (para o ensino médio). Ela surge sempre que existe uma diferença de potencial (ddp ou tensão) entre dois pontos (chamados polo positivo e polo negativo). Mendes Júnior e Domingues (2002) dizem que “por razões históricas, o sentido de uma corrente elétrica está convencionado como sendo o do movimento das partículas carregadas positivamente. Trata-se do mesmo sentido do campo elétrico aplicado ou da queda de potencial que produz o movimento das partículas carregadas. Portanto, se a corrente é devida ao movimento das partículas carregadas negativamente, tais como os elétrons, o sentido da corrente é oposto ao movimento real dos elétrons.

Fonte: As Autoras (2022).

A Figura 4 apresentada por Santos (2013) é mais uma representação que procura dar conta de exemplificar esse modelo, mas em uma perspectiva bidimensional.

Figura 4 - Modelo do capacitor atmosférico sob tempo bom (esquerda) e sob tempestade (direita). As setas indicam a direção local do campo elétrico (E).



Fonte: Santos (2013, p. 3).

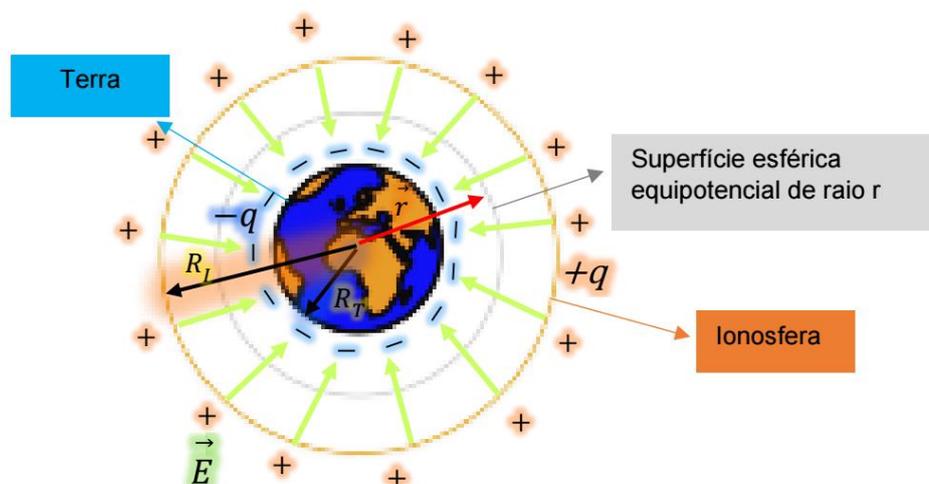
Mas qual seria a Capacitância desse capacitor esférico? Para calcularmos, vamos partir da análise da Figura 5, onde temos a ionosfera como a esfera maior carregada positivamente e a superfície da Terra como sendo a esfera menor carregada negativamente. A esfera intermediária seria uma superfície equipotencial de raio r , ou seja, uma superfície equipotencial é aquela onde o potencial elétrico é o mesmo em todos os pontos e esse r é variável, em um limite de integração que vai de um polo (ionosfera) a outro (superfície da Terra). O campo elétrico está sendo representado por setas verdes, saindo do polo positivo em direção ao polo negativo da Figura 5.

Quadro 14 – Aprofundamento do conceito de Capacitância.

CAPACITÂNCIA
<p>É uma medida da quantidade de carga que precisa ser acumulada nas placas para produzir uma diferença de potencial entre elas. Quanto maior a capacitância, maior a carga necessária, o que pode ser representada pela equação: $C = \frac{q}{U}$</p> <p>No Sistema Internacional a Unidades (SI), a unidade de Capacitância é coulomb por volt (C/V), que recebeu um nome especial, faraday (F), em homenagem ao cientista Michael Faraday.</p>

Fonte: (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2016, p. 128, com adaptações).

Figura 5 – Modelo do capacitor esférico com a representação da ionosfera com carga positiva, superfície da Terra com carga negativa e uma superfície equipotencial de raio r .



Fonte: As Autoras (2022).

Sabe-se que a Capacitância (C) é definida como a relação entre a carga de uma das placas do capacitor (q) e a diferença de potencial entre as placas esféricas do capacitor (U)

$$C = \frac{q}{U} \quad (2)$$

Para calcular U usaremos a equação

$$U = - \int_i^f \vec{E} \cdot d\vec{r} \quad (3)$$

No ensino médio essa equação é vista apenas em módulo:

$$U = E \cdot d \quad (4)$$

Sendo $U = V_f - V_i$ onde V_f é o potencial elétrico na superfície da Terra e V_i é o potencial na ionosfera.

Essa integral da equação (3) em dr vai da posição inicial (ionosfera), cujo raio é R_I , até a posição final (superfície da Terra), cujo raio é R_T . Assim, podemos escrever:

$$U = - \int_{R_I}^{R_T} \vec{E} \cdot d\vec{r} \quad (4)$$

Esse produto escalar entre o campo elétrico e o elemento infinitesimal de posição da superfície equipotencial pode ser escrito como

$$U = - \int_{R_I}^{R_T} E r \cos\alpha \quad (5)$$

onde α é o ângulo entre \vec{E} e $d\vec{r}$

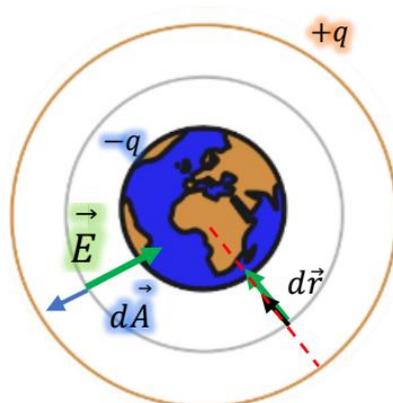
Estamos em busca de saber qual a equação que define a capacitância do capacitor formado pela ionosfera e a superfície da Terra e até o momento fomos buscar a diferença de potencial U , mas agora necessitamos do campo elétrico para encontrá-la.

O campo elétrico \vec{E} pode ser calculado pela Lei de Gauss:

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{q_{env}}{\epsilon_0} \quad (6)$$

Essa Lei “relaciona os campos elétricos nos pontos de uma superfície gaussiana à carga total envolvida pela superfície” (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2016. p. 52). Quanto ao formato dessa superfície gaussiana, pode ser qualquer um, mas a forma que facilita o cálculo é quando ela reflete a simetria da distribuição de cargas, o que, por sorte, temos isso em nosso problema do capacitor esférico formado pela superfície da Terra e ionosfera, como indica a Figura 6.

Figura 6 – Direção do Campo elétrico \vec{E} e $d\vec{A}$ na superfície gaussiana, bem como $d\vec{r}$.



Fonte: As Autoras (2022).

Nessa equação (6), \vec{E} e $d\vec{A}$ tem mesma direção (radial), mas sentidos opostos, como indica a Figura 6. Assim, $U = -\frac{q}{4\pi\epsilon_0} \int_{R_I}^{R_T} \frac{1}{r^2} dr$ como a superfície gaussiana engloba uma carga negativa (-q), o ângulo entre esses dois vetores (campo elétrico e elemento de área) é 180° .

Substituindo na equação (5), temos:

$$\oint E \cdot dA \cdot (\cos 180^\circ) = \frac{q_{env}}{\epsilon_0}$$

Como \vec{E} é constante na superfície gaussiana, essa grandeza pode sair da integral. A carga q_{env} da Lei de Gauss é a carga que se encontra envolvida pela superfície gaussiana, no caso, a carga da superfície da Terra, que é $-q$, o que resulta:

$$-E \cdot A = -\frac{q}{\epsilon_0} \times (-1)$$

A é a área da superfície gaussiana esférica, dada por $4\pi r^2$. Substituindo, temos:

$$\begin{aligned} E \cdot 4\pi r^2 &= \frac{q}{\epsilon_0} \\ E &= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2} \end{aligned} \quad (7)$$

Geralmente não aparecem nos livros de ensino médio esse termo com a **permissividade elétrica** $\frac{1}{4\pi\epsilon_0}$, mas percebe-se que aparece na equação do módulo do campo elétrico uma constante eletrostática K (ou também chamada de constante de Coulomb) que pode ser assim escrita: $K = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$. Assim, no formalismo simplificado do ensino médio essa equação do módulo do campo elétrico pode ser assim descrita:

$$E = K \frac{q}{r^2}$$

$$U = - \int_{R_I}^{R_T} \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2} \times dr \times \cos \theta$$

(8)

Substituindo a equação do campo elétrico (7) na equação (5) da diferença de potencial, e sabendo que o ângulo entre E e dr é 0°, como vimos na Figura 6, temos:

A carga da superfície da Terra é constante, portanto pode sair da integral junto com os demais fatores constantes, o que resulta em uma integral em dr.

$$U = -\frac{q}{4\pi\epsilon_0} \int_{R_I}^{R_T} \frac{1}{r^2} dr$$

$$U = -\frac{q}{4\pi\epsilon_0} \int_{R_I}^{R_T} (r^{-2}) dr$$

$$U = -\frac{q}{4\pi\epsilon_0} \frac{r^{-1}}{(-1)} \Big|_{R_I}^{R_T}$$

$$U = U = \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \frac{1}{r} \Big|_{R_I}^{R_T}$$

$$U = \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{1}{R_T} - \frac{1}{R_I} \right)$$

$$U = \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{R_I - R_T}{R_I R_T} \right) \quad (9)$$

Enfim, substituindo (9) na equação (2) para calcular a capacitância:

$$C = \frac{q}{U}$$

$$C = \frac{q}{\frac{q}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{R_I - R_T}{R_I R_T} \right)}$$

$$C = 4\pi\epsilon_0 \left(\frac{R_I R_T}{R_I - R_T} \right) \quad (10)$$

Esse resultado é o mesmo apresentado por Santos (2013) da **Capacitância** do sistema Terra-ionosfera, em que $\Sigma_o = 8,85 \cdot 10^{-12}$ F/m é **permissividade elétrica** do ar, $R_T = 6.370$ km é o raio da Terra, $R_e = 6.395$ km é o raio da ionosfera (que no artigo ele ainda chama de eletrosfera).

Essa é uma equação que os professores do ensino médio podem analisar com os estudantes, sem a necessidade da demonstração que envolve cálculo diferencial e integral. Percebe-se que ao substituirmos as constantes, podemos chegar ao resultado da capacitância desse capacitor formado pela Terra e ionosfera:

$$C = 4\pi \times 8,85 \times 10^{-12} \left(\frac{6370 \text{ km} \times 6395 \text{ km}}{370 \text{ km} - 6395 \text{ km}} \right)$$

$$C = 4\pi \times 8,85 \times 10^{-12} \left(\frac{40,7 \times 10^6 \text{ km}^2}{25 \text{ km}} \right)$$

$$C = 4\pi \times 8,85 \times 10^{-12} \left(\frac{40,7 \times 10^6}{25} \right) \times 10^3 \text{ m}$$

$$C = 0,18 \text{ F}$$

Santos (2013) discute que esse é um valor muito grande para capacitâncias. Também faz uma comparação interessante sobre a energia armazenada nessa capacitor, a carga e a diferença de potencial (ddp) gerada entre o pé de uma pessoa e sua cabeça quando está sobre a superfície da Terra:

Para a energia armazenada nesse capacitor $\left(\frac{CV^2}{2} \right)$ vão encontrar o valor aproximado de 103 J, equivale a um milhão de baterias de automóvel de 12 V e 100 Ah. A capacitância gera uma carga entre 0,5 MC e 1,5 MC na superfície da Terra. Com isso, a ddp entre os pés e a cabeça de uma pessoa na superfície da Terra pode chegar a 300 V. É provável que surja a pergunta: por que não levamos um choque? A resposta está na alta condutividade elétrica do nosso corpo em comparação com o ar (SANTOS, 2013, p. 2).

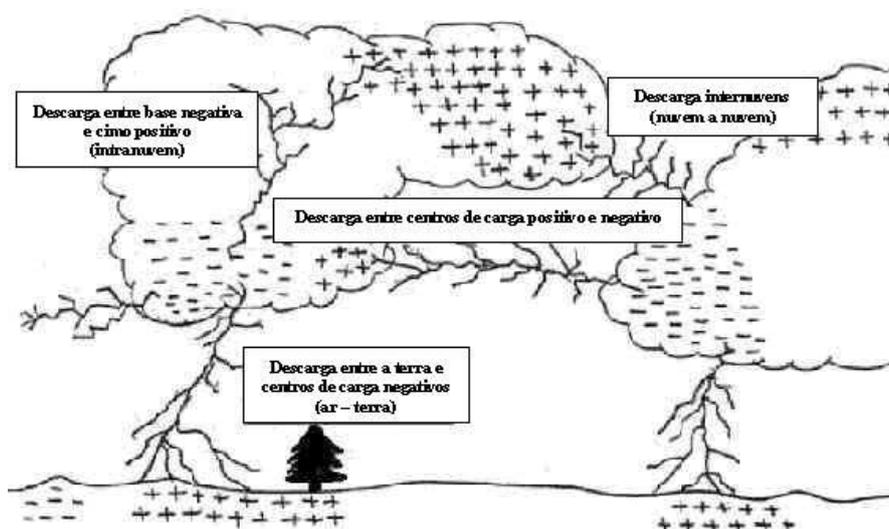
Como agora já sabemos como costumam explicar a existência do Campo elétrico na atmosfera, e que as descargas elétricas atmosféricas são os grandes responsáveis por manter carregado esse capacitor, vamos tentar entender a descarga elétrica em si, as

condições para que aconteça e os efeitos que ela causa na passagem (relâmpago e trovão).

Quanto mais carregada a nuvem fica, maior será a diferença de potencial existente entre a Terra e a nuvem e, conseqüentemente, maior será o campo elétrico, já que, como vimos na equação (3) que $U = - \int_i^f \vec{E} \cdot d\vec{r}$. Assim, quando a carga elétrica na nuvem consegue gerar um campo elétrico que supera o valor de $3 \times 10^6 \text{ V/m}$ (valor da rigidez dielétrica do ar, ou seja, do campo máximo que ele consegue suportar sendo isolante), ocorre um fenômeno chamado “**quebra da rigidez dielétrica do ar**”, ou seja, o ar torna-se condutor e ocorre a descarga elétrica entre a nuvem e a Terra, o raio.

Essa descarga pode ocorrer não apenas entre nuvem e Terra, mas também entre nuvens ou no interior de nuvens (Figura 7) e nem sempre são ascendentes, como podemos pensar. Há raios que saem da Terra em direção à nuvem, mas são raros de ocorrer. Segundo Sabá (2003, p. 5), “raios que sobem só acontecem a partir de estruturas muito elevadas, como por exemplo do alto de um arranha-céu ou de uma antena no topo de uma montanha”.

Figura 7 – Descargas elétricas no interior de nuvens, entre nuvens e entre Terra e nuvem.



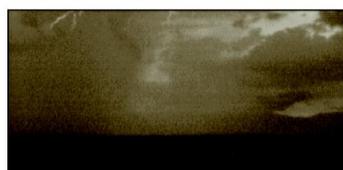
Fonte: <http://www.cibernautica.com.ar/portugues/pararaiois/image002.gif>. Acesso em: 03 fev. 2022.

Quando a descarga elétrica sai da nuvem em direção à Terra ela não segue uma linha reta porque o ar da atmosfera não é homogêneo. Cada região então vai ter uma capacidade isolante diferente e a descarga elétrica irá buscar o caminho melhor para ser

superada a rigidez dielétrica, fazendo com que as cargas elétricas atravessassem aquele canal criado.

Quando essa descarga, chamada de **líder escalonado**, sai da nuvem em direção à Terra ele viaja com a velocidade de uma onda eletromagnética (300.000 km/s), mas é pouco luminosa para ser percebida a olho nu. Marcelo Saba (2003) no artigo “O raio passo a passo” da Revista Física na escola apresenta uma sequência de imagens de um raio captada por uma filmadora especial que gravava 1.000 imagens por segundo. Nessas imagens é possível ver um líder escalonado saindo da nuvem e outro também procurando o caminho da Terra, mas quando o principal consegue se juntar a uma **descarga conectante** que vem do solo, forma-se “então o que é conhecido como o canal do raio, caminho ionizado e altamente condutor” (SABA, 2003, p. 5). Segundo o autor, após a primeira ramificação chegar ao solo, a outra ramificação some da imagem porque toda a carga passa a fluir por esse canal do raio criado. A sequência de imagens pode ser vista na Figura 8.

Figura 8 – Sequência de imagens de uma descarga elétrica filmada pelo INPE no Vale do Paraíba, com uma filmadora especial que gravava 1.000 imagens/segundo.



Tempo = 0: A ponta de um líder escalonado de um raio aparece no canto superior esquerdo da imagem de vídeo.



Tempo = 3 ms: As duas pontas têm uma mesma origem na nuvem de tempestade, que não aparece na imagem.



Tempo = 1 ms: Podemos perceber no lado direito da imagem outra ponta deste líder.



Tempo = 4 ms: Elas buscam no seu movimento descendente um ponto de contato com o solo.



Tempo = 5 ms: A ramificação esquerda leva a dianteira e está prestes a completar o caminho da descarga.



Tempo = 6 ms: A ramificação esquerda completa o caminho entre a nuvem e o solo. Toda a corrente elétrica é transmitida por ela e muita luz é produzida neste momento.

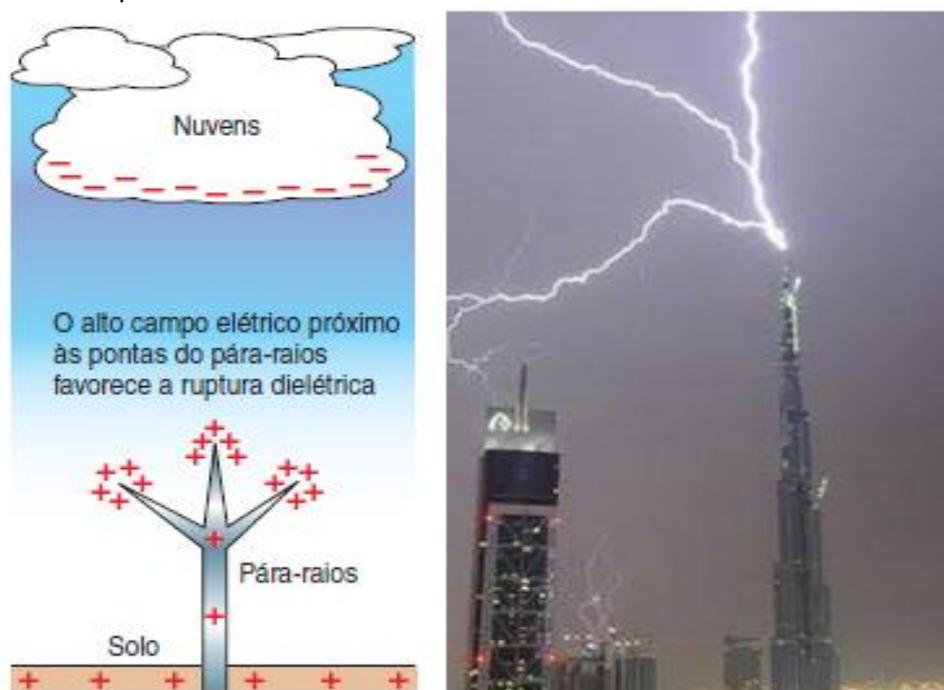


Tempo = 7 ms: A corrente elétrica diminui e o canal do raio vai aos poucos perdendo a sua luminosidade.

Fonte: Saba (2003, p. 5-6).

Mas vamos entender por que o raio é atraído por pontas, como as do para-raios, árvores ou qualquer objeto em campo aberto com altura razoável. Isso ocorre porque quando um **corpo condutor em equilíbrio eletrostático** está eletrizado, as cargas ficarão distribuídas em sua superfície externa, mas caso essa superfície não seja simétrica, a densidade de cargas será maior na região do corpo mais pontiaguda, e o campo elétrico naquela região será conseqüentemente mais intenso, levando a uma quebra da rigidez dielétrica do ar com maior facilidade (ver figura 9), por isso tem mais chances de um raio cair em objetos altos, pontiagudos, por causa desse “poder das pontas”. Dessa forma, percebe-se que o mito de que um raio não cai duas vezes no mesmo lugar não tem fundamento científico, já que se o local representa uma “ponta” naquela região, tem grandes chances dele cair novamente lá, como é o caso dos raios que caem com frequência na estátua do Cristo Redentor, situada no Morro do Corcovado no Rio de Janeiro (RJ).

Figura 9 – O poder das pontas

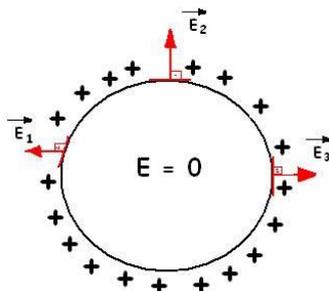


Fonte: <https://esquadraodoconhecimento.wordpress.com/2014/04/08/por-que-os-para-raios-sao-pontudos/>. Acesso em: 03 fev. 2022.

O modelo de condutor em equilíbrio eletrostático tem três características: 1. O *campo elétrico no interior do condutor é sempre nulo*; 2. O *potencial elétrico é o mesmo em todos os pontos do interior e da superfície do condutor*; 3. O *vetor campo elétrico é*

perpendicular à superfície em todos os pontos. Esse modelo pode ser observado na Figura 10.

Figura 10 – Conductor em equilíbrio eletrostático



Fonte:

https://static.preparaenem.com/conteudo_legenda/conductor%20em%20equilibrio%20eletrostatico.jpg

No caso de um automóvel que recebe a carga de um raio podemos usar esse modelo para explicar porque é seguro ficar em seu interior. A carga trazida pelo raio acumula-se na lataria externa do carro e ficam em equilíbrio se repelindo mutuamente, sem escoar para a Terra em virtude do isolamento feito pelas rodas. No interior do carro o potencial é sempre o mesmo (Potencial, V , é constante e diferença de potencial, U , é zero), então o campo elétrico será nulo ($E=0$), o que nos leva a dizer que não haverá carga elétrica no interior do automóvel, deixando-o assim seguro (desde que mantidas portas e janelas fechadas). Esse fenômeno é conhecido como “Blindagem eletrostática” (Ver Figura 11).

Figura 11 – Carro sendo atingido por uma descarga elétrica atmosférica. As cargas ficam acumuladas na lataria externa por que ele atua como uma Gaiola de Faraday



Fonte: As Autoras (2022).

No entanto, é extremamente perigoso sair do carro quando este ainda está com carga, pois você pode se transformar no canal por onde estas cargas irão passar em

direção ao solo, podendo levá-lo à morte em virtude da altíssima corrente elétrica que passará pelo seu corpo, ou seja, você fará o aterramento. O mesmo pode ocorrer se um fio de eletricidade cair sobre o carro, pois sabe-se que

O corpo humano é muito sensível à corrente elétrica. Isso ocorre porque as atividades musculares, incluindo a respiração e os batimentos cardíacos são controlados por correntes elétricas internas. A corrente elétrica de origem externa pode resultar em graves descontroles, tais como a paralisia respiratória, fibrilação ventricular e parada cardíaca” (GREF, 2017, p. 347).

No Quadro 15 é possível verificar o que ocorre com uma pessoa dependendo do valor da corrente elétrica que passa pelo seu corpo. Compare esses valores com o valor da corrente de um raio, que pode variar de 30.000 A, podendo chegar a 300.000 A⁴².

É por isso que sem conhecer esses princípios básicos de Física, muitas pessoas morrem ao tentarem sair do carro nessas circunstâncias. O ideal é aguardar, preferencialmente chamar o Corpo de Bombeiros para neutralizar o automóvel para que os ocupantes possam sair com segurança.

Agora vamos tentar entender por que o canal do raio emite luz (o relâmpago). Como já comentado acima, quando o líder escalonado encontra com a descarga conectante, forma-se o canal do raio. Nesse canal a energia que passa consegue ionizar os átomos de nitrogênio e oxigênio do ar (removendo os elétrons da última camada) dentro do canal. Uma vez que o canal está formado, as cargas armazenadas nesse canal começam a descer da nuvem em direção à Terra e surge então uma descarga de retorno, que caracteriza-se como uma descarga ascendente que sobe no canal com uma velocidade de cerca de 100 mil km/s, que equivale a um terço da velocidade da luz. Esta descarga é denominada **descarga de retorno**, dura algumas poucas centenas de microssegundos e produz a maioria da luz que vemos⁴³, a qual chamamos de **relâmpago**⁴⁴.

Quadro 15 – Efeitos da corrente elétrica no corpo humano, dependendo da amperagem.

EFEITOS DA CORRENTE ELÉTRICA NO CORPO HUMANO		
Corrente elétrica* (60Hz)	Duração	Efeito mais graves**

⁴² Fonte: <http://www.sbfisica.org.br/v1/porta1pion/index.php/artigos/30-a-fisica-das-tempestades-e-dos-raios>

⁴³Fonte:

<http://www.inpe.br/webelat/homepage/menu/relamp/relampagos/caracteristicas.da.corrente.eletrica.php>

⁴⁴ Algumas referências tem o raio como sinônimo de relâmpago, mas neste trabalho consideramos o relâmpago como um dos efeitos da passagem do raio, ou seja, a luz provocada pelo raio.

0 a 0,5 mA	Qualquer	Nenhum
0,5 a 2 mA	Qualquer	Limiar de percepção
2 a 10 mA	Qualquer	Dor Contração muscular Descontrole muscular
10 a 25 mA	Minutos	Contração muscular Dificuldade respiratória Aumento da pressão arterial
25 a 50 mA	Segundos	Paralisia respiratória Fibrilação ventricular Inconsciência
50 a 200 mA	Mais de um ciclo cardíaco	Fibrilação ventricular Inconsciência Paralisia respiratória Marcas visíveis
Acima de 200 mA	Menos de um ciclo cardíaco	Fibrilação ventricular Inconsciência Marcas visíveis
Acima de 200 mA	Mais de um ciclo cardíaco	Parada cardíaca reversível Inconsciência Queimaduras
*As faixa de valores para a corrente elétrica são muito aproximada e devem ser consideradas como ordem de grandezas.		

Fonte: GREF (2017, p. 348).

Walker (2012, p. 223) explica que:

A recombinação dos elétrons livres com as moléculas de ar produz a luz intensa do relâmpago. Embora o relâmpago seja muito luminoso, o caminho condutor no qual acontece toda a atividade provavelmente tem menos de um centímetro de diâmetro.

Essa passagem da descarga elétrica, além de ionizar o canal do raio, também provoca aquecimento brusco do ar naquela região (dilatação térmica) em virtude de os elétrons acelerados colidirem violentamente com as moléculas de ar que encontram no caminho. Assim, o aumento da temperatura das moléculas provoca uma dilatação volumétrica brusca do ar, provocando uma onda de choque, o trovão (WALKER, 2012). Para se ter uma ideia de valores, “a temperatura de um canal de relâmpagos, medida espectroscopicamente alcança 30.000 K em apenas 12 μ s após a passagem da descarga de retorno, mas decai rapidamente em cerca de 50 μ s” (TAVARES; SANTIAGO, 2002, p. 410).

Apesar dos fenômenos de relâmpago e trovão ocorrerem ao mesmo tempo, nesse intervalo de tempo ínfimo, conseguimos ver primeiro o relâmpago e depois escutar o

trovão. Isso ocorre por que a velocidade da luz no ar (300.000 km/s) é muito maior do que a velocidade do som no ar (340 m/s).

Até aqui apresentamos várias teorias que tentam explicar esse fenômeno tão curioso das descargas elétricas atmosféricas, mas assim como começamos o início deste capítulo, é importante chamar atenção que ainda não há consenso sobre algumas questões, por exemplo: “Como as nuvens têm suas cargas em camadas positivas e negativas? Qual a fonte dessas cargas? Que modelo matemático explicaria melhor as descargas das nuvens de tempestade?” (TAVARES; SANTIAGO, 2002).

No entanto, pelo resultado de algumas pesquisas, especialmente as desenvolvidas pelo INPE nos últimos anos, pudemos perceber que conhecer os princípios físicos envolvidos no tema sobre Raios, relâmpagos e trovões nos ajuda não apenas a entender os fenômenos que observamos e escutamos, mas também pode nos ajudar a evitar acidentes ou nos custem a vida. Especialmente para os que vivem no Brasil, maior país da zona tropical e campeão mundial em número de raios por ano, devemos estar atentos aos perigos e saber como nos protegermos em caso de necessidade, bem como divulgar esses conhecimentos às outras pessoas.

Para se ter uma ideia, somente nos 15 primeiros dias do ano de 2022 caíram 10 milhões de raios em solo brasileiro (aumento de 16% em relação ao ano passado)⁴⁵. No produto educacional desta dissertação disponível no Apêndice A é possível ter contato com leituras e indicações de vídeos onde especialistas discutem procedimentos que podem ser feitos para se evitar acidentes ou mortes por descargas elétricas, especialmente para quem mora na Amazônia, onde a incidência de raios é muito maior se comparada a outras regiões do Brasil. No texto motivador do produto também são discutidos mitos associados com o tema, pois na perspectiva da Alfabetização científica, precisamos problematizar o senso comum dos estudantes para que aos poucos eles consigam adquirir habilidades de compreensão de como se faz Ciência, como se explica Ciência e que valores, atitudes e relações com a sociedade e o meio ambiente estão envolvidas nessa construção.

⁴⁵ Fonte: Reportagem televisiva do Domingo Espetacular da Rede Record ocorrida em 30 de janeiro de 2022.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, R. C. **Estudo do efeito lente produzido por nuvens na irradiação solar global medido no Nordeste do Brasil**. Orientador: Dr. Chigueru Tiba. 2016. 111 f. Tese (Doutorado em Ciências) - Universidade Federal de Pernambuco, 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/18342/1/Tese%20Ricardo%20Cesar%20e%20Andrade%20%20para%20Biblioteca%20Central.pdf>. Acesso em: 07 fev. 2022.
- BRITO, L. P.; GOMES, N. F. O ensino de física através de temas no atual cenário do ensino de ciências. *In*: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 6., 2007, Florianópolis, SC. **Anais [...]**, Florianópolis, SC: ABRAPEC, 2007. Disponível em: https://abrapecnet.org.br/atas_enpec/vienpec/CR2/p962.pdf?msclkid=2706486da7d211ec8e4ff49f873c467b. Acesso em: 19 mar. 2022.
- DELIZOICOV, D.; ANGOTTI, J. A.; PERNAMBUCO, M. M. C. A. **Ensino de ciências: fundamentos e métodos**. 4. ed. São Paulo: Cortez, 2011.
- GRUPO DE REELABORAÇÃO DO ENSINO DE FÍSICA (GREF). **Física 3: Eletromagnetismo**. 5. ed. São Paulo: EDUSP, 2017. Livro 3.
- HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de física**. 8. ed. Rio de Janeiro, RJ: LTC, 2016. v. 3.
- MEIRELES, G. C. **Estudo investigativo das chuvas em Santarém-PA: uma proposta temática para o ensino de física**. 2012. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação em Física Ambiental) - Universidade Federal do Oeste do Pará, 2012.
- MENDES JÚNIOR, O.; DOMINGUES, M. O. Introdução à eletrodinâmica atmosférica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 24, n. 1, mar., 2002.
- PANTOJA, G. C. F.; MOREIRA, M. A. Conceitualização do conceito de campo elétrico de estudantes de ensino superior em unidades de ensino potencialmente significativas sobre eletrostática. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 42, 2020.
- PINTO JÚNIOR, O. **País dos raios**. Rio de Janeiro: Rede Globo, 2014. Série de 3 episódios exibida no Fantástico. Episódios 1, 2 e 3.
- SABA, M. M. F. O raio passo a passo. **A Física na Escola**, São Paulo, v. 4, n. 2, 2003. Disponível em: <http://www1.fisica.org.br/fne/phocadownload/Vol04-Num2/v4n2a031.pdf>. Acesso em: 10 fev. 2022.
- SABA, M. M. F. A Física das tempestades e dos raios. **A Física na Escola**, São Paulo, v. 2, n. 1, 2001. Disponível em: <http://www.cepa.if.usp.br/e-fisica/apoio/textos/raios.pdf>. Acesso em: 10 fev. 2022.
- SANTOS, A. C. F. Um raio no céu azul. **Scientific American Brasil: aula aberta**, [on line], n. 15, p. 64-65, 2013. Disponível em: https://issuu.com/ed_moderna/docs/aulaaberta_15. Acesso em: 05 fev. 2022.

SOARES, M. V.; ARTUSO, A. R. A. Campo elétrico: uma investigação sobre compreensão, definição e abordagem. *In*: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, 19., 2011, Manaus. **Anais** [...]. Manaus: 2011.

TAVARES, M.; SANTIAGO, M. A. M. Eletricidade atmosférica e fenômenos correlatos. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 24, n. 4, 2002. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/3LgdPzbwyFWv4mH5LPnWfcm/>. Acesso em: 05 fev. 2022.

WALKER, J. **O circo voador da física**. Rio de Janeiro: LTC, 2012.