



UNIVERSIDADE FEDERAL DO SUL E SUDESTE DO PARÁ
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

Gleybison de Queiroz Nunes

**USO DE UM TUBO DE RAIOS CATÓDICOS COM COMPONENTES
ALTERNATIVOS: UMA FERRAMENTA PARA O ENSINO DE ELETRICIDADE**

Marabá - PA

2020

Gleybison de Queiroz Nunes

**USO DE UM TUBO DE RAIOS CATÓDICOS COM COMPONENTES
ALTERNATIVOS: UMA FERRAMENTA PARA O ENSINO DE ELETRICIDADE**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação do Instituto de Ciências Exatas da Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, ao 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. Fernanda Carla Lima Ferreira

Marabá - PA

2020

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Biblioteca Setorial II da UNIFESSPA

Nunes, Gleybison de Queiroz

Uso de um tubo de raios catódicos com componentes alternativos: uma ferramenta para o ensino de eletricidade / Gleybison de Queiroz Nunes; orientadora, Fernanda Carla Lima Ferreira. — Marabá : [s.n.], 2020.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, Instituto de Ciências Exatas – ICE, Mestrado Nacional em Ensino de Física – MNPEF, Marabá, 2020.

1. Física – Estudo e ensino. 2. Física – Experiências. 3. Física – Equipamento eletrônico. 4. Raios catódicos. 5. Eletricidade – Experiências. I. Ferreira, Fernanda Carla Lima, orient. II. Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará. III. Título.

CDD: 22. ed.: 530.07

Gleybison de Queiroz Nunes

**USO DE UM TUBO DE RAIOS CATÓDICOS COM COMPONENTES
ALTERNATIVOS: UMA FERRAMENTA PARA O ENSINO DE ELETRICIDADE**

Orientadora:

Fernanda Carla Lima Ferreira

Dissertação de conclusão do Mestrado Profissional em Ensino de Física, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física

Aprovada por:

Dr^a. Fernanda Carla Lima Ferreira (orientadora)

Dr^o. Gilberto Saraiva Dantas (membro externo)

Dr^a. Glaura Carona de Azevedo (membro interno)

Marabá - PA

2020

Nunes, Gleybison de Queiroz

.
Orientadora: Fernanda Carla Lima Ferreira.
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, Campus Universitário de Marabá, Instituto de Ciências Exatas, Faculdade de Física, Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), Marabá, 2020.

Referências Bibliográficas: f. 74-77.

1. Ensino de Física. 2. . 3. . I. Nunes, Gleybison de Queiroz. II. Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, Instituto de Física, Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física.

*A minha família, aos meus amigos e aos
professores.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, aos amigos que contribuíram de forma direta ou indiretamente com essa minha jornada. Agradeço a minha família pelo apoio que me deram em todos os momentos da minha vida. A todos os professores e professoras do Programa de Mestrado em Ensino de Física da UNIFESSPA, em especial à professora Dra. Fernanda Carla Lima Ferreira pela orientação nos trabalhos e aos professores da banca examinadora por terem atendido ao convite e contribuições ao trabalho. A toda a equipe da Escola Estadual de Ensino Médio Maria Benta Oliveira de Sousa, por contribuir de forma direta e/ou indireta para a realização desta pesquisa. O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior Brasil (CAPES) – Código de financiamento 001.

RESUMO

Este trabalho é proposto com o intuito de se compreender a importância em obter o mais alto grau no desenvolvimento de habilidades e competências relativas ao ensino da Física nas escolas públicas do país, contemplando, de forma sistemática, as diversas ações que o compõem, a fim de atender da melhor maneira possível alunos e professores. Acredita-se que a realização de experiências em aulas práticas envolvendo os assuntos estudados seria fundamental para a compreensão desses conteúdos, promovendo, conseqüentemente, o desenvolvimento da aprendizagem. Entretanto, a grande maioria das escolas públicas brasileiras não possui laboratórios multidisciplinares, e quando esses existem, o problema acaba sendo a falta de equipamentos para demonstração de fenômenos físicos que, no caso dessa dissertação, são os elétricos. Isso se deve principalmente ao fato de que materiais para estudar esses tipos de fenômenos são caros. Diante disso, o objetivo deste trabalho foi a construção de um tubo que permita visualizar raios catódicos, e que seja de baixo custo. Fazendo uso de algumas adaptações e equipamentos eletrônicos alternativos é possível montar esse experimento com um orçamento em torno de duzentos e vinte e três reais (R\$ 223,00). Além da questão financeira, vale ressaltar os conceitos físicos que podem ser trabalhados com esse equipamento. Nesse sentido, a partir do uso de coleta de informações, foi feita uma análise criteriosa sobre a eficácia do uso de experimentos que mostrem, na prática, fenômenos físicos no processo de ensino-aprendizagem da disciplina de Física. Constatou-se, de forma geral, que grande parte das dificuldades dos alunos em relação a essa disciplina ocorre pelos difíceis conceitos matemáticos, que se baseiam em teorias e fórmulas. Portanto, tanto para alunos, quanto para professores, a utilização de experimentos práticos seria extremamente atraente e eficaz para os processos de aquisição de conhecimento sobre o tema. Além disso, afirma-se que o aparato é eficaz, tendo apresentado resultado satisfatório e, sendo assim, possui plenas condições de ser levado ao mercado.

Palavras-chave: Ensino aprendizagem. Experimentos. Tubo de raios catódicos.

ABSTRACT

This work is proposed in order to understand the importance of obtaining the highest degree in the development of skills and competences related to the teaching of Physics in public schools in the country, contemplating, in a systematic way, the various actions that compose it, in order to serve students and teachers in the best possible way. It is believed that the realization of experiences in practical classes involving the subjects studied would be fundamental for the understanding of these contents, consequently promoting the development of learning. However, the vast majority of Brazilian public schools do not have multidisciplinary laboratories, and when these exist, the problem ends up being the lack of equipment for demonstrating physical phenomena, which, in the case of this dissertation, are electrical. This is mainly due to the fact that materials for studying these types of phenomena are expensive. Therefore, the goal of this work is a construction of a tube that allows viewing cathode rays, and that is low cost, becomes very interesting. Using some adaptations and alternative electronic equipment, it is possible to set up this experiment with a budget of around R \$ 223.00. In addition to the financial issue, it is worth mentioning the physical concepts that can be worked with this equipment. In this sense, from the use of information collection, a careful analysis was made on the effectiveness or not of the use of experiments that show, in practice, physical phenomena in the teaching-learning process of the discipline of Physics. It was found, in general, that most of the students' difficulties in relation to this discipline occur due to difficult mathematical concepts, which are based on theories and formulas. Therefore, for both students and teachers, the use of practical experiments would be extremely attractive and effective for the processes of acquiring knowledge on the subject. In addition, it is said that the apparatus is effective, having presented a satisfactory result and, therefore, it has full conditions to be brought to the market.

Keywords: Learning. Education. Experiments. Cathode ray tube.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Processos da aprendizagem significativa por subordinação	19
Figura 2: Processos de aprendizagem significativa por super ordenação	19
Figura 3: Exemplo de campo elétrico, gerado por duas partículas, ocorrendo atração e repulsão.....	29
Figura 4: Ilustração das características do vetor campo elétrico gerado por uma carga elétrica puntiforme Q fixa.....	30
Figura 5: Campo elétrico de uma carga negativa e uma carga positiva	32
Figura 6: Ilustração do potencial elétrico formado em um campo elétrico de uma carga Q puntiforme.....	33
Figura 7: Ilustração para cálculo da diferença do potencial elétrico entre dois pontos em um campo elétrico	35
Figura 8: Modelo tridimensional das linhas de um campo magnético	39
Figura 9: Representação da regra da mão direita	40
Figura 10: Exemplo ilustrativo de um capacitor com dielétrico.....	48
Figura 11: Visão esquemática do aparelho de Thomson.	50
Figura 12: Percentual que mostra a opinião dos alunos em relação a didática dos professores.....	55
Figura 13: Percentual que mostra a opinião dos alunos em relação a aulas teóricas.	55
Figura 14: Percentual que mostra a opinião dos alunos em relação ao uso de experimentos.....	55
Figura 15: Percentual que mostra a maior dificuldade dos alunos em estudar eletromagnetismo	55
Figura 16: Percentual que mostra a motivação dos alunos em estudar eletromagnetismo através de aulas práticas	57
Figura 17: Percentual que mostra a opinião dos alunos em relação ao uso do produto educacional	57
Figura 18: Percentual que mostra a percepção dos alunos em relação a segurança durante o uso do produto educacional	57
Figura 19: Percentual que mostra o conceito atribuído pelos alunos ao uso do produto educacional	57
Figura 20: Percentual que mostra a motivação dos alunos em estudar física com aulas práticas	58
Figura 21: Percentual com a opinião dos alunos sobre uma aula de eletromagnetismo ideal.....	58
Figura 22: Percentual que mostra a interação dos professores com experimentos durante sua formação	59
Figura 23: Percentual que mostra a opinião dos professores em relação ao uso de experimentos no processo ensino aprendizagem	59
Figura 24: Percentual que mostra se os professores desenvolvem experimentos durante suas aulas	60

Figura 25: Percentual que mostra a opinião dos professores em relação ao uso do produto educacional	60
Figura 26: Percentual que mostra a opinião dos professores em relação ao que mais dificulta o ensino de alguns conteúdos.....	61
Figura 27: Percentual que mostra a opinião dos professores sobre a maior dificuldade dos alunos ao estudar física.....	61
Figura 28: Percentual que mostra a intenção dos professores em montar o produto educacional	62
Figura 29: Percentual que mostra o grau de dificuldades atribuídos pelos professores em relação a montagem do produto educacional.....	62
Figura 30: Interação entre professores e alunos	63
Figura 31: Interação entre professores e alunos	63
Figura 32: Interação entre professores e alunos	63
Figura 33: Produto na feira de ciências.....	64
Figura 34: Produto na feira de ciências.....	64

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
2 OBJETIVOS.....	13
2.1 Objetivo geral	13
2.2 Objetivos específicos.....	13
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA SOBRE APRENDIZAGEM	14
3.1 Conceitos de aprendizagem.....	14
3.2 Aprendizagem significativa	17
3.3 Etapas da aprendizagem significativa.....	22
4 REFERENCIAL TEÓRICO DO PRODUTO	25
4.1 Breve histórico da física	25
4.2 Desenvolvimento da eletricidade.....	26
4.3 Campo elétrico	28
4.4 Potencial elétrico.....	33
4.5 Campo magnético	37
4.6 Força de Lorentz	41
4.7 Rigidez dielétrica.....	45
4.8 Experimento de Thomson: demonstração da relação carga/massa	49
5 METODOLOGIA	51
5.1 Descrição da escola.....	51
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO	54
CONSIDERAÇÕES FINAIS	65
REFERÊNCIAS.....	67
APÊNDICES	72

1 INTRODUÇÃO

A escola, como organizadora e certificadora principal do processo de ensino-aprendizagem, possui a responsabilidade de garantir aos educandos um acompanhamento que adeque os conteúdos a uma realidade onde o professor e as equipes pedagógicas se envolvam em um processo educacional ativo que busca resgatar a autoestima do educando e envolver toda a comunidade escolar como elementos fundamentais na formação dos mesmos.

Assim, este projeto é proposto com o intuito de se compreender a importância em obter o mais alto grau no desenvolvimento de habilidades e competências relativas ao ensino da Física nas escolas públicas do país, contemplando, de forma sistemática, as diversas ações que o compõem, a fim de atender da melhor maneira possível alunos e professores.

Libâneo (2012) afirma que na didática ativa o professor deve colocar o aluno em condições propícias partindo de suas necessidades e estimulando seus interesses para que o mesmo possa buscar por si só o conhecimento. Trata-se de promover situações que sejam mobilizadoras de uma atividade global que inclua as atividades intelectuais e de criação.

Diante desse contexto e tomando como base os artigos 35 e 36 da Lei de Diretrizes e Bases LDB (1996), torna-se possível o desenvolvimento de um currículo voltado para as competências adquiridas pelos alunos. Vale ressaltar também as mudanças previstas no programa de reformulação do ensino médio que está sendo implantado pelo Ministério da Educação, o que pretende tornar a educação básica mais prática e menos teórica (MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO, NOVO ENSINO MÉDIO, 2008)

A justificativa desta pesquisa se dá em razão de uma constante observação, principalmente nas aulas das disciplinas relacionadas às ciências naturais, das dificuldades dos alunos em assimilar os conceitos e conteúdos apresentados. Acredita-se que a realização de experiências em aulas práticas envolvendo os assuntos estudados seria fundamental contribuição para a compreensão desses conteúdos, promovendo, conseqüentemente, o desenvolvimento da aprendizagem.

Entretanto, a grande maioria das escolas públicas brasileiras não possui laboratórios multidisciplinares, e quando esses existem, o problema acaba sendo a falta de equipamentos para demonstração de fenômenos físicos que, no caso dessa

dissertação, são os elétricos. Isso se deve principalmente ao fato de que materiais para estudar esses tipos de fenômenos são caros.

Além disso, é importante ressaltar que o produto educacional tubo de raios catódicos é inédito e pode ser utilizado como ferramenta auxiliadora durante a aplicação da metodologia de ensino criada por David Ausubel (aprendizagem significativa).

Nesse sentido, a partir do uso de coleta de informações, foi feita uma análise criteriosa sobre a eficácia ou não do uso de experimentos que mostrem, na prática, fenômenos físicos no processo de ensino-aprendizagem da disciplina de Física. Para tanto, além desta introdução, este trabalho se divide em outras 6 partes que buscam fundamentar e contextualizar os principais aspectos dessa pesquisa.

O segundo capítulo pretende demonstrar o objetivo geral e os objetivos específicos do trabalho, que giram em torno de comprovar a importância da utilização de experimentos nas aulas de física para potencializar a aprendizagem dos alunos.

O terceiro capítulo buscou fazer uma fundamentação teórica sobre algumas teorias de aprendizagem, através de conceitos elaborados por, dentre outros autores, Vygotsky (2003), que acredita que o processo de aprendizagem é feito por cada um a si mesmo; Piaget (1980), que caracterizou a aprendizagem em três tipos diferentes (Cognitiva, afetiva e psicomotora); Ou Santos (2011), que categorizou os sete processos gerais da aprendizagem, sendo eles: a atenção, a formação de conceito, a habituação, a memória, a percepção, a solução de problemas e o raciocínio.

Além disso, conceitua-se a Aprendizagem significativa sob a luz de David P. Ausubel (1918-2008), doutor em psicologia do desenvolvimento e um dos teóricos pioneiros na elaboração da teoria da aprendizagem significativa que defende que o docente é um instrumento fundamental na transmissão de conhecimentos e deve entrar em contato com os conceitos e ideias que os alunos já possuem relacionando-os com as novas informações, a fim de facilitar o aprendizado. O autor citado ainda caracteriza os três tipos de aprendizagem significativa: aprendizagem representacional, aprendizagem de conceitos e aprendizagem proposicional.

Ainda nessa parte Santos (2011) explica que não existe aprendizagem significativa sem a construção de um conceito inicial que forneça o sentido real e concreto do conteúdo a ser aprendido pelo aluno. E demonstra as sete etapas que o professor pode seguir a fim de favorecer o aprendizado significativo em sala de aula: dar sentido ao conteúdo; identificar as características do conteúdo a ser estudado;

compreender a complexidade do conceito, de forma a aprender utilizá-lo em diversos contextos; esclarecer o conceito, definindo suas características; argumentar; discutir; e internalização do aprendizado na memória de longo prazo.

Já o Capítulo 4 procurou fazer um estudo do referencial teórico relacionado ao produto, se iniciando com um breve histórico da física e logo após analisando todos os aspectos e conceitos que poderiam ser desenvolvidos em sala de aula através da utilização do tubo de raios catódicos como experimento prático.

Sendo assim, trata-se do desenvolvimento da eletricidade, que pode ser dividida em três partes, de acordo com Silva e Pimentel (2008): eletrostática, que estuda as cargas elétricas em repouso; eletrodinâmica, que é responsável pelo estudo das cargas elétricas em movimento; e eletromagnetismo, que é a parte da eletricidade que estuda a relação entre os fenômenos elétricos e magnéticos.

Além disso, foram trabalhadas algumas diversas definições como: Campo elétrico, que é quando uma carga geradora de energia exerce uma força no espaço; potencial elétrico, que é a energia potencial que será associada a uma unidade de carga; campo magnético, que é toda região do espaço em torno de um condutor percorrido por corrente ou em torno de um ímã; força de Lorentz, que considerou um meio não magnético polarizável como um conjunto de osciladores mecanicamente independentes, distribuídos de maneira isotrópica no espaço; rigidez dielétrica, que define qual é o maior campo elétrico que determinado material pode suportar, sem que nele ocorram descargas elétricas capazes de deteriorá-lo; e por fim, o experimento de Thomson: que é o método utilizado por Thomson para determinar a razão carga/massa.

Nesse caminho, o capítulo 5 faz uma demonstração específica do produto tubo de raios catódicos, listando os materiais e o custos para sua produção. Além disso, apresenta o passo a passo para a montagem e fotos detalhadas de cada etapa.

Considerado capítulo essencial, a parte de “Resultados e discussão” utiliza coleta de informações, através de um questionário, para fazer uma análise criteriosa sobre a eficácia ou não do uso de experimentos que mostrem, na prática, os fenômenos físicos no processo de ensino-aprendizagem da disciplina de Física. Apresenta gráficos que representam as respostas dos 80 alunos do ensino médio que foram entrevistados para essa pesquisa.

Por fim, desenvolve-se as considerações finais, que faz uma reflexão sobre os principais aspectos discutidos no decorrer do trabalho, bem como apresenta as principais conclusões da pesquisa.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Contribuir para o ensino da física na área da eletricidade tendo como campo de pesquisa alunos que cursam a terceira série do ensino médio em uma escola da rede pública de ensino do estado do Pará e acadêmicos do curso de licenciatura em Física da Universidade do Estado do Pará (UEPA). Pretende-se mostrar uma visão prática do funcionamento de um equipamento que trará alternativas que poderão ser adotadas por professores e alunos durante o processo ensino aprendizagem.

2.2 Objetivos específicos

- Desenvolver a capacidade de formular questões e solucionar problemas a partir da mobilização dos conteúdos da física;
- Colocar em prática conceitos, procedimentos e atitudes desenvolvidas e aprimoradas no cotidiano escolar utilizando os recursos tecnológicos com a percepção dos limites e das explicações;
- Desenvolver sugestões metodológicas que visam melhorar a aprendizagem dos alunos do terceiro ano do ensino médio utilizando para isso a prática experimental com intuito de tornar mais eficiente e atrativo o estudo da física;
- Estimular a adoção de metodologias alternativas para o ensino de eletricidade, que permitam demonstrar relações com o dia a dia e apresentar resultados em trabalhos científicos.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA SOBRE APRENDIZAGEM

3.1 Conceitos de aprendizagem

A aprendizagem é um campo de estudo que permeia diversas correntes das ciências sociais e humanas. Ao longo de toda literatura, diversos autores buscam conceituar o processo de aprendizagem e sua relação com o desenvolvimento humano; inúmeras correntes de pensamento foram construídas buscando compreender e interpretar questões relativas à natureza da área do aprendizado, apoiadas à psicologia e à filosofia, essencialmente.

Aprender, como afirma Dongo-Montoya (2009), é assimilar informações construindo estruturas gradualmente capazes de fornecer compreensão acerca da complexidade e diversidade da vida humana. E, através do desenvolvimento físico e mental do ser humano, provocado pelo próprio indivíduo em seu processo de maturidade, a aprendizagem é potencializada, o que permite que o aprendizado seja mais rápido e mais significativo. Nas palavras do próprio autor: “aprendizagem é acomodação à experiência dos esquemas de assimilação”.

Para Fontes (2016), a aprendizagem é um processo que combina a motivação que o indivíduo tem para adquirir conhecimento e as estratégias que o mesmo utiliza para alcançá-lo; sendo os fatores cognitivos, sociais, escolares, interpessoais e afetivos os responsáveis por aferir êxito e qualidade à aprendizagem. Segundo Pinto (2016), a aprendizagem se realiza pela coleta de informações:

[...] desenvolvimento e aprendizagem se relacionam à internalização de signos e a ação educativa, principalmente escolar. As funções mentais evoluem a partir da apropriação progressiva dos conceitos científicos, elaboração que acontece interativamente pela construção dos significados das palavras em seu uso contextual. (PINTO, 2016)

Além disso, Oliveira (2010 apud HUBNER & KUHN, 2017) adiciona que o ato da aprendizagem proporciona ao indivíduo a obtenção de valores, atitudes, habilidades, aptidões, etc. através da interação com seu meio e com outras pessoas. Vygotsky (2003) reitera que cada indivíduo educa a si mesmo, uma vez que não seria possível produzir mudanças a outrem, influenciando diretamente na educação desse, seja em sala de aula ou em qualquer outro ambiente. Segundo esse autor, o processo

de aprendizagem se torna efetivo através da interação entre os ativos: aluno, professor e o meio existente entre ambos.

É importante salientar, segundo Santos (2011), que a capacidade de aprender não é inata do ser humano: não se nasce talentoso, inteligente ou genial. A aprendizagem é um processo contínuo de construção de patamares cada vez mais complexos e desafiadores.

Para Pinheiro (2017) e Piaget (1980 apud SOARES et al, 2017), há três tipos distintos de aprendizagem:

- Cognitiva: é o armazenamento organizado de informações feito pelo indivíduo que está aprendendo, dentro de uma estrutura cognitiva, com esquemas sensório-motores e conceituais. É onde ocorre o desenvolvimento dos processos cognitivos;
- Afetiva: resulta de sinais inerentes do interior do indivíduo - como prazer, dor, ansiedade, alegria, satisfação, interação entre professor e aluno, dentre outras (fatores estes que influenciam no ato da aprendizagem) - agindo concomitantemente com a aprendizagem cognitiva;
- Psicomotora: representa as respostas musculares à estímulos exteriores, como a prática de esportes, treinos, exercícios físicos e musculação; podendo estar (ou não) relacionada aos demais tipos de aprendizagem. Em muitos casos, o indivíduo aprende conceitos pela aprendizagem cognitiva antes de colocar em prática a aprendizagem psicomotora.

Segundo Santos (2011), existem certos fatores que possibilitam uma aprendizagem efetiva e facilitam o desenvolvimento cognitivo. O autor ainda lista os sete processos a seguir como processos gerais da aprendizagem.

O primeiro processo geral da aprendizagem é a atenção, que se trata do instante em que a consciência mantém foco em determinada atividade. Pode ser caracterizada como atenção involuntária ou voluntária, e provocada por estímulos intensos ou não. Em suma, a atenção faz-se presente em todo e qualquer tipo de atividade. Como Santos (2011) afirma, o processo de percepção humana é profundamente influenciado pela atenção.

O segundo processo é a formação de conceito. Utilizando a ótica de Nébias (1999 apud VYGOTSKY, 1991), juntamente com a do autor citado nos parágrafos anteriores, temos que conceito é o resultado de uma complexa atividade que envolve uma série de funções intelectuais básicas (como atenção, memória e abstração) que objetivam a construção de características associadas a ideias já existentes.

A habituação é outro processo geral, descrito por Santos (2011) como a redução da resposta à estímulos que não sejam inéditos, importantes ou não promovem respostas fortes e imediatas. Esse aspecto é fundamental para a aprendizagem por proporcionar mais eficiência às nossas ações, ou seja, quanto mais fazemos algo para alcançar um objetivo, mais alta é a probabilidade de sucesso.

Há também a memória, que o autor supracitado diz ser a capacidade de “estocar” informações que foram aprendidas ou experimentadas no cérebro. Existem três tipos principais de memória: a sensorial (instantânea e de curta duração); a de média duração (dura somente pelo tempo em que o indivíduo pensa ativamente sobre a mesma); e a de longa duração (pode ser provocada pela repetição ou emoção intensa, são conteúdos significantes e que podem durar uma vida inteira). A memória pode ainda ser acessada por meio da recordação, reaprendizagem e/ou reconhecimento. No entanto, fatores como interferências, falhas de retorno, processos construtivos e esquecimento motivado, são os principais causadores de perdas de memória ao longo do tempo.

A percepção é o quinto item fundamental para a aprendizagem listado por Santos (2011), sendo descrita como “a forma como percebemos e interpretamos as informações do meio” a partir da detecção, reconhecimento e discriminação de estímulos. Os cinco sentidos principais do corpo humano são os instrumentos utilizados para coletar dados que serão processados pelo cérebro que, então constrói a percepção, convertendo esses estímulos ambientais em conteúdo sobre a realidade.

A solução de problemas possibilita, dentro do contexto educacional, maior interação entre o indivíduo e o meio em que está inserido, permitindo que a adaptação individual-social seja positiva e eficiente, como afirma Díaz (2011), uma vez que um problema possa implicar em uma barreira a ser eliminada ou em um determinado propósito a ser cumprido.

Por fim, há o raciocínio. Esse é mais um fator da aprendizagem, onde o processo é realizado a partir do pensamento direcionado, seguindo as regras da lógica

e tendo como objetivo chegar a uma conclusão a partir da construção de argumentos coerentes.

Exposto isso, Santos (2011) reitera:

A aprendizagem somente ocorre se quatro condições básicas forem atendidas: a motivação, o interesse, a habilidade de compartilhar experiências e a habilidade de interagir com os diferentes contextos. Essas condições, uma vez atendidas, somadas ao funcionamento dos processos gerais [...], tornam possível o ato de aprender de forma significativa. (SANTOS, 2011).

Os fatores listados na fala do autor acima são fundamentais para garantir o sucesso do aprendizado. A motivação é uma força proveniente de estímulos externos, impulsivos ou de necessidade, que afeta o sistema nervoso e o comportamento humano, determinando o desenvolvimento do processo e impulsionando instrumentos de amadurecimento do comportamento (VYGOTSKY, 2001). Dongo-Montoya (2009) afirma que o interesse age atrelado à motivação, uma vez que facilita a atenção e o pensamento, sendo essa a relação afetiva existente entre a necessidade e o sujeito a satisfazê-la.

Já a habilidade de transferência de experiências trata do compartilhamento de conhecimentos (abstratos ou concretos) entre situações. O sucesso dessa condição dá-se pela transferência positiva de experiências (dependendo do grau de similaridade entre tarefas), aplicabilidade de princípios aprendidos em uma tarefa a outra nova e bons hábitos de estudo, como afirma Vygotsky (2001). E a habilidade de interação em diferentes contextos é dada pelo grau de satisfação de um indivíduo inserido em determinado meio: se esse for suficientemente estimulante facilita a aprendizagem significativa.

3.2 Aprendizagem significativa

David P. Ausubel (1918-2008) foi um importante pesquisador norte-americano, doutor em psicologia do desenvolvimento e um dos teóricos pioneiros na elaboração da teoria da aprendizagem significativa, que Gomes et al. (2008) afirmam ter sido a principal contribuição do autor para a sociedade. Para Ausubel (1988, apud SANTOS, 2011), a aprendizagem consiste na ampliação da estrutura cognitiva, na qual o indivíduo adquire papel ativo no processo de aprendizagem. De acordo com o autor:

Se eu tivesse que reduzir toda a psicologia educacional a um único princípio, diria isto: o fator singular mais importante que influencia na aprendizagem é aquilo que o aprendiz já conhece. Descubra o que ele sabe e baseie nisso os seus ensinamentos. (AUSUBEL, 1968, apud PINHEIRO, 2016).

Por meio da valorização dos conhecimentos que os indivíduos já possuem, os professores são capazes de construir utilizando mapas conceituais e estruturas mentais que permitem a visualização de uma gama de possibilidades para a descoberta (e redescoberta) de novos conceitos e conhecimento, como afirma Klausen (2017).

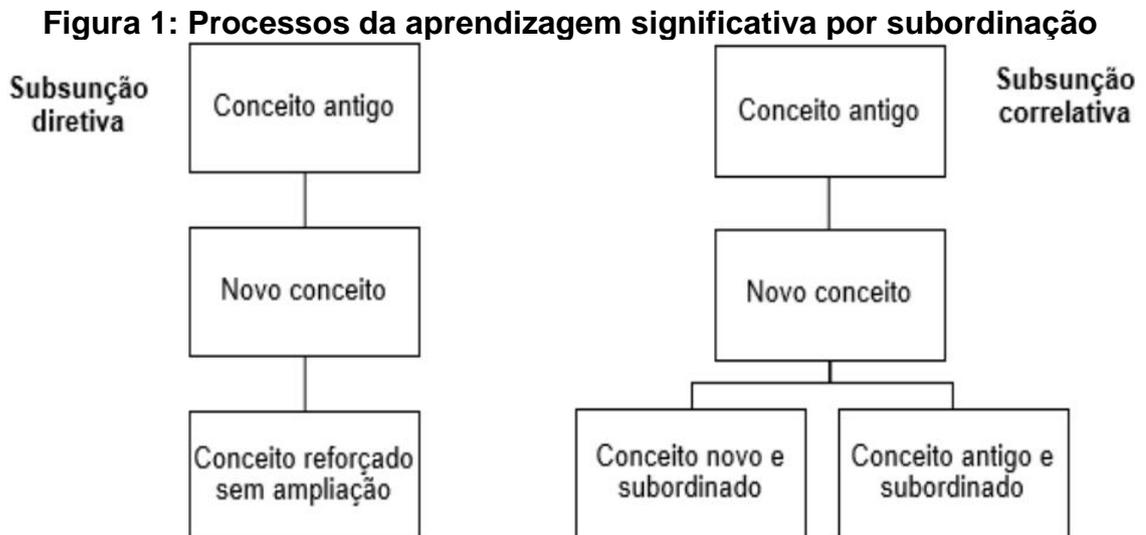
Segundo Pinheiro (2016), a aprendizagem significativa de Ausubel é primordialmente relativa à aprendizagem cognitiva; trata-se do processo em que uma nova informação se relaciona e interage com a estrutura de conhecimento do sujeito. Ela acontece a partir da incorporação de novas ideias a ideias preexistentes e da interação e relação entre elas. Em outros termos, pressupõe-se que o indivíduo já possua consigo alguns conceitos pré-moldados e que os relaciona às novas informações que adquire, afirma Kataoka (2017).

Klausen (2017) diz que novas experiências são comparadas com hipóteses no processo da aprendizagem significativa e essas informações passam por verificações, confronto e análise, criando, assim, novas informações. Fenômeno que Ausubel (1988) denomina de “assimilação”. Nessa assimilação, a nova ideia adquirida pelo indivíduo interage em conjunto com um conteúdo antes aprendido, o que na teoria ausubeliana é chamado de conceito “subsunçor”; e serve como “ponto de ancoragem” para que um novo conteúdo atribua significado e facilite a compreensão de novos conceitos.

Para Moreira & Masini (2001) a assimilação ocorre quando um conceito potencialmente significativo é relacionado, na estrutura cognitiva, a um conceito mais inclusivo, preexistente e relevante. Há três formas divergentes de assimilação na teoria de Ausubel: aprendizagem subordinada, aprendizagem superordenada e aprendizagem combinatória.

A aprendizagem subordinada, de acordo com o que Pivatto & Schuhmacher (2013) comentam, admite que no âmbito da estrutura cognitiva, novas informações aprendidas são relacionadas de maneira hierarquicamente subordinadas às demais informações preexistentes. Kiefer (2013) acrescenta que essa forma de aprendizado pode ocorrer diretamente ou correlativamente. No primeiro caso, o conteúdo

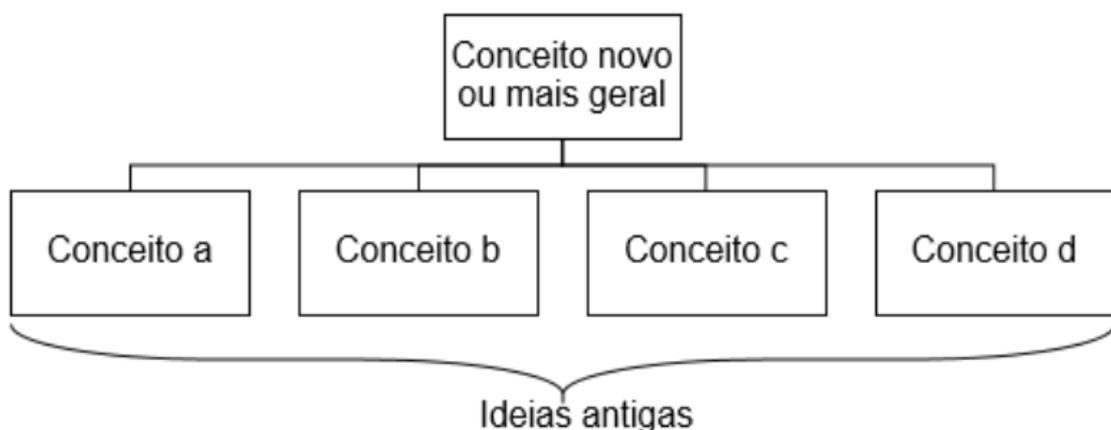
adquirido é similar àquilo que se sabe, provocando pouca ou nenhuma alteração na estrutura cognitiva. Já o segundo amplia os conceitos preexistentes, dando maior sentido e significado. A Figura 1, abaixo, retrata como ocorrem esses processos.



Fonte: adaptado de Keifer (2013).

Para Pinheiro (2016), a aprendizagem superordenada, como retrata a Figura 2, ocorre quando um novo conteúdo recebido pela estrutura cognitiva é mais amplo e inclusivo que os subsunçores, isto é, durante a assimilação uma nova informação adquirida engloba vários outros conteúdos aprendidos pelo indivíduo. Esse tipo envolve o aumento de conhecimento devido as novas ideias serem generalizadas, dessa forma, o processo de aprendizagem requer maiores esforços do aprendiz, como raciocínio e síntese de ideias.

Figura 2: Processos de aprendizagem significativa por super ordenação



Fonte: adaptado de Cruz (2002).

A terceira forma de aprendizagem é combinatória e, como afirmam Pivatto & Schuhmacher (2013), estabelece que as ideias novas e antigas encontrem-se no mesmo nível hierárquico, não sendo mais inclusivas nem mesmo específicas em relação a outros conceitos. Esse relacionamento possui certo “peso” na estrutura cognitiva. Kieser (2013) explica que as diferenças e similaridades entre a informação nova e a antiga imprescindivelmente devem ser explicitadas, evitando a perda de características durante o processo.

Ausubel (1988, apud SANTOS, 2011) defende que o professor, como fundamental instrumento de transmissão de conhecimentos, deve entrar em contato com os conceitos e ideias que os alunos trazem consigo (os conceitos subsunçores, ou conceitos “âncora”), facilitando o aprendizado e relacionando conceitos que o aluno já possui com as novas informações que recebe. Através disso, prepara-se a criança para que exerça sua cidadania, estimulando novos conhecimentos, valores e habilidades.

De acordo com Almeida (2016), a criança constrói uma “tese” inicial e através das novas informações recebe ao longo da vida, as molda, transformando-as em um tipo de conhecimento estruturado. Segundo Almeida (2016):

[...] é sempre muito importante a criança estabelecer a construção de uma tese, seja ela verdadeira ou não, porque a partir da convivência social, de novas informações, que ela [a criança] vai recebendo, ela chegará oficialmente ou determinadamente a um lugar que nós chamamos de conhecimento socialmente estruturado. (ALMEIDA, 2016).

No entanto, nem todo conteúdo absorvido é visto como lógico e psicologicamente significativo para o sujeito. Ausubel (1988) descreve como “aprendizagem mecânica” os conceitos que possuem pouca ou nenhuma similaridade com o conteúdo da estrutura cognitiva aos quais podem se relacionar. Esses são conceitos que necessitam de memorização e que são pertencentes à memória de curto prazo, segundo Pinheiro (2016).

Para Kiefer (2013), a aprendizagem mecânica não relaciona conceitos pré-existentes a nenhuma ideia nova de forma lógica e clara. Ela é totalmente o oposto da aprendizagem significativa pois: baseia-se em “decorar” arbitrariamente novos conceitos sem flexibilidade ou assimilação; a armazenagem é de curta duração pois o conteúdo aprendido não “cria laços” na estrutura cognitiva; e a informação se perde facilmente no decorrer do tempo.

Ambos tipos de aprendizagem (mecânica e significativa) fazem parte de um mesmo contínuo, como afirma Soares (2017), sendo a mecânica divergente da significativa por ser o processo em que o sujeito não tem nenhum conhecimento acerca de determinado tema e precisa aprender elementos relevantes para a criação de elementos subsunçores. É preciso compreender que os principais veículos motivadores são: disposição para aprender (do contrário, o aluno aprenderá de forma arbitrária, mecanicamente) e conteúdo transmitido potencialmente significativo para o aluno (lógica e psicologicamente).

Segundo a ótica de Kiefer (2013), a teoria de Ausubel subdivide-se entre dois campos distintos classificados pela maneira como a aprendizagem é elaborada: por recepção e por descoberta. No tipo de aprendizagem por recepção, o aluno recebe um material “acabado” e atua sobre o mesmo, relacionando as informações a sua estrutura cognitiva. Já na aprendizagem por descoberta, as informações antes de serem assimiladas têm caráter “inacabado”, cabendo ao aprendiz a tarefa de destrinchar o conteúdo recebido por si só. Assim, Ausubel (1982) afirma que o modelo ideal de aprendizagem é por recepção e que ambos podem se tornar mecânicos, uma vez que não sejam desenvolvidas ligações claras e lógicas.

Para Cruz (2002), há fatores cognitivos e afetivo-sociais que são fundamentais citar no desenvolvimento do ensino-aprendizagem, por influenciar diretamente na estrutura cognitiva do indivíduo. Os fatores cognitivos incluem: existência de elementos subsunçores para uma nova conexão, seja por subordinação, superordenação ou combinatoriamente; e estabilidade no aprendizado de um novo conteúdo, provocada pela firmeza e clareza de ideias. Os fatores afetivo-sociais dizem respeito à disposição própria do aluno para a aprendizagem. A teoria ausubeliana tem como princípio que tanto aprendiz quanto mestre tenham e exercitem uma postura dialógica para que a aprendizagem significativa seja posta de fato em prática.

De acordo com Pinheiro (2016), o primeiro passo para a aprendizagem significativa parte da obtenção novos conceitos (sem elementos subsunçores) que são tratados pela aprendizagem mecânica (processo arbitrário de absorção de informações). Ao passo em que são estabelecidos elementos relevantes, os conceitos subsunçores passam a fazer parte da estrutura cognitiva, ampliando a possibilidade de ancorar novas ideias e provocando a aprendizagem significativa. Nas palavras de Ausubel:

A essência do processo de aprendizagem significativa é que as ideias expressas simbolicamente são relacionadas às informações previamente adquiridas pelo aluno através de uma relação não arbitrária e substantiva (não literal). (AUSUBEL et al., 1980).

Para Pinheiro (2016), Kiefer (2013) e Ausubel (1982), a forma como o indivíduo absorve, articula e internaliza as informações que recebe - de maneira que o mesmo possua previamente uma estrutura cognitiva que servirá de âncora para os novos conteúdos, capacitando o sujeito a ter competência e ser capaz de transferir o conhecimento - pode ser dividida em três tipos diferentes de aprendizagem significativa:

- Aprendizagem representacional: atribui significado a determinados símbolos (palavras, objetos, eventos ou conceitos);
- Aprendizagem de conceitos: aquisição de conceitos por meio da formação de conceitos e/ou assimilação;
- Aprendizagem proposicional: combinação, união e relação de várias palavras, com significados conotativos e/ou denotativos, produzindo uma nova proposição.

3.3 Etapas da aprendizagem significativa

Botari & Botari (2013) afirmam que, dentro do contexto da sala de aula, o professor deve sempre buscar promover a aprendizagem significativa, incentivando o aluno a “aprender a aprender”, isto é, buscar formas de desequilibrar a estrutura cognitiva do aluno, de forma que ele busque por si próprio meios de resolver o problema e persiga o que Santos (2011) denomina de “aprendizagem profunda”.

Há sete etapas que o professor pode seguir para favorecer o aprendizado significativo nas salas de aula, concretizando seu papel na (re)construção do conhecimento de seus alunos. De acordo com Santos (2011), são elas:

- Dar sentido ao conteúdo;
- Identificar as características do conteúdo a ser estudado;
- Compreender a complexidade do conceito, de forma a aprender utilizá-lo em diversos contextos;

- Esclarecer o conceito, definindo suas características;
- Argumentar;
- Discutir;
- Internalização do aprendizado na memória de longo prazo.

Ainda sob a ótica do autor, não existe aprendizagem significativa sem a construção de um conceito inicial, pois fornece sentido real e concreto do conteúdo a ser aprendido pelo aluno. Os professores devem instigar seus alunos a inter-relacionarem-se com determinado objeto de estudo de maneira espontânea e natural.

Consoante a isso, nos processos de ensino dos conteúdos disciplinares de Física nas salas de aula, Neto et al. (2016) reiteram que os alunos precisam de meios facilitadores para construir novos conceitos e, através de suas próprias experiências, relacioná-los aos assuntos construídos anteriormente e presentes na estrutura cognitiva do indivíduo.

Santos (2011) afirma que, ao identificar as características do conteúdo, compreendendo sua complexidade, o docente atua como agente facilitador do processo, contribuindo para que o educando conheça o objeto através de sua própria percepção e construa sentidos, facilitando o processo do aprendizado significativo.

Tradicionalmente, Klausen (2017) explica que as salas de aula são vistas como ambientes de reprodução de conteúdo e seu papel principal é o de transmissão de conhecimento, ignorando o grau de assimilação que os alunos possuem com esse conteúdo. São promovidos os ensinamentos mecânicos: os discentes são memorizadores de conteúdos e os docentes, detentores de todo o saber.

Nesse tipo de esquema de aprendizagem mecânica, como anteriormente evidenciado, não há incentivo ao desenvolvimento do aluno, uma vez que o mesmo não é motivado a entender a razão pela qual está sendo submetido a esse processo. Boss et al. (2009) exemplificam:

[...] um aluno pode aprender a lei de Ohm, que afirma que a diferença de potencial (voltagem) é diretamente proporcional a corrente elétrica em um circuito. Entretanto, para que essa proposição seja aprendida significativamente o estudante precisa ter o significado dos conceitos corrente elétrica, diferença de potencial, resistência elétrica e das relações de proporcionalidade em sua estrutura de conhecimentos, caso contrário, será possível apenas a aprendizagem mecânica (memorização) do conteúdo. " (BOSS et al. 2009).

É precisamente nesse ponto que a aprendizagem significativa se faz necessária. A desconstrução das atitudes tradicionais anteriormente citadas é primordialmente papel do professor, aderindo posturas de construtor de conhecimento em conjunto com seu corpo discente, instigador de pesquisas, questionador; além disso, o professor deve incentivar seus alunos a aprenderem a aprender (SANTOS, 2011).

No âmbito do ensino das ciências exatas, Tironi et al. (2013) afirmam que o fator mais importante é a disposição que dado individuo possui para aprender significativamente. Conforme os autores, essa disposição influencia o desenvolvimento de uma percepção entre sujeito e objeto de análise e os instrumentos próprios da aprendizagem significativa (como organizadores prévios e os elementos subsunçores, por exemplo) possibilitam maior foco e atenção ao conteúdo. O professor atua, então, como motivador desse sentimento, que influencia diretamente na estrutura cognitiva e na “ancoragem” de novos conceitos por seus alunos.

Um estudo realizado por Tironi et al. (2013), explicita a importância da aprendizagem significativa no ensino da física a alunos do ensino médio de uma escola municipal de Massaranduba – SC, na inserção de conceitos da Física Moderna e Contemporânea. Foi selecionada uma série de atividades e ferramentas, através de aula experimental ministrada pelos pesquisadores, onde pôde-se aferir a quantidade de elementos subsunçores e o grau de concepção que cada aluno possuía em relação aos conceitos físicos apresentados. Constatou-se, assim, que 90% dos participantes da classe estudada não continham, em sua estrutura cognitiva, quaisquer informações acerca dos temas.

O experimento acima permite-nos compreender a importância do ensino significativo da física e a dificuldade em lecionar temas referentes às ciências exatas, além de denotar que as atividades experimentais e as aulas práticas são recursos educacionais que podem ser utilizados como estratégia para atrair aos alunos, devido a possibilitarem o desenvolvimento da criatividade, questionamento, atenção e a disponibilidade em aprender, conforme explicam Tironi et al. (2013).

4 REFERENCIAL TEÓRICO DO PRODUTO

4.1 Breve histórico da física

Não há como falar da história da física, sem antes conceituá-la. A física é um campo da ciência baseado nas propriedades da matéria e das forças naturais. De uma maneira geral, esse campo da ciência estuda a matéria nos níveis molecular, atômico, nuclear e subnuclear. Estuda também os níveis de organização da matéria, ou seja, o seu estado sólido, líquido, gasoso e plasmático. Além de pesquisar os quatro fundamentos de força, que são: a gravidade, a eletromagnética, a interação forte e a interação fraca (HEWITT, 2009).

Entretanto, para que fosse possível chegar ao nível de estudos que a física expressa atualmente, foram necessárias uma longa jornada e a participação de diversos cientistas no decorrer dos séculos. Pois, a física se desenvolveu a partir da necessidade do homem de conhecer o mundo natural, a fim de controlá-lo e reiterar as forças da natureza em seu benefício.

É na Grécia Antiga que foram realizadas as façanhas que desencadearam os primeiros estudos científicos sobre os fenômenos da natureza. No ano 320 a.C. Aristóteles descreve o movimento em termos de tendências naturais, explicando que, quanto maior o peso de um corpo em relação à superfície da terra, maior seria a velocidade de sua queda em direção à mesma (PORTO, 2009).

Atualmente, a física, que antigamente era chamada de filosofia natural, é importante para todos e está exposta em praticamente tudo. Alguns dos diversos passos dados em direção ao conhecimento da natureza e das suas particularidades estão fundamentados nas grandes descobertas de inúmeros colaboradores.

Entre os anos de 1575 e 1596 o nobre dinamarquês Tycho Brahe mede com precisão as posições dos planetas no céu, uma questão revolucionária. Essa façanha ficou conhecida como o nascimento da observação astronômica moderna, o que possibilitou um melhor entendimento do universo (TOSSATO e MARICONDA, 2010).

Galileu, em 1609, usa o telescópio pela primeira vez como um instrumento astronômico. Entre os anos de 1609 e 1619, Kepler publica as três leis do movimento acelerado. Boyle, em 1661, relaciona a pressão e o volume de gases mantidos a uma temperatura constante. Roemer, em 1676, demonstra que a luz tem velocidade finita. Newton apresenta a teoria da mecânica no ano de 1687. Em 1747 Franklin sugere a

conversão do “fogo” elétrico (carga elétrica). Em 1785 é determinada precisamente a lei da força elétrica, descoberta feita por Coulomb. Em 1785, Cavendish mede a constante gravitacional (HEWITT, 2009).

No século XIX, Alessandro Volta inventa a pilha elétrica. Oersted em 1820, descobre o efeito magnético de uma corrente elétrica. Faraday e Henry, em 1831, descobrem a indução eletromagnética. Maxwell, em 1865, formula a teoria eletromagnética da luz. Em 1869 são organizados os elementos em uma tabela periódica, feita por Mendeleev. Em 1895, Roentgen descobre os raios X. Thomson, em 1897, identifica os raios catódicos como corpúsculos negativamente carregados (elétrons). Já no século XX, em 1905, Einstein apresenta a teoria especial da relatividade. E, em 1911, Rutherford revela a existência do núcleo atômico (HEWITT, 2009).

Então, todos os conceitos e fundamentos estudados no mundo atual ocorrem em virtude de todos esses acontecimentos no decorrer da história humana. Ou seja, tudo o que faz parte do cotidiano do ser humano cabe aos pensamentos filosóficos e formulações teóricas ligadas à física, o que, apesar de sofrer algumas adaptações com o passar dos anos, possui ainda grande relevância.

4.2 Desenvolvimento da eletricidade

De antemão, é importante acentuar que a eletricidade é uma área da física, a qual é responsável pelo estudo de fenômenos associados a cargas elétricas. O termo é originário da palavra *eléktron*, provindo do grego, que significa âmbar, que, por sua vez, é o nome dado a uma resina fóssil que quando friccionada em algum tecido, pode passar a atrair pequenos objetos, daí surge o termo “eletricidade” (GUSSOW, 2009).

O estudo da eletricidade sobre os fenômenos que ocorrem, é possível em virtude da existência de cargas elétricas nos átomos que compõem a matéria. Vale ressaltar que os átomos são formados por prótons (portadores de carga positiva), nêutrons, que ficam no núcleo atômico, e elétrons (portadores de cargas negativas) localizados ao redor do núcleo, em uma região denominada eletrosfera. Então, a eletricidade pode ser dividida em três partes, de acordo com Silva e Pimentel (2008):

- Eletrostática: estuda as cargas elétricas em repouso. Engloba os processos de eletrização, campo elétrico, força eletrostática e potencial elétrico.

- Eletrodinâmica: é responsável pelo estudo das cargas elétricas em movimento. O foco dessa área é a corrente elétrica e os componentes de circuitos elétricos, como capacitores e resistores.
- Eletromagnetismo: é a parte da eletricidade que estuda a relação entre os fenômenos elétricos e magnéticos, tais como, campo magnético produzido por cargas elétricas em movimento e campo elétrico produzido pela variação de fluxo magnético.

Como todas as descobertas importantes que envolvem a física, essas partiram da Grécia, e com a eletricidade não disseminou. Por volta de 600 a.C., um filósofo chamado Tales de Mileto, conferiu a existência de uma “alma” aos materiais que podiam ser eletrizados e atrair pequenos objetos. Porém, ele achava que essa propriedade estava relacionada ao magnetismo, e não à eletricidade. Milênios à frente, no século XVI, William Gilbert avança nos estudos e diferencia o magnetismo de eletricidade, declarando-os como fenômenos independentes (YOUNG e FREEDMAN, 2009).

No entanto, em 1846, o fenômeno de rotação do plano de polarização da luz, pela aplicação de um campo magnético alinhado com a sua direção de propagação, conferiu uma relação mútua da eletricidade, não somente com o magnetismo, como também com a luz (POLITO, 2016).

Advindo dessas descobertas, acerca do campo da eletricidade, Faraday, no ano de 1867, converteu a eletricidade em trabalho mecânico, mediante a rotação de um polo magnético em torno de uma extremidade condutora com corrente e vice-versa (POLITO, 2016).

Em andamento aos estudos sobre o campo da eletricidade, a teoria do fluido, desenvolvida por Charles Du Fay, explicava bem sobre o contexto, a qual dizia que a eletricidade era um fluido que saía de um corpo para o outro, podendo ser negativo ou positivo. Essa teoria preponderou até o final século XIX, quando, enfim, Thomson descobriu a existência dos elétrons, complementando os feitos científicos sobre a eletricidade e, a partir daí, a eletricidade se tornou alvo de estudos mais complexos, assumindo uma enorme dimensão na área da física.

Além do que já foi explicitado, as façanhas envolvendo a eletricidade, ainda são promovedoras de grandes feitos, como a invenção de pequenos aparelhos cuja importância é tamanha, como por exemplo a lâmpada elétrica. Esse é somente um exemplo da grande mudança que essa área de estudo proporcionou para a sociedade.

4.3 Campo elétrico

Como ocorre na força gravitacional, o campo elétrico é uma força elétrica agindo sem a necessidade de contato entre os corpos carregados. A melhor forma de explicar o aparecimento de tais forças é reconhecendo que uma carga elétrica altera as características dos pontos do espaço em suas proximidades, de modo a compungir cargas próximas. Desse modo, a interação entre as cargas se dá dessa maneira (PILATTI, 2016).

É chamado de campo elétrico quando uma carga geradora de energia exerce uma força no espaço, ou seja, é a geração de uma força ao redor das cargas elétricas. Uma explicação mais tangível é dada por Halliday (2016), o qual explica que uma partícula (partícula X) cria um campo elétrico no espaço que a cerca, mesmo que o espaço esteja vazio. Quando uma outra partícula (partícula Y) é colocada em um ponto qualquer desse espaço, a partícula X “percebe” a presença da partícula Y, devido ao campo elétrico criado nesse ponto. Dessa maneira, uma partícula afeta a outra, de maneira indireta, através do campo elétrico. Sobre esse ponto, o autor ainda declara que o campo elétrico é um campo vetorial, justamente por emitir informações a respeito de uma força.

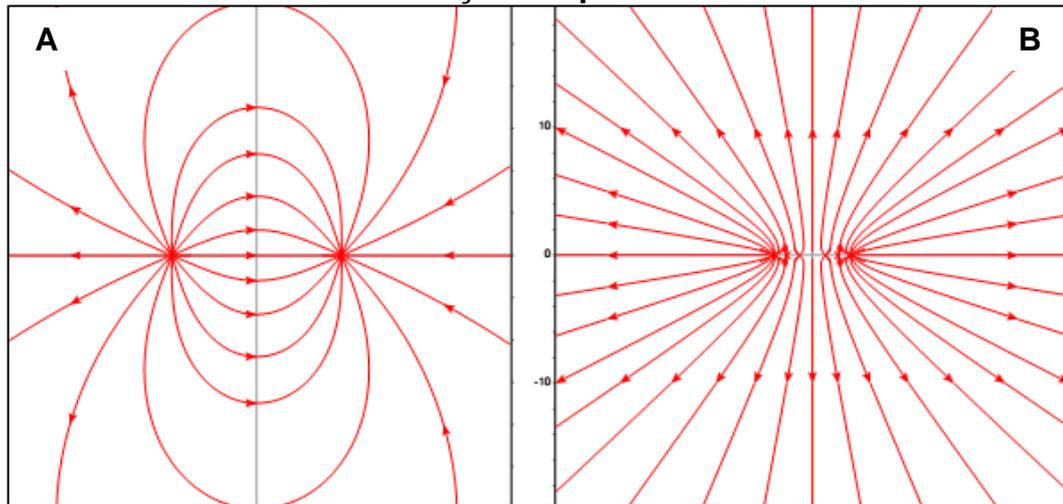
A interpretação física mais plausível para o campo elétrico foi adotada pelos físicos ainda no século XIX, os quais queriam explicar como as forças eletrostáticas e gravitacionais poderiam atuar à uma certa distância, onde duas partículas não mantinham contato. Explicou-se então que o campo elétrico alterava o espaço a sua volta, devido à carga gerada no mesmo, e essa alteração resultou no que conhecemos como campo elétrico (VILLATE, 2015).

Acreditava-se que o campo elétrico gerado por um objeto era associado a um meio invisível e imaterial, chamado de éter, ou seja, o campo seria como uma onda que se propagava no éter, produzindo forças com outros corpos. Contudo, essa teoria foi ab-rogada no século XX, e o conceito do campo elétrico, proporcionando alteração no espaço, ainda prevalece. Villate (2015) esclarece que a ação de uma partícula sobre a outra não ocorre prementemente, mas difunde-se desde uma partícula até a outra na velocidade da luz.

Na figura a seguir (Figura 3), se demonstra mais claramente sobre o campo elétrico exercido de uma partícula sobre outra. Nesse sentido, Young e Freedman (2009), declaram que, enquanto duas partículas com cargas positivas se repelem,

duas com cargas negativas também terão o mesmo comportamento. Vale ressaltar que a atração e a repulsão entre dois objetos carregados são geralmente resumidas como: cargas iguais se repelem e cargas contrárias se atraem.

Figura 3: Exemplo de campo elétrico, gerado por duas partículas, ocorrendo atração e repulsão



FONTE: Villate (2015).

No exemplo dado acima, é possível observar que o campo elétrico A, denominado dipolo elétrico, é formado por duas partículas de cargas opostas, ocorrendo assim o efeito de atração. Enquanto no campo elétrico B, as partículas possuem cargas idênticas, ocasionando a repulsão.

Young e Freedman (2009) deixam claro que a expressão “cargas iguais” não quer dizer que as duas cargas sejam idênticas, apenas que elas possuem o mesmo sinal algébrico (ambas são positivas ou ambas são negativas). Cargas contrárias significam que os objetos possuem cargas elétricas e que essas cargas possuem sinais algébricos opostos (uma é positiva e a outra é negativa).

Sabe-se então que nas proximidades de uma partícula carregada, em todos os espaços, a partícula cria um campo elétrico, a qual é uma grandeza vetorial, ou seja, como já foi citado anteriormente, ela possui um módulo e uma orientação. Isso explica por que razão uma partícula carregada pode exercer uma força eletrostática em outra partícula, também carregada, mesmo sem haver um contato entre as partículas.

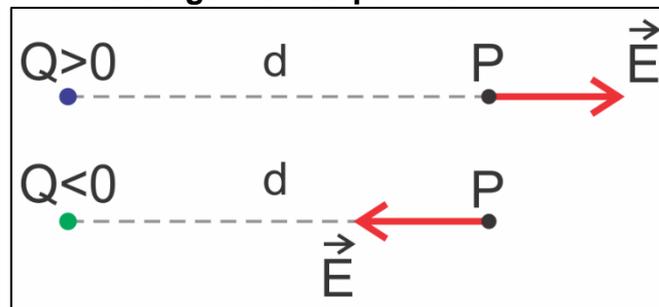
Pilatti (2016), observando uma carga de valor Q e um ponto P distante de Q , supôs que a propriedade criada por Q exerceria uma força F por unidade de carga no ponto P . A cada ponto P do campo elétrico, para medir a ação da carga Q ou das cargas que criam no campo, é associada uma grandeza vetorial E denominada vetor

do campo elétrico (FERRARO, 2013). A força elétrica que age na carga elétrica q colocada em P é dada pelo produto do valor da carga q pelo vetor campo elétrico \vec{E} associado ao ponto P (equação 1).

$$\vec{F}_e = |q| \cdot \vec{E} \quad (1)$$

Onde, se $q > 0$, \vec{F}_e tem o mesmo sentido de \vec{E} . Se $q < 0$, \vec{F}_e tem sentido oposto ao de \vec{E} . \vec{F}_e e \vec{E} têm sempre a mesma direção (Figura 4).

Figura 4: Ilustração das características do vetor campo elétrico gerado por uma carga elétrica puntiforme Q fixa



Fonte: Ferraro (2013).

Desse modo, temos a definição em termos da força eletrostática, onde o campo elétrico (\vec{E}), exerce uma força eletrostática (\vec{F}) sobre uma carga de teste (q_0) colocada nesse ponto. A equação (2) que melhor representa essa teoria (HALLIDAY, 2016):

$$\vec{E} = \left(\frac{\vec{F}}{q_0} \right) \quad (2)$$

No campo elétrico, existem várias propriedades em suas linhas, as quais formam o campo eletrostático. Young e Freedman (2009) as denominam como cargas puntiformes. A carga puntiforme corresponde à distribuição de cargas da fonte, designada como ponto da fonte, e o ponto onde se deseja determinar o campo elétrico é chamado de ponto do campo.

Para que seja definido o campo elétrico em um ponto P , como o da Figura 4, é colocada no ponto P uma carga elétrica positiva q_0 , denominada de carga prova. A partir daí é determinada a força eletrostática F que age sobre a carga q_0 (PILATTI,

2016). Se for alterada a carga prova ($q_0, q_1, q_2 \dots q_n$), em um determinado ponto do campo elétrico, a força atuante também é alterada ($F_0, F_1, F_2 \dots F_n$), porém, a razão entre as duas grandezas não é modificada (3).

$$\frac{\vec{F}_0}{q_0} = \frac{\vec{F}_1}{q_1} = \frac{\vec{F}_2}{q_2} = \dots = \frac{\vec{F}_n}{q_n} \quad (3)$$

Dessa forma, o vetor campo elétrico em um ponto P situado a uma distância d da carga, tem intensidade \vec{E} que depende do meio onde a carga se encontra. Para calcular a intensidade \vec{E} do vetor campo elétrico, gerado por uma carga pontual Q , não é necessária a presença de uma carga positiva, pois o campo independe dela (PILATTI, 2016). O valor de E varia de acordo com a distância d da carga Q , e é calculado como a seguir.

Considerando a expressão da força elétrica relacionada ao campo elétrico (equação 4) com a expressão da lei de Coulomb (equação 5), tem-se a equação 6. Cancelando a carga de prova q em cada membro, temos, finalmente, a equação 7.

$$\vec{F} = |q| \vec{E} \quad (4)$$

$$\vec{F} = k \frac{|q| \cdot |Q|}{d^2} \quad (5)$$

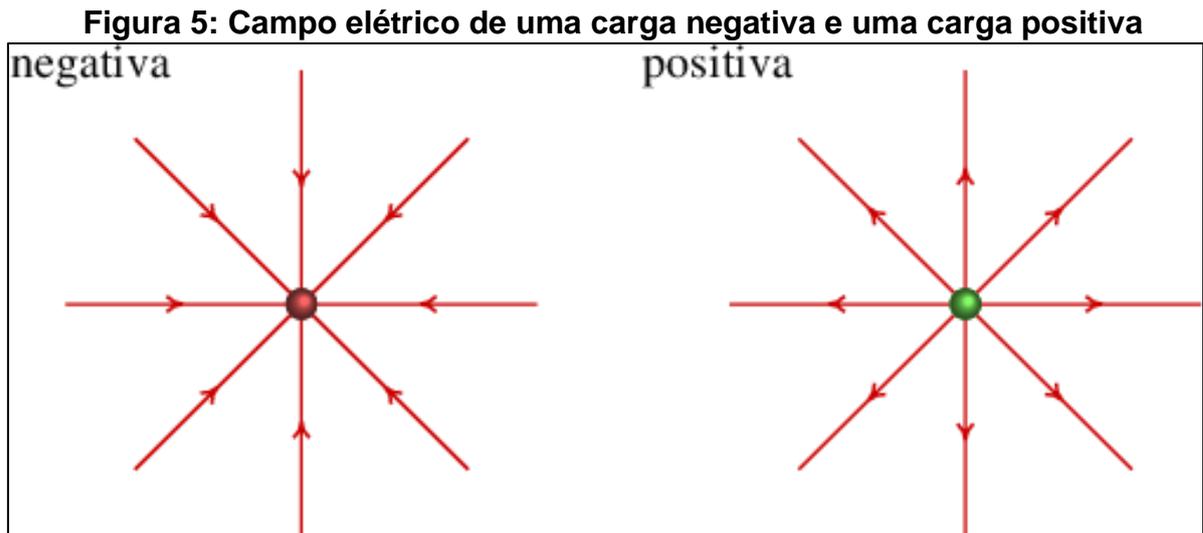
$$|q| \vec{E} = k \frac{|q| |Q|}{d^2} \quad (6)$$

$$\vec{E} = k \frac{|Q|}{d^2} \quad (7)$$

Onde \vec{E} , que depende do meio onde a carga se encontra, é diretamente proporcional ao valor absoluto da carga e inversamente proporcional ao quadrado da distância do ponto à carga (FERRARO, 2013). A equação mostra matematicamente que o campo elétrico gerado por uma carga puntiforme positiva de módulo Q depende exclusivamente do meio, com características definidas pela constante K , da distância

d da carga ao ponto e do módulo da carga elétrica, responsável pela geração do campo elétrico (PILATTI, 2016).

De uma forma mais compreensível, pode-se dizer que na carga pontual negativa há cargas puntiformes que entram em todas as direções, enquanto a carga pontual positiva possui cargas puntiformes que saem em todas as direções (Figura 5).



FONTE: Villate (2015).

Nesse exemplo que foi dado, o campo produzido por uma carga puntiforme negativa aponta para dentro da carga, enquanto o campo produzido por uma carga puntiforme positiva aponta para fora da carga. Isso demonstra que as linhas produzidas no campo elétrico nunca se cruzam, pois se isso acontecesse, em um ponto de cruzamento o campo teria duas direções diferentes, o que não é possível (YOUNG e FREEDMAN, 2009; VILLATE, 2015).

Quando se possui várias cargas puntiformes fixas $Q_1, Q_2, Q_3, \dots, Q_n$, cada uma delas irá gerar um ponto P e os vetores campos elétricos $E_1, E_2, E_3, \dots, E_n$, respectivamente. O vetor campo elétrico resultante E_R é a soma vetorial desses vetores (equação 8).

$$\vec{E}_R = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3 + \dots + \vec{E}_n \quad (8)$$

Embora alguns conceitos sobre eletricidade, especificamente o campo elétrico, possam parecer recentes, a ideia básica - de que um corpo produz um campo no espaço em torno dele e um segundo corpo sofre a ação deste, como descrito ao longo

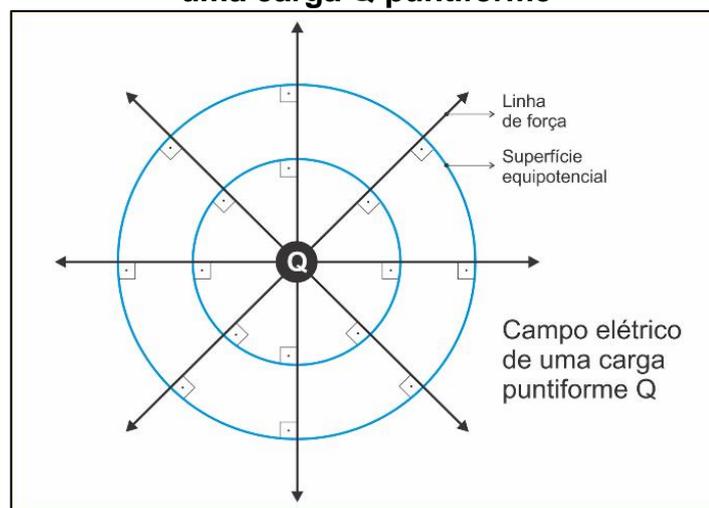
deste t3pico - 3 embasada por teorias de diversos cientistas e j3 foi, de fato, introduzida a muito tempo, sendo sua contribui33o estabelecida at3 os dias atuais.

4.4 Potencial el3trico

Antes de iniciar os detalhes de como calcular o potencial el3trico, 3 importante conceituar esse termo. Portanto, potencial el3trico em um determinado ponto 3 a energia potencial que ser3 associada a uma unidade de carga nesse ponto. 3 por isso que o potencial 3 medido em joules por coulomb, ou volts. N3o necessariamente deve haver uma carga em um determinado ponto para que haja um potencial el3trico nesse ponto. Ou seja, um campo el3trico pode existir em um dado ponto, mesmo que n3o haja nenhuma carga ali para responder a ele, assim 3 o potencial el3trico (HEWITT, 2009).

Em s3ntese, quando uma part3cula carregada se desloca em um campo el3trico 3 exercida uma for3a nesse campo que realiza o trabalho sobre a part3cula, que pode ser sempre expresso em termos de energia potencial el3trica (HEWITT, 2009). Em outras palavras, o potencial el3trico 3 a energia potencial em uma base por unidade de carga, ou a for3a el3trica por unidade de carga que atua sobre uma part3cula no campo (Figura 6).

Figura 6: Ilustra33o do potencial el3trico formado em um campo el3trico de uma carga Q puntiforme



Fonte: Fernandes (2019).

Como ilustrado na figura anterior, todos os pontos equidistantes (linhas azuis) à carga geradora (Q) encontram-se no mesmo potencial elétrico e, por isso, são chamados de equipotenciais. O conceito de potencial elétrico é muito útil para o cálculo das energias envolvidas em partículas carregadas. Ele também facilita a determinação de um campo elétrico, visto que o potencial elétrico está intimamente relacionado ao campo elétrico (HEWITT, 2009).

A função para denominação do potencial elétrico, em qualquer ponto de um campo elétrico, está na equação 9.

$$U = \frac{K_0 \cdot Q}{d} \quad (9)$$

Onde U = potencial elétrico (V), Q = Carga elétrica (C), K_0 = constante eletrostática do vácuo ($9,0 \times 10^9 \text{ N.m}^2 \text{ C}^{-2}$) e d = a distância (m).

Outra maneira de definir o potencial elétrico relacionando-o à energia potencial elétrica, é:

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

Onde E_{pel} é a energia potencial elétrica (J).

Em outras palavras, o potencial elétrico em um ponto é a energia potencial por unidade de carga quando uma carga de prova é deslocada do infinito até o ponto em questão. De acordo com a equação ilustrada acima, a energia potencial e a carga são grandezas escalares, de modo que suas unidades são obtidas dividindo-se as unidades de energia pelas unidades de carga. Com base nisso é possível defini-lo, então, como a quantidade de energia potencial adquirida por uma carga unitária ao se deslocar em um campo elétrico.

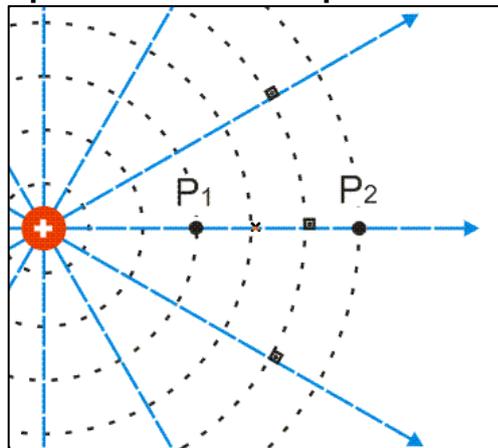
Considerando que uma carga elétrica puntiforme (q) encontra-se em um ponto P_1 do campo elétrico uniforme, onde a mesma é deslocada até outro ponto do campo elétrico (P_2) (Figura 7), a energia necessária para que a carga seja deslocada entre os pontos, separados por uma distância, é definida pela seguinte equação (11).

$$T = \vec{F} \cdot d \quad (11)$$

Vale ressaltar que o potencial elétrico produzido pelo campo elétrico, e que atua sobre a carga q , é igual ao produto da carga q com o campo elétrico \vec{E} :

$$\vec{F} = |q| \cdot \vec{E} \quad (12)$$

Figura 7: Ilustração para cálculo da diferença do potencial elétrico entre dois pontos em um campo elétrico



Fonte: Fernandes (2008).

A união das equações anteriores (11 e 12), resulta na expressão diferente para o trabalho realizado pela força elétrica (equação 13). Por conseguinte, deve-se levar em consideração a relação entre o campo elétrico e o potencial elétrico (equação 14). Por fim, a equação (15) que melhor expressa o potencial elétrico em termos do trabalho realizado para deslocar a carga elétrica entre os pontos P_1 e P_2 , está descrita a seguir. Dessa forma, o trabalho realizado para mover a carga elétrica entre os pontos, entendido como uma razão entre energia e carga, equivale à quantidade de energia elétrica que a carga ganhou ou perdeu.

$$T = qEd \quad (13)$$

$$E \cdot d = U \quad (14)$$

$$U = \frac{T}{q} \quad (15)$$

O potencial de um ponto pertencente a um campo elétrico é encontrado dividindo-se o trabalho pelo valor da carga. Esse valor é sempre medido em relação a um ponto de referência (GOUVEIA, 2011). Ao se definir um ponto de referência, convencionou-se que o potencial nesse ponto seja nulo. Assim, a fórmula para o cálculo do potencial elétrico é dada da seguinte maneira:

$$V_A = \frac{T_{AB}}{q} \quad (16)$$

Onde V_A = potencial elétrico do ponto P_1 (V), T_{AB} = trabalho da força elétrica ao deslocar a carga do ponto P_1 ao ponto P_2 (J) e q = carga elétrica.

A diferença de potencial elétrico, também conhecida como tensão elétrica ou voltagem, é uma importante grandeza no estudo dos fenômenos elétricos. Essa diferença pode ser indicada pela seguinte equação:

$$U = V_A - V_B \quad (17)$$

Onde U = diferença de potencial (V), V_A = potencial elétrico em um ponto P_1 (V) e V_B = potencial elétrico em um ponto P_2 (V).

Quando um campo elétrico é gerado por uma carga fixa no vácuo, a diferença de potencial pode ser calculada com a equação 18. Se for considerado o ponto P_2 infinitamente afastado da carga Q ($V_B = 0$), então, têm-se a equação 18 que dará o potencial elétrico no ponto P_1 .

$$U = K_0 \cdot \frac{Q}{d_A} - K_0 \cdot \frac{Q}{d_B} \quad (18)$$

Onde U = diferença de potencial (V), K_0 = constante eletrostática no vácuo ($9 \times 10^9 \text{ N.m}^2 \text{ C}^{-2}$), Q = carga elétrica fixa (C), d_A e d_B = as diferenças da carga fixa nos pontos P_1 e P_2 (m).

$$V_A = K_0 \cdot \frac{Q}{d_A} \quad (19)$$

Onde V_A = potencial do ponto P_1 (V), K_0 = constante eletrostática no vácuo ($9 \times 10^9 \text{ N.m}^2 \text{ C}^{-2}$), Q = carga elétrica fixa (C) e d_A = diferença da carga fixa no ponto P_1 (m).

Vale ressaltar que, para um conjunto finito de cargas, as quais foram convencionadas a usar a origem do potencial muito longe dessas cargas (infinito), é preciso que haja um trabalho, necessariamente, para trazer uma carga do infinito até o ponto X que se encontra mais próximo das cargas geradoras do campo. Nesse âmbito, algumas terminologias de potencial elétrico que explicam bem essa força trabalho (VILLATE, 2015):

- Trabalho da força elétrica ($W_{A \rightarrow B}$): é o trabalho resultante de uma carga elétrica (q) em um campo elétrico, que sofre um deslocamento do ponto A para o B.
- Energia potencial elétrico (E_p): é a energia de uma carga (q) em um ponto A, na presença de um campo elétrico externo. Ou seja, é a energia do sistema formado pela carga e pelo campo externo onde ela se encontra imersa.
- Diferença de potencial (ddp): é igual ao trabalho por unidade de carga, que um agente externo deve realizar para deslocar uma carga (q) em um campo elétrico de A até B, sem alterar a energia cinética da carga.

4.5 Campo magnético

É denominada campo magnético toda região do espaço em torno de um condutor percorrido por corrente ou em torno de um ímã que, nesse caso, é devido aos particulares movimentos que os elétrons executam no interior de seus átomos. O estudo dos campos magnéticos é tarefa da física, enquanto as aplicações dos campos magnéticos ficam por parte da engenharia (HALLIDAY, 2016). Porém, ambas as áreas, a física e a engenharia, se embasam em uma única pergunta: “O que produz um campo magnético?”

Até o começo do século XIX, não se associava a eletricidade ao magnetismo, isto é, os fenômenos de atração e repulsão entre ímãs pareciam não ter relação com as correntes elétricas circulando nos condutores. Em 1820, um professor da Universidade de Copenhague, Hans Christian Oersted, realizou um experimento ao aproximar uma pequena bússola de um fio reto que não era percorrido por corrente elétrica, onde foi observado que a bússola se orientava na direção norte-sul. Em

seguida, o pesquisador fez passar a corrente pelo fio reto e observou que a bússola assumia uma direção ortogonal ao fio. Portanto, com base nessa experiência, Oersted concluiu que correntes elétricas produzem campos magnéticos (GUIMARÃES et al., 2016).

Quando se fala de campo elétrico, sabe-se que esse é produzido por cargas elétricas, logo, seria natural que o campo magnético fosse produzido por cargas magnéticas, entretanto, a existência de cargas magnéticas, conhecidas como monopolos magnéticos, estão previstas em apenas algumas teorias, ou seja, essa carga até hoje ainda não foi observada (HALLIDAY, 2016).

É importante salientar que campos magnéticos são diferentes de campos elétricos, embora um gere o outro. Como já foi citado, campo magnético se origina do movimento de cargas elétricas, enquanto o campo elétrico surge apenas com uma carga, não importando seu momento.

A bibliografia nos fornece duas formas básicas em que um campo magnético pode ser formado. A primeira consiste em usar partículas eletricamente carregadas em movimento, como os elétrons responsáveis pela corrente elétrica em um fio, para fabricar um eletroímã. A segunda forma de produzir um campo magnético, se baseia no fato de que muitas partículas elementares, entre elas o elétron, possuem um campo magnético intrínseco (HALLIDAY, 2016).

Embora haja uma longa discussão sobre a formação do campo magnético, outrora um exemplo simples é dado para caracterizar em si o campo magnético. Quintal (2003) explica que colocando um ímã debaixo de uma placa de vidro, e em seguida segurando um bombril a um palmo de distância acima do vidro, após esfregar com a mão o bombril para que ele solte fiapos e pó, será possível visualizar, o pó do bombril distribuído de modo bem definido sobre o vidro. O autor explica que o desenho a ser formado pelo bombril no vidro, representa as linhas do campo magnético em torno do ímã.

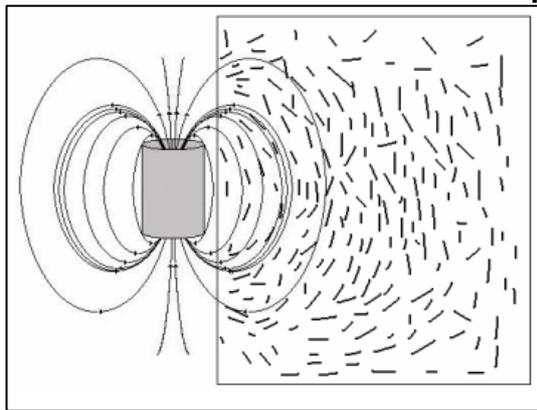
Um corpo de prova (que apresenta propriedades magnéticas) quando colocado em um ponto de uma região onde existe um campo magnético, fica sujeito a uma força de origem magnética. Em um campo magnético, as linhas são compostas de maneira que o vetor campo magnético apresente as seguintes características (GUIMARÃES et al., 2016):

- Sua direção é sempre tangente a cada linha de campo em qualquer ponto do campo magnético;

- Seu sentido é o mesmo da respectiva linha de campo;
- Sua intensidade é proporcional à densidade das linhas de campo.

Um campo magnético não pode ser visto, mas pode ser percebido por diversos materiais, o que permite fazer seu desenho. Outro modelo teórico é exemplificado por Marco (2009), onde ao se aproximar um ímã de um recipiente contendo partículas ferromagnéticas em suspensão em um líquido, é possível perceber as linhas do campo magnético formado pelo ímã (Figura 8).

Figura 8: Modelo tridimensional das linhas de um campo magnético

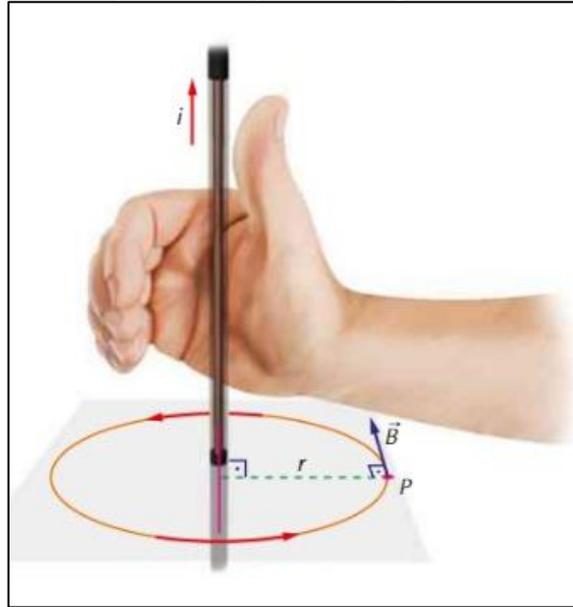


Fonte: Marco (2009).

O campo magnético gerado pelo ímã faz com que o movimento dos elétrons se altere, como se uma corrente elétrica estivesse passando pelo material, assim gerando um outro campo magnético, como é mostrado na Figura 8. As linhas que aparecem são, na verdade, as trajetórias invisíveis em que o magnetismo atua, elas são chamadas de “linhas de campo magnético”, nome dado por Michael Faraday.

Um modo prático de relacionar o sentido da corrente elétrica com o do vetor campo magnético gerado por ela é conhecido como regra da mão direita (Figura 9). Com a mão aberta, aponta-se o polegar no sentido da corrente elétrica no fio e os demais dedos no sentido do condutor para o ponto P . Ao curvar-se os dedos, é obtido o sentido do vetor B no ponto P .

Figura 9: Representação da regra da mão direita



Fonte: Guimarães et al. (2016).

Observando o exemplo ilustrado na figura anterior, a intensidade (B) do campo magnético, criado por um fio reto e longo, é proporcional à intensidade de corrente (i) que o atravessa e é inversamente proporcional à distância (r) do ponto até o fio:

$$\vec{B} = \frac{\mu \cdot i}{2\pi \cdot r} \quad (20)$$

Nessa expressão, a constante μ é a permeabilidade magnética do meio em que está o fio. Levando em consideração o vácuo, essa constante vale:

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} T \cdot \frac{m}{A} \quad (21)$$

É notório quanto as aplicações da física, quando o assunto é magnetismo, pois ele nos cerca a todo tempo. Desde os simples ímãs que são usados para prender bilhetes nas portas das geladeiras, aos processos magnéticos de armazenamento de dados, como por exemplo, os cartões magnéticos, as fitas cassetes e os disquetes de computadores etc.

4.6 Força de Lorentz

No final do século XIX, a Física enfrentava um problema crítico, relacionado às experiências sobre a descoberta da velocidade absoluta da terra em relação ao éter, onde Lorentz e outros físicos empenhavam-se para dar respostas consistentes sem se afastar desmedidamente das conjecturas fundamentais da Física Clássica (ARRUDA e VILLANI, 1996).

No ano de 1892, o físico holandês Hendrik Antoon Lorentz, publicou um artigo no qual mencionava ter encontrado a força sentida por uma partícula eletrizada em movimento em uma região caracterizada por um campo elétrico e um campo magnético, considerando que a matéria ponderável não transmitia seu movimento ao éter, apesar de existirem movimentos internos nele (RIBEIRO, 2008).

Em um caso particular, onde o campo elétrico \vec{E} é nulo e a velocidade da partícula \vec{v} é sempre perpendicular ao campo magnético \vec{B} , a magnitude da força de Lorentz é dada por:

$$F = q \cdot \vec{v} \cdot \vec{B} \quad (22)$$

Nessa expressão q é a carga da partícula, \vec{v} é a magnitude de sua velocidade e \vec{B} a magnitude do campo magnético.

Às questões antes mencionadas, soma-se o fato de se afirmar, em alguns livros didáticos, que a expressão hoje denominada força de Lorentz foi logo obtida a partir de uma versão em termos de campo, dada pela seguinte expressão:

$$dF = k Idl \times \oint I' dl' \times \frac{r}{r^3} \quad (23)$$

Onde a força sentida por um elemento de corrente Idl de um condutor metálico na presença de um outro condutor conduzindo uma corrente I' , k é uma constante de proporcionalidade, a integral é sobre o circuito caracterizado pelo elemento de corrente $I' dl'$ e r é a distância entre $I' dl'$ e Idl .

No sistema internacional de unidades (S.I), a equação 23 é escrita da seguinte forma:

$$dF = Idl \times \left(\frac{\mu}{4\pi} \right) \oint I' dl' \times \frac{r}{r^3} \quad (24)$$

Diante do exposto, o modelo fenomenológico de Lorentz considerou um meio não magnético polarizável como um conjunto de osciladores mecanicamente independentes, distribuídos de maneira isotrópica no espaço. Ele considerava que em cada átomo um elétron ligado sofria a ação de uma força restauradora proporcional à distância da carga ao ponto de equilíbrio, e seu movimento era amortecido por uma força proporcional a sua velocidade (MENON e SANTOS, 1995).

A expressão da força de Lorentz foi primeiro demonstrada por Maxwell, relacionando à força total sobre uma partícula carregada em movimento em uma região caracterizada por campos elétrico e magnético. Assim, sendo \vec{F} a força eletromagnética total sobre uma partícula de carga (RIBEIRO, 2008):

$$\vec{F} = e(E + v \cdot B) \quad (25)$$

Considerando a seguinte situação física, descrita em um referencial inercial S : uma partícula-teste com carga $q > 0$, está situada a uma distância r de um fio longo e reto, eletricamente neutro, que conduz uma corrente elétrica I na direção positiva do eixo x . Nesse referencial, a carga-teste está em repouso. Agora considerando a mesma situação física, com um referencial S' , que se move com velocidade v , com relação S (ORTIZ e SASSE, 2003). A lei de Ampère agora implica que o campo magnético sobre a partícula-teste seja dado por:

$$B' = \frac{2I'}{cr'} \quad (26)$$

Onde $I' = \lambda + 'v$ é a corrente elétrica agora causada pelo deslocamento da linha de cargas positivas.

Como a partícula está em movimento, deve-se atuar sobre ela uma força magnética atrativa, dada pela parte magnética da força de Lorentz $F_m = F_m J$, onde:

$$F_m = -\frac{qvB'}{c} j = -\frac{qv2I'}{c^2 r} j = -\frac{2q\lambda + 'v^2}{c^2 r} j. \quad (27)$$

Diferentemente de Thomson e Heaviside, Lorentz considerava que a matéria ponderável não transmitia seu movimento ao éter, apesar de existirem movimentos internos nele. Lorentz propôs seis hipóteses para iniciar a derivação a partir de uma perspectiva mecânica das equações de Maxwell, hoje denominada força de Lorentz (CHAIB e ASSIS, 2007):

1ª HIPÓTESE: a primeira delas seria que a eletricidade representa apenas uma propriedade da matéria ponderável.

2ª HIPÓTESE: a segunda hipótese da teoria de Lorentz identifica a energia potencial de um sistema eletromagnético com sua energia elétrica, que leva em consideração, em unidades eletromagnéticas, o deslocamento dielétrico em cada ponto do éter.

3ª HIPÓTESE: a terceira hipótese afirma que as partículas carregadas se comportam como corpos rígidos.

4ª HIPÓTESE: a quarta define a corrente elétrica total, tendo como base a velocidade de um determinado ponto de uma partícula carregada.

5ª HIPÓTESE: a quinta hipótese identifica a energia cinética com a energia magnética, onde a força magnética em todos os lugares satisfaz e é determinada pela corrente total.

6ª HIPÓTESE: a sexta e última hipótese é que a localização de cada ponto do éter, participando dos movimentos eletromagnéticos do sistema, é determinada pelas posições de todas as partículas carregadas e pelos valores do deslocamento dielétrico em cada ponto do éter.

Lorentz, assim como outros físicos renomados, acreditavam que a força sobre um condutor conduzindo corrente e sujeito a um campo magnético perpendicular à direção da mesma, era devida inteiramente a ação da corrente sobre o condutor. Isso devido à própria concepção de Lorentz de eletricidade, onde o físico holandês adota como uma de suas hipóteses fundamentais o fato de que seriam partículas os entes responsáveis pela eletricidade, ou seja, onde houvesse eletricidade, haveria também massa (RIBEIRO, 2008).

Partindo dessas seis hipóteses listadas acima, Lorentz obteve as equações de movimento dos pontos do éter, onde c é a velocidade da luz no vácuo:

$$\begin{aligned}
 4\pi c^2 \left(\frac{\partial g}{\partial z} - \frac{\partial h}{\partial y} \right) &= \frac{\partial a}{\partial t} \\
 4\pi c^2 \left(\frac{\partial h}{\partial x} - \frac{\partial f}{\partial z} \right) &= \frac{\partial \beta}{\partial t} \\
 4\pi c^2 \left(\frac{\partial f}{\partial y} - \frac{\partial g}{\partial x} \right) &= \frac{\partial \gamma}{\partial t}
 \end{aligned}
 \tag{28}$$

Para encontrar a equação para a força sobre uma partícula em movimento em uma região caracterizada por campos elétrico e magnético, Lorentz coordenou uma partícula de massa m e o trabalho realizado sobre ela durante um deslocamento.

Em 1895, Lorentz mostrou a invariância formal da força ponderativa para referenciais, movendo-se com velocidade constante em relação ao éter. Para isso, ele utilizou fórmulas de transformação para os campos elétrico e magnético. Assim, para uma partícula de carga q movendo-se com velocidade \vec{v} em relação ao éter e sujeita à ação de \vec{E} e \vec{B} (definidos também em relação ao éter) (RIBEIRO, 2008).

Em outras palavras, a lei de força de Lorentz descreve exatamente como o campo magnético exerce força sobre cargas elétricas em movimento e, simplificando essa equação, temos:

$$\vec{F}_{mag} = Q \vec{v} \cdot \vec{B}
 \tag{29}$$

Sendo Q o valor da carga elétrica da partícula, \vec{v} sua velocidade e \vec{B} o campo magnético sobre a carga.

Portanto, sabe-se que cargas elétricas em movimento, dentro de um campo magnético, ficam entregues à força magnética (ou força de Lorentz), o que é denominado por Lorentz de força magnética, hoje denominado de campo magnético, representado comumente por \vec{H} .

Essa força coloca as cargas elétricas em movimento perpendicular ao campo magnético que percorrem, gerando assim uma corrente induzida, conhecida como a Lei de Faraday, com sentido tal que os polos magnéticos dessas correntes induzidas (ou correntes de redemoinhos) dirijam-se à variação do fluxo magnético que os desencadeou (CANALLE e MOURA, 2000).

Sendo assim, uma vez que o vetor nada mais é do que a velocidade da carga elétrica, medido no sistema, obtêm-se a prova de que a fundação eletrodinâmica da

teoria de Lorentz, dos corpos em movimento, está de acordo com o princípio da relatividade. Dessa maneira, existem duas formas básicas de criação de um campo magnético, a primeira está relacionada com a descoberta do próprio fenômeno, e a segunda trata do campo criado por uma carga em movimento (corrente elétrica), essa força expressa é conhecida como força de Lorentz.

4.7 Rigidez dielétrica

A rigidez dielétrica é estabelecida pelo ensaio de ruptura dielétrica, a qual é fortemente influenciada por condições experimentais, como: geometrias da amostra e do eletrodo, espessura da amostra, tempo e tipo da solitação elétrica, meio que envolve a amostra, temperatura e outros. Além das condições citadas, a rigidez dielétrica é afetada por variáveis como: estrutura, composição química e microestrutura da amostra (UEKI e ZANIN, 1997).

A rigidez dielétrica é uma característica física muito significativa dos materiais. Ela define qual é o maior campo elétrico que determinado material pode suportar, sem que nele ocorram descargas elétricas capazes de deteriorá-lo. De uma maneira mais explicativa, pode-se dizer que a rigidez dielétrica mede o campo elétrico máximo que um meio isolante pode suportar, antes de se tornar condutor (CARVALHO, 2018).

Em outras palavras, a rigidez dielétrica de um material pode ser compreendida como a predisposição dele agir como isolador elétrico. Ela é definida como a tensão máxima aplicada entre dois eletrodos, quando isso ocorre, diz-se que houve uma ruptura da rigidez dielétrica do material. A rigidez dielétrica costuma ser medida em V/m (Volts por metro) ou em kV/mm (quiloVolts por milímetro) (CARVALHO, 2018).

Nos dielétricos (ou isolantes) os elétrons estão presos aos núcleos dos átomos e, portanto, ao contrário dos metais (condutores), não existem elétrons livres nessa substância (YOUNG e FREEDMAN, 2009). Assim, o valor mínimo do campo elétrico que deve ser aplicado a um dielétrico para transformá-lo em condutor é denominado de rigidez dielétrica. Cada material tem seu valor próprio de rigidez dielétrica, dadas as diferentes estruturas microscópicas de cada um deles. Um exemplo está representado na Tabela 1, que apresenta os valores de rigidez dielétrica para alguns materiais.

Tabela 1: Rigidez dielétrica de diferentes materiais

Substância	Rigidez Dielétrica (kV/mm)
Hélio (relativo ao nitrogênio)	0,15
Ar (relativo ao nitrogênio)	3
Vidro de janela	9,8 – 13,8
Óleo de silicone, óleo mineral	10 – 15
Benzeno	163
Poliestireno	19,7
Polietileno	18,9 – 21,7
Neoprene	15,7 – 26,7
Água destilada	65 – 70
Alto vácuo	20 – 40
Sílica	470 – 670
Papel parafinado	40 – 60
Teflon extrudado	19,7
Teflon (filme isolante)	60 – 173
Mica	118

Fonte: Carvalho (2018).

A rigidez dielétrica especifica a tensão máxima que pode ser aplicada entre dois eletrodos (normalmente indicada em função de eletrodos esféricos) sem que ocorra o centelhamento, quando o material deixa de ser isolante. Em outras palavras, a rigidez mede a qualidade de um material como isolante, como por exemplo o ar que resulta em um valor de tensão de 3 kV/mm. Assim, se entre dois eletrodos que são afastados gradualmente o faiscamento ocorre em distâncias de até 2 cm, por exemplo, pode-se dizer que a tensão aplicada é da ordem de 60 kV/mm.

Os meios isolantes, denominados dielétricos, dificultam a passagem da corrente elétrica, propensos a polarizar-se quando sujeitos a campos elétricos externos de grande intensidade. O ar atmosférico, por exemplo, é um bom dielétrico, e para que esse meio conduza elétrons, é necessário que um grande campo elétrico seja aplicado sobre ele. Ou seja, quanto maior for a rigidez dielétrica de um meio, melhor isolante este será.

Assim, sabe-se que se um campo elétrico for aplicado a um dielétrico, haverá uma tendência de afastar os elétrons de seus núcleos devido à força externa. Isso pode chegar ao ponto em que a força externa fique maior do que a força interna que liga o elétron ao seu núcleo. Quando isso ocorre os elétrons passarão a ser livres, transformando-se, então, um dielétrico em um condutor (YOUNG e FREEDMAN, 2009).

A seguir, algumas nomenclaturas relacionadas ao ensaio de rigidez dielétrica, de acordo com Bertoldo (2013):

- Rigidez dielétrica superficial: no caso dos isolantes sólidos, pode acontecer que o arco disruptivo, em vez de atravessar a sua massa, salte pela sua superfície. Ao quociente da tensão pela distância entre os condutores é dado o nome de rigidez dielétrica superficial. Esta depende, evidentemente, da forma do isolante e do estado da sua superfície.
- Perdas nos dielétricos: nos dielétricos sujeitos a uma tensão contínua verifica-se uma perda por efeito Joule tal como nos condutores. A corrente de perdas, se bem que muito limitada, dá lugar a certo aquecimento. O nome desse fenômeno é dado pela analogia existente com a histerese magnética. A explicação física das perdas por histerese dielétrica é dada por consideração da falta de homogeneidade do dielétrico.
- Ângulo e fator de perdas: quando um dielétrico está sujeito a um campo dielétrico alternado, a corrente que o atravessa deveria estar avançada de “ $\pi/2$ ” em relação à tensão, mas pelo fato de existir uma queda ôhmica através da massa do isolante, haverá uma componente da corrente que fica em fase com a tensão e o ângulo de diferença de fase será $(\pi / 2 - \delta)$, sendo “ δ ” chamado ângulo de perdas. A potência perdida no dielétrico será dada por:

$$P = U.I. \cos \left(\frac{\pi}{2} - \delta \right) = U.I. \sin \delta = U.I. \delta \quad (30)$$

Onde P = potência perdida no dielétrico, U = tensão elétrica aplicada, I = corrente elétrica, π = constante (3,1416) e δ = ângulo de perdas.

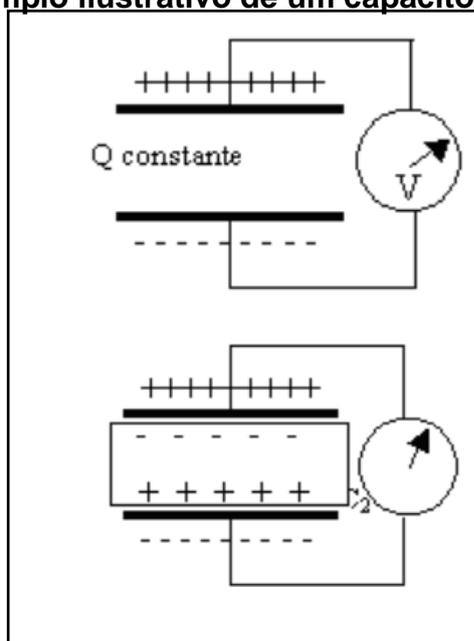
- Ruptura dos dielétricos: quando um campo elétrico a que um dado dielétrico está sujeito ultrapassa um determinado valor se dá a ruptura do dielétrico. A maneira como está se produz e as suas consequências são, porém, diferentes conforme o tipo

de dielétrico. Assim, é compreensível que, se a ruptura se produzir num dielétrico fluido, a matéria atingida pela descarga é logo substituída por outra e, se o fenômeno não repetir, a sua única consequência é o aparecimento de partículas carbonizadas dentro do fluido.

Para fixação do conceito de rigidez, na Figura 10 é exposto um exemplo prático e de fácil entendimento, onde um capacitor com dielétrico tem sua capacitância aumentada por um fator, chamado constante dielétrica. A constante dielétrica ou permissividade relativa é a capacidade de um material se opor ao fluxo de corrente, a constante dielétrica está relacionada com a frequência de operação do circuito (BERTOLDO, 2013).

Na figura 10 ilustrada a seguir há um capacitor carregado com carga constante, o dielétrico entre as placas é o ar. Supondo que o capacitor está isolado, a carga acumulada permanecerá constante. Quando um dielétrico é colocado entre as placas, a polarização resultará em um excesso de cargas negativas na parte superior do dielétrico e igual quantidade de cargas positivas na parte inferior, como ilustrado na Figura 10. O campo efetivo entre as placas diminuirá, provocando assim a diminuição do potencial.

Figura 10: Exemplo ilustrativo de um capacitor com dielétrico



Fonte: Universidade Federal do Rio Grande do Sul (2003).

Quando o campo elétrico entre as placas exceder o valor da rigidez dielétrica do ar, se tornará condutor. A constante dielétrica é um valor relativo baseado em 1,0

para o vácuo. Esta magnitude é a razão entre a carga Q , obtida com uma determinada tensão no capacitor que contém um dado dielétrico e a carga Q_0 , que poderia obter-se com um capacitor das mesmas dimensões, com a mesma tensão, se entre os eletrodos existisse vácuo.

$$\varepsilon = \frac{Q}{Q_0} = 1 + \frac{Q_d}{Q_0} \quad (31)$$

Através da equação 29 se deduz que a permissividade relativa de qualquer substância dielétrica é maior que a unidade. A constante dielétrica também pode ser determinada pela razão entre a capacitância de um capacitor com o dado dielétrico e a capacitância de outro capacitor com as mesmas dimensões cujo dielétrico seja o vácuo (BERTOLDO, 2013).

4.8 Experimento de Thomson: demonstração da relação carga/massa

Joseph Jhon Thomson em 1897 obteve o grande feito de determinar a razão carga/massa, além disso, demonstrou que o elétron era uma partícula, com carga e massa muito bem definidas. Em seu experimento, Thomson determinou a razão carga/massa de um feixe de raios catódicos a partir da comparação da deflexão desse quando sujeito à ação de campos externos. Esse feito permitiu-lhe determinar, não só a razão de carga/massa de vários íons, mas também, seu princípio de funcionamento, que originou àquilo que hoje é conhecido como espectrômetro de massa (ROCHA, 2002).

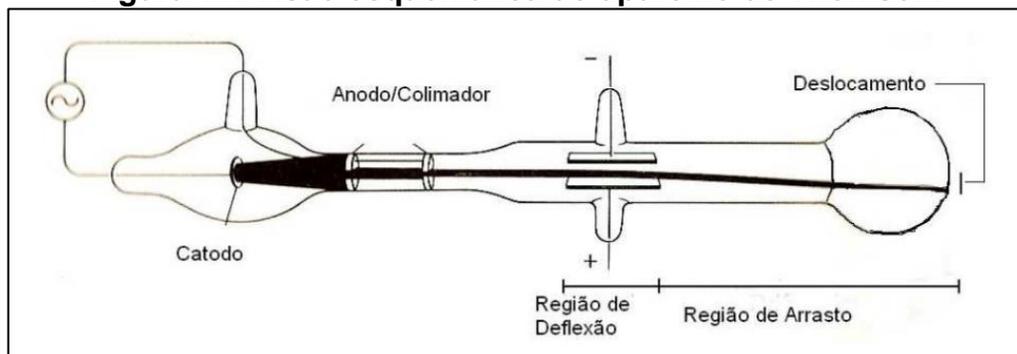
O método utilizado por Thomson para determinar a razão carga/massa, tem duas etapas:

- Na primeira etapa cria-se um campo elétrico entre as placas do condensador, aplicando uma tensão que desvia para baixo o feixe de elétrons. O feixe bate em um ponto da tela fluorescente, aplicando a segunda Lei de Newton. Quando os elétrons entram no condensador possuem velocidade horizontal, essa distância não é medida diretamente, mas sim a partir do ponto de impacto na tela fluorescente e da distância das placas do condensador a tela.

- Em uma segunda etapa liga-se o campo magnético, juntamente com o elétrico, regulando as intensidades de modo que o feixe de elétrons se mova sem qualquer desvio.

A sua experiência tornou-se um marco no conhecimento da estrutura atômica, valendo-lhe o Prêmio Nobel da Física em 1906. O aparelho que Thomson utilizou foi o tubo de raios catódicos (Figura 11). O experimento aqui mencionado, realizado por Thomson, consiste basicamente nos “raios” que foram repelidos pelo cátodo, e atraídos pelo ânodo, onde alguns passaram pelo colimador, formando um feixe. Esse feixe foi defletido por placas ligadas a uma bateria, de modo a formar um forte campo elétrico entre elas, depois, moveram-se em uma região livre de forças, até bater na parede do tubo, produzindo um ponto de luz (SILVA et al., 2011).

Figura 11: Visão esquemática do aparelho de Thomson.



Fonte: Silva et al. (2011).

Essa razão é uma quantidade física amplamente utilizada em eletrodinâmica de partículas carregadas, envolvendo a óptica de elétrons e íons. Tão importante é sua importância que em 1991 ficou estabelecido que a unidade da razão carga/massa seria nomeada de Thomson (Th), em reconhecimento àquele que primeiro a determinou.

5 METODOLOGIA

Como a dissertação surge a partir do produto educacional (APÊNDICE D) e da sua aplicação, definir a área da Física a ser trabalhada foi o primeiro passo a ser tomado e a partir dessa escolha foi desenvolvido um protótipo de tubo de raios catódicos. Para fazer sua construção foi necessário uma pesquisa em relação aos materiais que foram utilizados.

Durante os meses de junho a agosto de 2019 foram realizadas as adaptações e testes até conseguir a montagem que obteve melhor resultado em relação a emissão do feixe de elétrons. Além disso durante esse processo foram tomados alguns cuidados quanto a questão da segurança, de forma que o equipamento em funcionamento não oferecesse risco a saúde de seus usuários.

Para o desenvolvimento do protótipo utilizou-se 1 (uma) garrafa de vidro transparente, 1 (um) transformador de TV flyback, 4 (quatro) garras de jacaré, 1 (um) suporte de madeira, 1 (um) plug de tomadas, dentre outros materiais que estão listados na tabela 1 (um) do produto educacional que consta no apêndice.

Após a montagem do protótipo foi confeccionado um manual (APÊNDICE E) no qual é colocado algumas estratégias e procedimentos que o professor poderá adotar ao usar o tubo de raios catódicos como ferramenta auxiliadora em aulas práticas.

5.1 Descrição da escola

O presente estudo foi realizado na Escola Estadual de Ensino Médio Maria Benta Oliveira de Sousa que está localizada no bairro Santos Dumont município de Redenção, no Estado do Pará. A escola funciona em três turnos com turmas de primeiros, segundos e terceiros anos do ensino médio tendo um total de 945 alunos.

A escola possui uma boa notoriedade quanto a sua qualidade de ensino perante a sociedade redencense, possui também um laboratório pedagógico para desenvolvimentos de atividades práticas para as disciplinas de Física, Química e Biologia, entretanto como na maioria das instituições públicas de ensino nota-se a falta de equipamentos para que essas aulas sejam ministradas.

A pesquisa foi realizada com 40 (quarenta) alunos das turmas do terceiro ano matutino e 40 (quarenta) alunos das turmas do terceiro vespertino. Além desses,

foram incluídos no grupo de pesquisa os acadêmicos do curso de licenciatura em Física e os próprios professores da referida disciplina que trabalham na escola Maria Benta.

Para corroborar com a validação do protótipo, foi feita uma apresentação para o grupo de alunos da escola, em forma de aula, onde foi possível coletar informações sobre a interação dos alunos com o protótipo e sobre a construção do experimento por outros professores.

Vale ressaltar que os acadêmicos estavam como docentes dentro do grupo de pesquisa, ou seja, atuaram como professores perante os alunos do ensino médio tendo em vista que se encontravam em um período de estágio. Para isso, foi aplicado para os três grupos (alunos do ensino médio, acadêmicos e professores) um questionário com 10 questões objetivas (APÊNDICE A) que posteriormente pode ser analisado e discutido mostrando, através dos resultados, a importância da utilização de experimentos no processo ensino aprendizagem da disciplina de Física.

Todos os 7 (sete) professores ministraram as aulas no laboratório sendo que cada professor trabalhou com com 30 alunos dos terceiros anos, divididos em horários e turnos diferentes. Além disso, em uma reunião prévia com a participação de todos os professores foi montado um plano de aulas (APÊNDICE C) que pudesse ser utilizado por todos durante a execução do projeto.

Os professores utilizaram algumas estratégias durante as aulas nas quais foi aplicado o produto educacional. É importante ressaltar que a prática docente é algo muito individual onde cada professor pode utilizar ferramentas e metodologias diferentes, desde que atendam sua realidade e a dos próprios alunos.

Neste trabalho, optou-se por abordar com os alunos e professores, os tópicos da Física: campo elétrico, potencial elétrico, rigidez dielétrica, campo magnético e, por fim, força magnética. Os assuntos abordados na aula se deram por meio de uma sequência lógica apresentada pelo próprio livro didático que é usado na escola em questão, sendo feita também uma revisão dos conceitos de forma a maximizar a aprendizagem e a participação dos alunos.

Nesse contexto, considerou-se mais viável dividir as turmas em grupos de 5 (cinco) alunos, tendo em vista que havia, em média, quarenta alunos por sala. Depois dessa etapa foi montado um horário de aulas específico para a aplicação do produto, sendo que cada aula com o uso do equipamento teve duas horas de duração. Nas aulas trabalhou-se a teoria através de exposição com uso de alguns recursos como

data shows, pincéis e quadro branco. Todas as aulas referidas a aplicação do produto educacional foram realizadas no espaço laboratório multidisciplinar da Escola Maria Benta, evidenciando o uso desse local como alternativa metodológica de grande valia para o ensino de Física.

A coleta de dados foi feita através da aplicação de dois questionários com 10 (dez) questões objetivas, um voltado para os alunos (APÊNDICE A) e outro para os professores (APÊNDICE B). Esses questionários foram aplicados após as aulas nas quais utilizou-se o tubo de raios catódicos como ferramenta auxiliadora no processo de ensino aprendizagem.

Durante a utilização do tubo de raios catódicos foram tomados cuidados em relação à segurança e riscos que o manuseio desse objeto poderia oferecer aos alunos e professores da Escola Maria Benta. Para isso foi colocada uma série de avisos como placas e faixas de sinalização, dentre outros materiais, que servem como proteção e alerta para se evitar acidentes provocados por choques elétricos.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram aplicados questionários aos alunos do ensino médio, resultando em uma população amostral de 80 entrevistados. A tabulação dos resultados evidenciou que do total de entrevistados, 38,75% eram do sexo masculino, 57,5% do sexo feminino e 3,75% consideraram-se de outro sexo.

Quando questionados sobre o aprendizado em relação à forma como são ministradas as aulas, 5% dos alunos responderam que a didática utilizada pelo professor nas aulas de Física não interfere no seu aprendizado e 95% declararam que sim, a forma como as aulas são ofertadas faz toda diferença (Figura 12), evidenciando que a didática oferece uma contribuição indispensável no processo de ensino e aprendizagem, principalmente no estudo da Física, que envolve conteúdos mais complexos, possibilitando uma síntese do conteúdo e contribuindo para o conhecimento dos alunos (LIBÂNEO, 2017).

Mais da metade dos entrevistados consideraram ruim uma aula sobre eletromagnetismo totalmente teórica (81,25%), enquanto 18,75% desses declararam que seriam boas as aulas somente teóricas (Figura 13). Sobre a opinião dos entrevistados a respeito do uso de equipamentos que mostram fenômenos elétricos, 56,25% declararam que facilita o entendimento dos conceitos físicos, 28,75% responderam que facilita o entendimento em partes e 15% responderam que não facilita o entendimento dos conceitos físicos (Figura 14).

Seguindo esse raciocínio, onde a maioria dos alunos preferem uma aula mais prática sobre eletromagnetismo, Costa e Silveira (2016) declaram que o docente precisa ter a concepção de que a prática educativa vai muito além da simples transmissão de conteúdo, onde o ensino através da prática se constitui como uma importante ferramenta na contribuição para a aprendizagem dos conceitos científicos.

As dificuldades encontradas ao estudar eletromagnetismo correspondem aos conceitos de difícil entendimento e matemática complexa, onde 37,50% e 22,50%, respectivamente, declararam ter uma dessas dificuldades. A outra parte dos entrevistados (40%) declarou ter outras dificuldades quando o assunto é estudar eletromagnetismo (Figura 15). Em um estudo realizado por Fernandes (2016), onde se buscou identificar os possíveis problemas no aprendizado em sala de aula, na disciplina de Física, o autor concluiu que a dificuldade no aprendizado da disciplina é o grau de dificuldade da linguagem matemática utilizada para o ensino, corroborando

com o presente estudo, onde os alunos declararam ter dificuldades ao estudar eletromagnetismo devido aos conceitos de difícil entendimento e a matemática complexa. O autor citado anteriormente ainda declara que essa dificuldade encontrada por parte dos alunos pode estar atrelada à deficiência na disciplina de Matemática que os alunos trazem do ensino fundamental, dificultando assim o processo de ensino e aprendizagem.

Figura 12

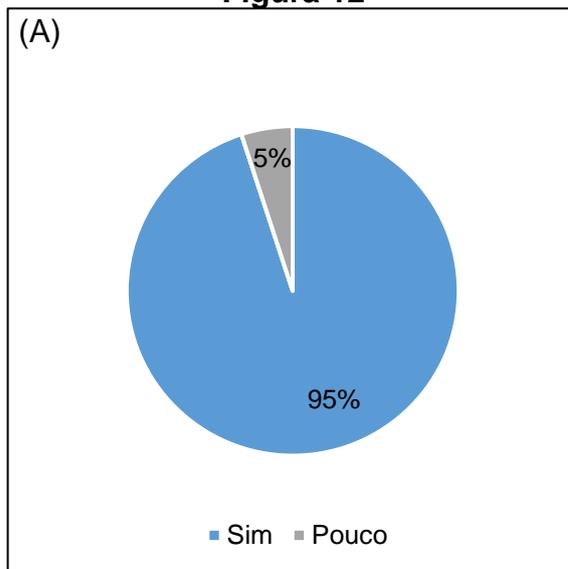


Figura 13

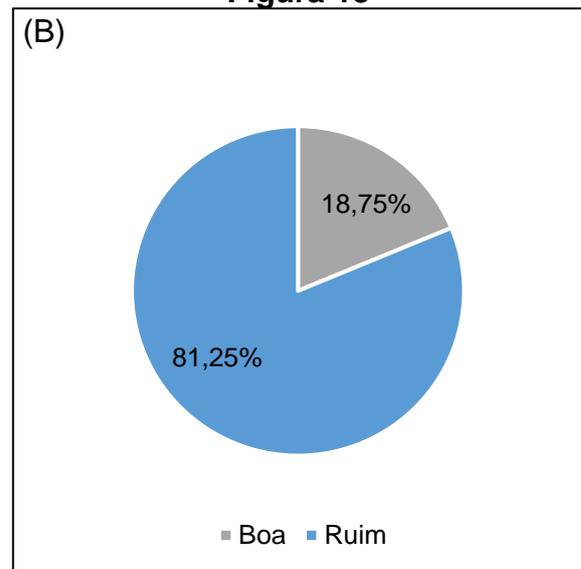


Figura 14

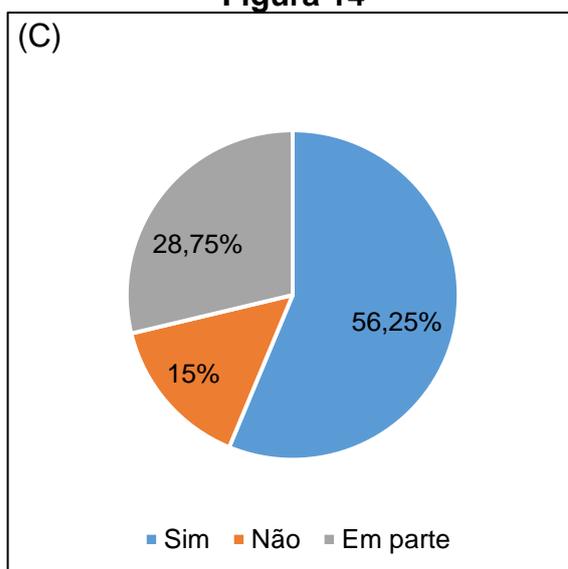
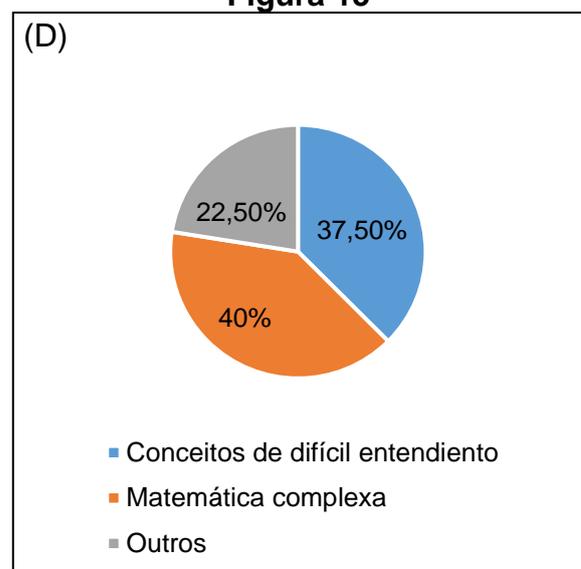


Figura 15



*"A forma como seu professor ministra as aulas (a didática do professor) faz diferença no seu aprendizado?" (A). "Como você avalia uma aula sobre eletromagnetismo totalmente teórica?" (B). "Na sua opinião o uso de equipamentos que mostrem fenômenos elétricos facilita no entendimento dos conceitos físicos?" (C). "Qual a sua maior dificuldade ao estudar eletromagnetismo?" (D).

**Fonte: Autor.

Quanto ao grau de motivação em estudar os conteúdos sobre eletromagnetismo com aulas práticas, 90% dos entrevistados alegaram possuir grande motivação e 10% declararam não terem alteradas suas motivações (Figura 16). A motivação por parte dos alunos em estudarem eletromagnetismo por meio de aulas práticas é de suma importância para qualquer aprendizagem, pois sem ela é pouco provável que a atenção do indivíduo esteja voltada para a assimilação do conteúdo (PAZ, 2007).

Quando questionados sobre o experimento tubo de raios catódicos, 95% dos alunos responderam que acreditam que experimentos utilizados nas aulas práticas de física contribuem com o entendimento de conceitos físicos, os demais declararam que não acreditam ou acreditam em parte, 1,25% e 3,75%, respectivamente, nessa contribuição de experimentos práticos para facilitar o entendimento de conceitos complexos envolvendo a Física (Figura 17).

Souza e Carvalho (2014) contribuem para esse resultado declarando que, em muitos casos, os alunos apresentam dificuldades para compreender os conceitos complexos de Física, resultando em um desinteresse nas aulas, mas, para amenizar essa situação, o uso de experimentos práticos nas aulas faz com que os alunos participem, contribuindo e melhorando a aprendizagem desses alunos. Os autores em questão relataram que em alguns casos os alunos podem encontrar dificuldades no desenvolvimento de cálculos, entretanto, ao relacionar o experimento utilizado na aula com o cotidiano do aluno, o desempenho se torna mais satisfatório.

Sobre o grau de sentimento quanto a segurança durante as aulas utilizando o experimento tubo de raios catódicos, a grande maioria dos entrevistados declararam-se seguros (86,25%) e 13,75% dos entrevistados responderam que não se sentem tão seguros assim (Figura 18). Uma grande parte dos entrevistados (93,75%) julgaram como “bom” a forma como o conteúdo sobre eletromagnetismo foi trabalhado e o uso de equipamentos (tubo de raios catódicos) nas aulas práticas de Física. Uma pequena parte (6,25%) alegou que não fez diferença para seu aprendizado o uso desta didática (Figura 19).

Figura 16

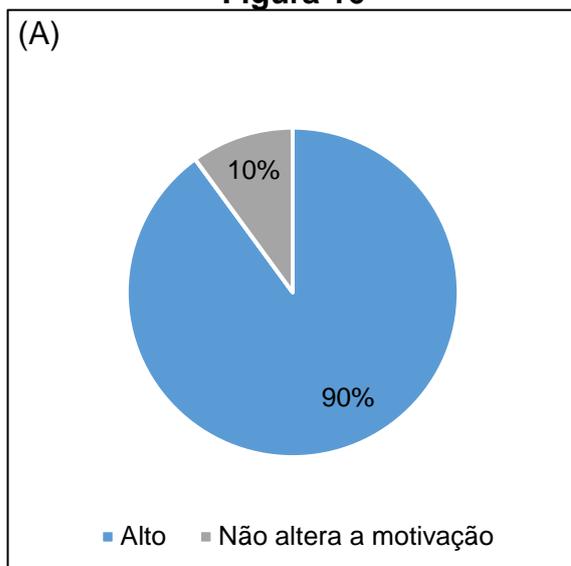


Figura 17

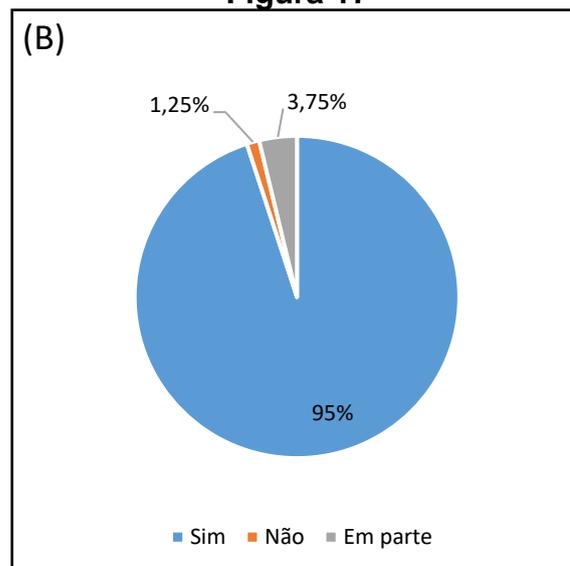


Figura 18

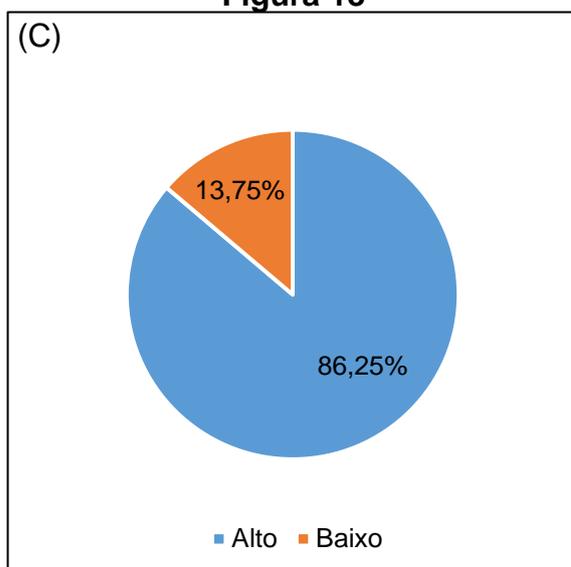
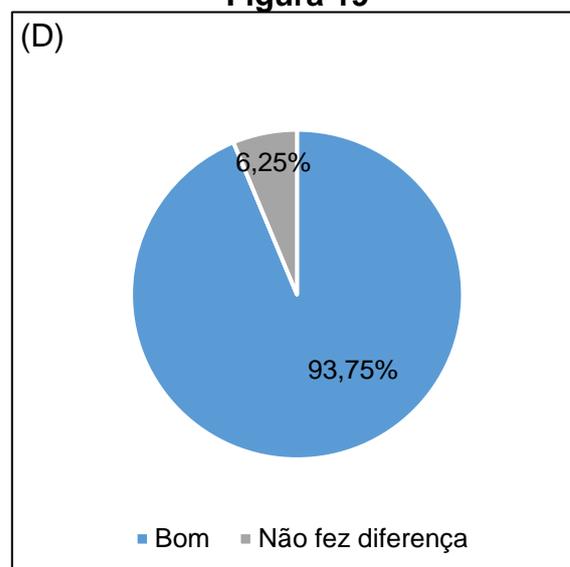


Figura 19



**Qual seu grau de motivação em estudar os conteúdos sobre eletromagnetismo com aulas práticas?
 (A). “Você acredita que o experimento (tubo de raios catódicos) contribui com o entendimento de conceitos físicos como por exemplo força magnética d.d.p., campo magnético, rigidez dielétrica dentre outros?” (B). “Qual seu grau de sentimento quanto a segurança durante as aulas utilizando o experimento tubo de raios catódicos?” (C). “Qual conceito você atribui a forma que o conteúdo foi trabalhado e ao uso de equipamento (tubo de raios catódicos) durante as aulas de eletromagnetismo?” (D).

**Fonte: Autor.

Quanto a motivação dos alunos em estudar a Física quando o professor utiliza experimentos que mostrem na prática os fenômenos, 95% declararam que se sentem motivados, enquanto 3,75 e 1,25, respectivamente, relataram não se sentirem motivados ou em partes (Figura 20). O envolvimento da teoria com a prática foi relatado por todos os entrevistados (100%) como uma aula ideal de Física (Figura 21).

Desse modo, a disciplina de Física está longe de ser considerada uma preferência entre os alunos, onde muitas vezes se encontram desmotivados para se engajarem na aprendizagem dos conceitos físicos. Camacho e Carvalho (2013) explica que uma das razões para essa apatia pode estar atrelada ao uso de materiais didáticos completamente complexos envolvendo cálculos, o que torna a disciplina maçante em muitos casos. Como uma forma de tornar a Física mais atrativa ao corpo discente, uma alternativa é abordar práticas experimentais de maneira mais cativante, como envolver o cotidiano dos alunos com os fenômenos Físicos.

Figura 20

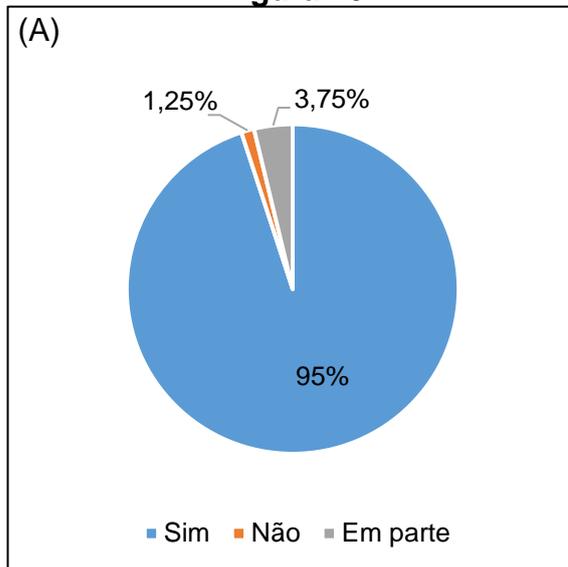


Figura 21



*"Você se sente motivado em estudar a Física quando o professor utiliza experimentos que mostrem na prática os fenômenos?" (A). "O que você considera como uma aula de Física ideal?" (B).

**Fonte: Autor.

Aplicou-se também questionários aos professores, obtendo uma população amostral de 07 entrevistados. Quando os professores foram questionados sobre sua formação acadêmica, 57,14% declararam que durante sua formação acadêmica tiveram contato com equipamentos de laboratório que facilitaram a aprendizagem de conceitos sobre eletricidade. Nesse mesmo âmbito, 28,57% e 14,29% alegaram não terem contato com equipamentos de laboratórios ou tiveram em parte, respectivamente, dificultando de certa forma a aprendizagem desses docentes sobre conceitos complexos de eletricidade (Figura 22). Todos os entrevistados responderam que acreditam que o uso de experimentos práticos contribui com o processo de ensino e aprendizagem (Figura 23).

Quando perguntado se durante suas práticas docentes eles procuravam desenvolver equipamentos que podiam ser utilizados como ferramentas metodológicas e se eles acreditavam que o uso de equipamentos, como o tubo de raios catódicos, seriam ferramentas que possibilitariam uma dinamização da aula e o estudo de alguns conceitos sobre eletricidade, no geral, todos os 07 professores entrevistados responderam que sim para ambos os questionamentos (Figuras 24 e 25).

Nesse sentido, ainda é notável que atualmente uma pequena parte dos professores utilizem ferramentas experimentais com seus alunos na disciplina de Física no ensino médio. Apesar da importância que possui a atividade experimental na educação científica, a ciência continua sendo apresentada, na maior parte das vezes, apenas através de fórmulas, definições e exercícios padronizados (SANTOS et al., 2004).

Quando o discente envolvido no ensino de Física participa da utilização e da construção de um instrumento experimental, terá uma ideia mais clara a respeito do funcionamento e das limitações do instrumento em questão. Assim, sua aplicação e atuação será menos mecânica e a aprendizagem, provavelmente, mais eficiente, evidenciando a importância da prática experimental para o ensino, o que está diretamente relacionado com a abordagem que o professor utilizará para conduzir a atividade (SANTOS, 2003).

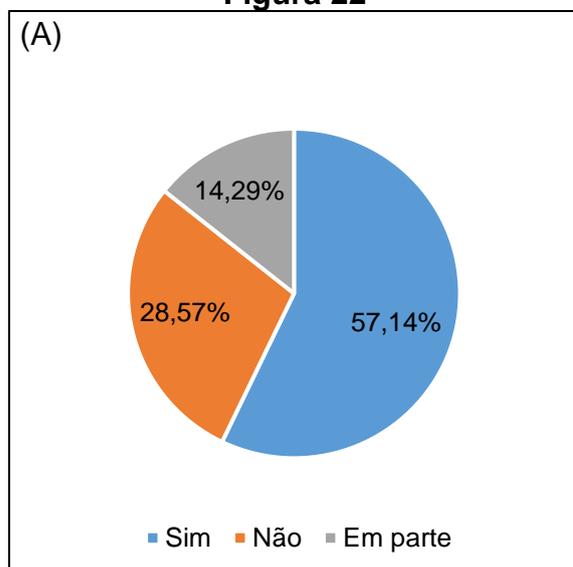
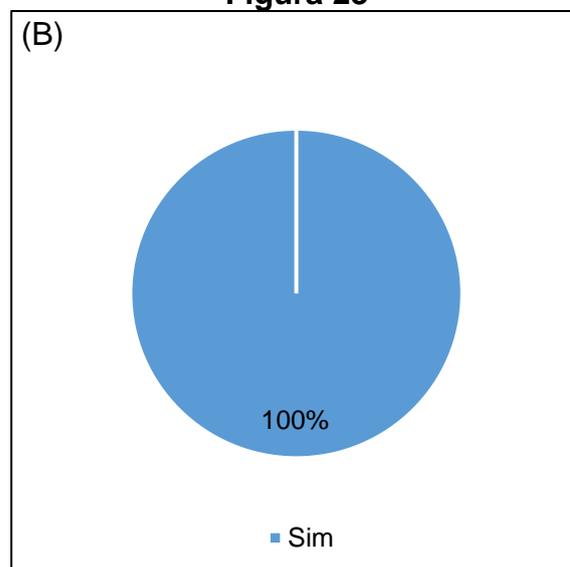
Figura 22**Figura 23**

Figura 24

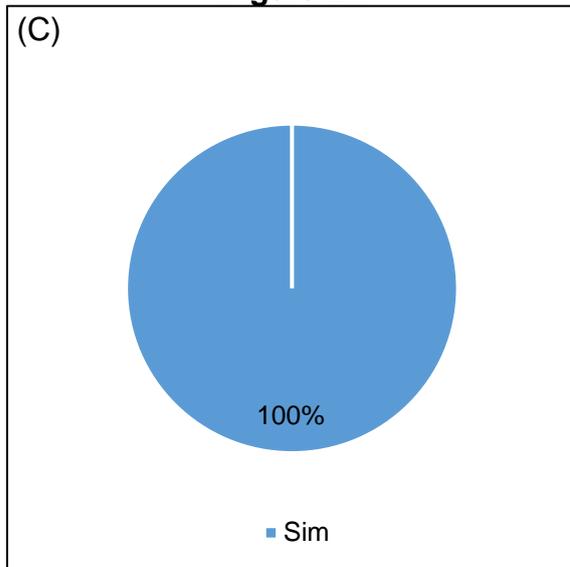
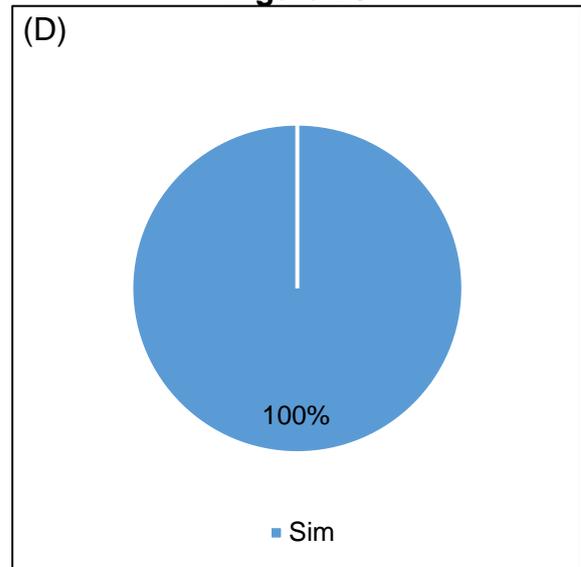


Figura 25



*“Durante a sua formação acadêmica teve contato com equipamentos de laboratório que facilitassem a aprendizagem de conceitos sobre eletricidade?” (A). “Você acredita que o uso de experimentos contribui com o processo ensino aprendizagem?” (B). “Durante sua prática docente você procura desenvolver equipamentos que possam ser utilizados como ferramenta metodológica?” (C). “Você acredita que o uso de equipamentos (tubo de raios catódicos) é uma ferramenta que possa dinamizar a aula e o estudo de alguns conceitos sobre eletricidade?” (D).

**Fonte: Autor.

Sobre as dificuldades encontradas pelos docentes durante a prática do ensino de alguns conteúdos de Física, 57,14% apontaram a falta de equipamentos para aulas práticas como a principal dificuldade encontrada, seguida pela falta de tempo para elaborar um bom plano de aula, e outras dificuldades, resultando em um percentual, respectivamente, de 28,57% e 14,29% (Figura 26).

Quando questionados sobre o ponto de vista dos docentes no que diz respeito à desmotivação por parte dos discentes ao estudar os conteúdos sobre eletricidade, 42,58% dos entrevistados responderam que a maior desmotivação dos alunos está ligada com o assunto muito abstrato envolvendo a eletricidade, 28,57% responderam que o assunto envolve uma matemática complexa e 28,57% apontaram outros motivos que possam desmotivar os alunos no estudo sobre eletricidade (Figura 27).

Nesse âmbito, Vidal e Alves (2018) declaram que, dentre os problemas encontrados pelos professores no ensino, observaram que a pouca oferta de recursos por parte da escola para o professor e a falta de incentivo são aspectos que dificultam o ensino, resultando na desmotivação do profissional e criando uma barreira entre professor e aluno, onde as aulas se tornam cada vez mais expositivas e não dialogadas, e a participação dos alunos tende a diminuir, fazendo assim um aprendizado sem significação, ou seja, aprender por aprender.

Ainda falando sobre o grau de dificuldade encontrado no ensino da Física, agora salientando a desmotivação dos alunos, Fernandes (2016) traz uma explanação sobre o assunto, onde buscou entender e detectar as dificuldades que os alunos do ensino médio encontravam na aprendizagem dos conteúdos da disciplina de Física. Os resultados apontaram que 45% dos alunos declararam não entender os cálculos, 25% responderam não entender a teoria e 18,5% afirmaram ter dificuldades na relação entre teoria e prática. Esses resultados corroboram com o já discutido no presente trabalho, evidenciando que o ensino de Física, por ser considerado complexo, e devido à outras diversas variáveis envolvendo o processo de ensino, faz com que muitas vezes o aluno não consiga acompanhar a linha de raciocínio do professor, dificultando seu aprendizado.

Os resultados para o questionamento “Você montaria o equipamento tubo de raios catódicos para ser utilizado em suas aulas?”, apontaram que todos os entrevistados (100%) relataram que sim, montariam o equipamento para utilizar nas aulas de Física (Figura 28). Sobre o grau de dificuldade que os docentes atribuíram ao processo de montagem do equipamento tubo de raios catódicos, a maioria dos entrevistados responderam que consideram de dificuldade média a montagem do equipamento (57,14%), seguido das respostas que consideram simples (28,57%) e difícil (14,29%) a montagem do equipamento tubo de raios catódicos pelos docentes (Figura 29).

Figura 26

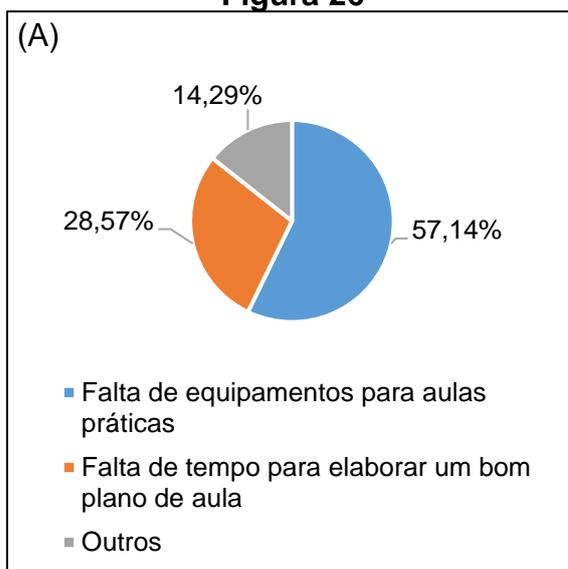


Figura 27

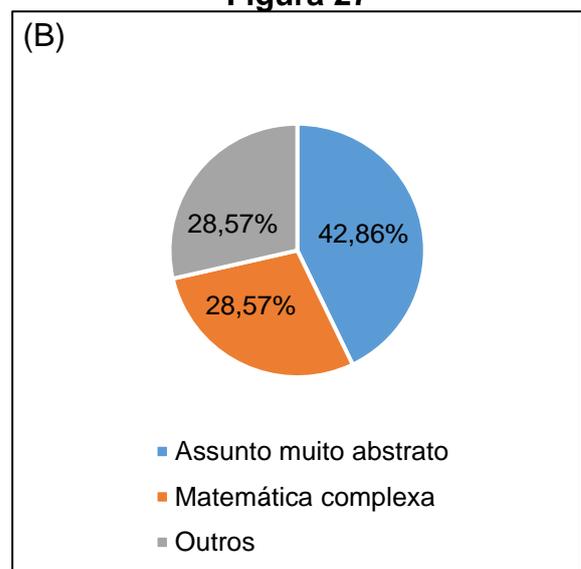


Figura 28

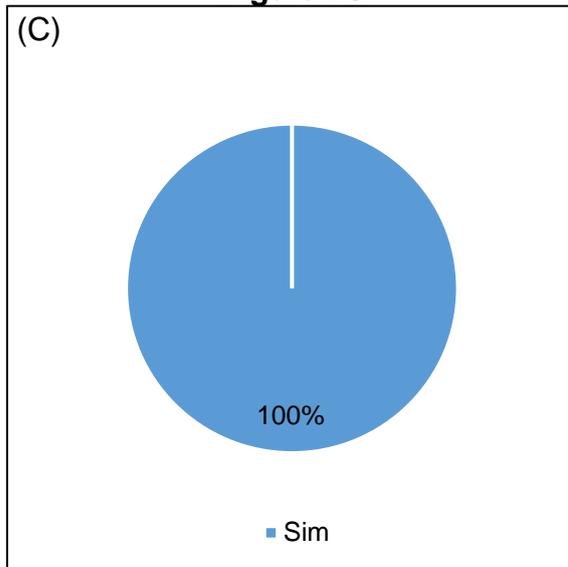
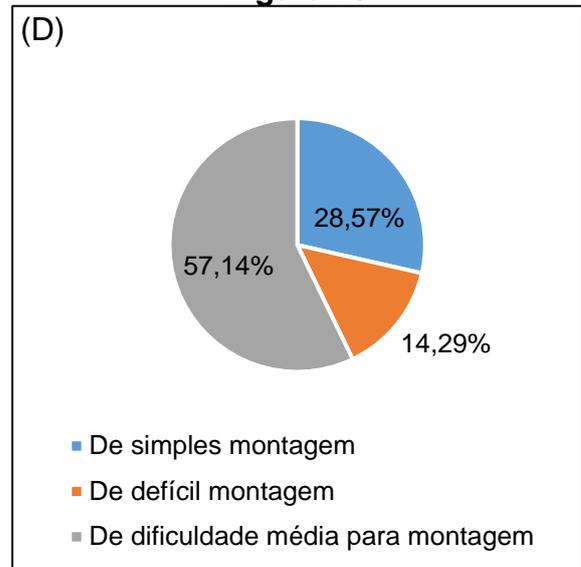


Figura 29



**Na sua opinião durante sua prática como docente o que mais dificulta no ensino de alguns conteúdos de Física?" (A). "Do seu ponto de vista o que causa desmotivação por parte dos discentes ao estudar os conteúdos sobre eletricidade?" (B). "Você montaria o equipamento (tudo de raios catódicos) para ser utilizado em suas aulas?" (C). "Qual o grau de dificuldade que você atribui ao processo de montagem do equipamento (tubo de raios catódicos)?" (D).

**Fonte: Autor.

Neves et al. (2019), utilizando uma proposta de adaptação de um dos experimentos sobre a natureza dos raios catódicos realizado no final do século XIX, onde no lugar de reproduzir os experimentos na forma como foram idealizados, os autores propuseram a realização de um experimento com redução de custos e que permitisse a manipulação por parte dos estudantes, concluíram que a realização de experimentos, como o citado, mobiliza diferentes conceitos, teorias e procedimentos experimentais que são relevantes para o ensino da Física, salientando a facilidade na sua aplicabilidade, o que foi possível verificar nos questionamentos anteriores, onde os professores consideram importante a montagem desse ensaio experimental sobre raios catódicos para utilização na sala de aula, e ainda, consideraram simples o grau de dificuldade para montagem desse experimento.

Todos os entrevistados consideram como alto o grau de sentimento quanto a segurança durante o uso do equipamento tubo de raios catódicos e o grau de envolvimento atribuído aos alunos durante as aulas que misturam a teoria com a prática.

É importante salientar que um experimento utilizado nas aulas de Física, como abordagem didática prática, não serve apenas para comprovar uma teoria, mas também para apresentar uma aplicação dessa, nesse caso, uma aplicação

tecnológica, o que de alguma forma pode tornar a aprendizagem mais significativa para os alunos (NEVES et al., 2019).

As figuras 30, 31 e 32 apresentam alguns desses os momentos de interação entre professores e alunos durante a aplicação do produto educacional.

Figura 30: Interação entre professores e alunos



Fonte: O autor.

Figura 31: Interação entre professores e alunos



Fonte: O autor.

Figura 32: Interação entre professores e alunos



Fonte: O autor.

Importante ressaltar que os discentes alunos também interagiram de forma direta com o objeto simulador tubo de raios catódicos podendo constatar através da sua utilização os conceitos Físicos que foram abordados durante a aula expositiva.

Além disso, o produto educacional foi exposto na feira de ciências na Escola Maria Benta no dia 4 (quatro) de outubro de 2019 e vale frisar que nesse caso não foram coletados dados pois teve como objetivo apenas fazer o uso do equipamento

de forma que os discentes explicassem de maneira informal alguns conceitos e fenômenos físicos à comunidade escolar que faziam a visitação aos stands.

As figuras 33 e 34 mostram o produto educacional sendo exposto na feira de ciências da escola por alunos selecionados de uma turma de terceiro ano do ensino médio.

Figura 33: Produto na feira de ciências



Fonte: O autor.

Figura 34: Produto na feira de ciências



Fonte: O autor.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Atualmente, é um grande desafio para a área da Educação conseguir manter o interesse dos estudantes, uma vez que os jovens se encontram cada vez mais conectados às novas tecnologias e perdendo o interesse pela escola.

Sendo assim, é necessário que os profissionais da área de educação estejam sempre renovando suas didáticas, com criatividade, a fim de atender aos desejos de compreensão dos alunos e inspirar esses jovens a voltar novamente seus interesses ao conhecimento, reconhecendo a importância do mesmo para a vida.

Pensando nisso é que surgiu a ideia deste trabalho, que buscou apresentar um produto inédito (tubo de raios catódicos), e de baixo custo, que poderia ser utilizado em uma sala de aula da disciplina de Física, mostrando um feixe de elétrons sendo desviado por um campo magnético e, assim, explicar alguns conceitos elétricos. Isso, observando também as dificuldades que as instituições públicas de ensino encontram em conseguir investimentos para a aquisição de equipamentos de laboratórios multidisciplinares, uma vez que o produto utiliza materiais de fácil acesso e reaproveitados.

Além da questão financeira, vale ressaltar os conceitos físicos que podem ser trabalhados com esse equipamento, como campo elétrico e magnético, diferença de potencial, dentre outros, tornando-o, assim, um estímulo para os alunos, de forma a evitar que sejam apenas decodificadores, mas pessoas capazes de entender o que está sendo investigado e deixando de vez as dúvidas e barreiras que um dia foram grandes obstáculos em relação à compreensão e aplicação dos conceitos da disciplina Física.

Sendo assim, em resumo, foi feita uma fundamentação teórica sobre algumas teorias de aprendizagem, inclusive a teoria da aprendizagem significativa, de David P. Ausubel (1918-2008), que preconiza que para o processo de aprendizagem ser mais efetivo, é importante relacionar os conteúdos aos conceitos prévios do aluno.

Além disso, buscou-se fazer um estudo do referencial teórico relacionado ao produto, se iniciando com um breve histórico da física e logo após analisando todos os aspectos e conceitos que poderiam ser desenvolvidos em sala de aula através da utilização do tubo de raios catódicos como experimento prático.

Foi feita também uma demonstração do produto tubo de raios catódicos, com uma lista dos materiais necessários, os custos para sua produção, um passo a passo para a montagem e fotos detalhadas de cada etapa.

Por fim, foi feita uma pesquisa, através de um questionário, com 80 alunos do ensino médio e 7 professores, para saber o que pensam sobre a importância da utilização de metodologias de aula prática com experimentos nas aulas de física e como isso pode afetar a aprendizagem nas aulas dessa disciplina.

Constatou-se, de forma geral, que grande parte das dificuldades dos alunos em relação a essa disciplina ocorre pelos difíceis conceitos matemáticos, que se baseiam em teorias e fórmulas. Portanto, tanto para alunos, quanto para professores, a utilização de experimentos práticos seria extremamente atraente e eficaz para o processo de aquisição de conhecimento sobre o tema.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, G. P. de. **A aprendizagem significativa de David Paul Ausubel**. 2016. (10m24s). Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=wZzwpF2S1uY>>. Acesso em: 26 fev. de 2019.
- ARRUDA, S. M.; VILLANI, A. Sobre as origens da relatividade espacial: relações entre quanta e relatividade em 1905. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v.13, n.1, p.32-47, 1996.
- AUSUBEL, D. P.; et al. **Psicologia Educacional**. Rio de Janeiro: Interamericana, 1980.
- AUSUBEL, D. P.; et al. **Psicología educativa: un punto de vista cognoscitivo**. Cidade do México: Trillas, 1988.
- BERTOLDO, G. H. **Ensaio de rigidez dielétrica em óleo mineral isolante sob variação de temperatura**. TCC (Graduação) - Centro Universitário do Sul de Minas, Curso de Engenharia Mecânica, 2013. Disponível em: <<http://repositorio.unis.edu.br/handle/prefix/1088>>. Acesso em: 28 mar. 2020.
- BRASIL**. Ministério da Educação, **Secretaria De Educação Básica**, 2008. 93 p.
- BRASIL**. **Lei de diretrizes e bases da educação nacional**. 2005. Disponível em: <<https://www2.senado.leg.br/bdsf/bitstream/handle/id/70320/65.pdf>> Acesso em 01 de outubro de 2017.
- CAMACHO, V. D.; CARVALHO, M. A. Ensino de física com experimentos: uma proposta para o curso de formação de docentes para as séries iniciais do Ensino Fundamental. **Cadernos PDE**, Paraná, v. 1, 2013.
- CANALLE, J. B. G.; MOURA, R. Freio magnético. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v.17, n.1, p.96-100, 2000.
- CARVALHO, M, C; CABRAL, R, R, J. **Relato de uma proposta de ensino de eletricidade para o ensino médio com uso de simuladores e sensores pasco**. São João del Rei/MG,p.18, 2011. Disponível em: < ...> Acesso em 28 de outubro de 2017.
- CARVALHO, P. S. S. **Influência da granulometria das cargas na rigidez dielétrica de nanocompósitos epóxia/alumina**. Monografia (Graduação) - Curso de Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica. 2018. Disponível em: <<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10025533.pdf>>. Acesso em
- CHAIB, J.P.M.C; ASSIS, A.K.T. Distorção da obra eletromagnética de Ampère nos livros didáticos. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v.29 n.1, p.65-70, 2007.

COSTA, J. R.; SILVEIRA, A. F. Uma proposta para o ensino do eletromagnetismo sob uma perspectiva histórico-experimental. **Anais...** 15º Seminário Nacional de História da Ciência e da Tecnologia. Florianópolis, Santa Catarina, 2016.

CRUZ, C. C. **Uma proposta de formação técnico-humanista aplicada ao ensino de engenharia elétrica**. Campinas: UNICAMP, 2002.

DÍAZ, F. **O processo de aprendizagem e seus transtornos**. Salvador: EDUFBA, 2011.

DONGO-MONTOYA, Á. O. **Teoria da aprendizagem na obra de Jean Piaget**. São Paulo: Ed. UNESP, 2009.

FERNANDES, B. **Resumo de Física: Potencial Elétrico**. 2019. Disponível em: <<http://blog.professorbrunofernandes.com.br/resumo-de-fisica-potencial-eletrico/>>. Acesso em: 27 mar. 2020.

FERNANDES, B. **Potencial Elétrico**. 2008. Disponível em: <<https://www.sofisica.com.br/conteudos/Eletromagnetismo/Eletrostatica/potencial2.php>>. Acesso em: 27 mar. 2020.

FERNANDES, E. F. **As dificuldades de compreender Física dos alunos do Ensino Médio das escolas públicas de Iguatu-CE**. Monografia (Graduação), Faculdade de Educação Ciências e Letras, 2016.

FERRARO, N. B. **Os fundamentos da física: eletricidade**. 2013. Disponível em: <http://osfundamentosdafisica.blogspot.com/2013/03/cursos-do-blog-eletricidade_27.html>. Acesso em: 27 mar. 2020.

FONTES, M. A. Motivação e estratégias de aprendizagem segundo a teoria das abordagens à aprendizagem: implicações para a prática de ensino-aprendizagem. **Revista Ibero-Americana de Estudos em Educação**. v. 11, n. esp. 3, p. 1727-1744, 2016.

GOMES, A. P.; et al. A educação médica entre mapas e âncoras: a aprendizagem significativa de David Ausubel, em busca da arca perdida. **Revista Brasileira de Educação Médica**. v. 32, n. 1, p. 105-111, 2008.

GOUVEIRA, R. **Potencial Elétrico**. 2011. Disponível em: <<https://www.todamateria.com.br/potencial-eletrico/>>. Acesso em: 27 mar. 2020.

GUIMARÃES, O.; PIQUEIRA, J. R.; CARRON, W. **Eletromagnetismo e Física Moderna**. 2 ed. São Paulo: Ática, 2016.

GUSSOW, M. S. M. **Eletricidade básica**. São Paulo: Bookman, 2009. 565 p. Tradução de: José Lucimar do Nascimento.

HALLIDAY, D. **Fundamentos de física**. Volume 3: eletromagnetismo / David Halliday, Robert Resnick, Jearl Walker. Tradução de: Ronaldo Sérgio de Boasi. 10 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

HEWITT, Paulo G. **Fundamentos de Física Conceitual**. [s.l]: Bookman, 2009. 431 p. Tradução de: Trieste Freire Ricci.

HUBNER, M. L. F.; KUHN, A. C. A. Bibliotecas universitárias como espaços de aprendizagem. **Biblios**. v. 31, n. 1, p. 51-72, 2017.

KATAOKA, A. **[BIO] Compreendendo a teoria da aprendizagem significativa**. 2017. (8m22s). Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=7ExFMYmlsH0>>. Acesso em: 01 mar. de 2019.

KIEFER, N. I. S. **Ensino da física e aprendizagem significativa: roteiro para a elaboração de uma aula**. Ponta Grossa: UTFPR, 2013.

KLAUSEN, L. S. Aprendizagem significativa: um desafio. In: **CONGRESSO NACIONAL DE EDUCAÇÃO**, 13. Curitiba, 2017.

LIBÂNEO, CARLOS JOSÉ; **Didática**. São Paulo, ed 34, pag 65, 2012: Cortez, 1994. coleção magistério. Série formação de professor.

LIBÂNEO, J. C. **Didática**. [Livro Eletrônico], São Paulo: Cortez, 2017.

MARCO, M. B. **Modelo tridimensional das linhas de campo magnético**. Tópicos de ensino de Física, 2009.

Disponível: https://www.ifi.unicamp.br/~lunazzi/F530_F590_F690_F809_F895/F809/F809_sem1_2009/MarceloB-Ennio_RF2.pdf . Acesso em: 20 jun. 2019.

MENON, M. J.; SANTOS, R. P. B.; **Condição de casualidade, relações de dispersão e o modelo de Lorentz**. Instituto de Física Gleb Wataghin, Universidade Estadual de Campinas, 1995.

MOREIRA, M. A. **Aprendizagem significativa: a teoria e textos complementares**. 1. ed. São Paulo: Livraria Editora da Física, 2011.

NÉBIAS, C. Formação dos conceitos científicos e práticas pedagógicas. **Interface – Comunicação, Saúde, Educação**. v. 3, n. 4, p. 133-140. 1999.

NETO, P.; et al. Ensino de física e aprendizagem significativa: um olhar discente no semiárido. In: **CONGRESSO INTERNACIONAL DA DIVERSIDADE DO SEMIÁRIDO**, 1. Campina Grande, 2016.

NEVES, D. R. M.; PEREIRA, B. A.; PEREIRA, S. A.; FORATO, T. C. M.; BIANCO, A. A. G. Uma proposta de baixo custo para experimentos com raios catódicos. **Cadernos Brasileiro de Ensino de Física**, v. 36, n. 1, p. 256-286, 2019.

ORTIZ, O.; SASSE, F. D. Contrações de Lorentz, Lei de Gauss e Lei de Ampère. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v.8, n.3, 2003.

PAZ, A. M. **Atividades experimentais e informatizadas: contribuições para o ensino de eletromagnetismo**. Tese (Doutorado), Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica da Universidade Federal de Santa Catarina, 2007.

PILATTI, S. M. **Uma proposta de sequência didática para o ensino de eletrostática**. Dissertação (Mestrado), Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campos Mourão, 2016.

PINHEIRO, C. R. **Teoria da aprendizagem significativa de David Paul Ausubel**. 2016. (73m51s). Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=Kaz5PTY0CF0>>. Acesso em: 01 mar. de 2019.

PINTO, G. U. Estudo de conceitos e dificuldades de aprendizagem. **Journal of Research in Special Education Needs**. v. 16, n. 1, p. 487-491, 2016.

PIVATTO, B.; SCHUHMACHER, E. Conceitos de teoria da aprendizagem significativa sob a ótica dos mapas conceituais a partir do ensino de geometria. **REVEMAT**. v. 8, n. 2, p. 194-221, 2013.

POLITO, A. M. M. **A construção da estrutura conceitual da física clássica**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2016. 154 p.

PORTO, C. M. A física de Aristóteles: uma construção ingênua? **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v.31, n.4, out./dez. 2009.

QUINTAL, J. R. Uma proposta de ensino do conceito campo magnético utilizando aplicações do cotidiano. Instituto de Física, 2003. Disponível em: <<https://pantheon.ufrj.br/bitstream/11422/2858/4/JRQuintal.pdf>>. Acesso em: 20 jun. 2019.

RIBEIRO, J. E. A. **Sobre a força de Lorentz, os conceitos de campo e a essência do eletromagnetismo clássico**. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/43/43134/tde-27082008-172025/en.php>>. Acesso em: 18 set. 2019.

ROCHA, J. F.M. **Origem e evolução do eletromagnetismo**. In: ROCHA, J. F.M. *Origens e evolução das ideias da Física*. Cap. III. Salvador: Edufba, 2002. p. 185-280.

SANTOS, E. I. **Atividades experimentais lúdicas e com material de baixo custo: uma experiência com formação continuada de professores de física**. Dissertação (Mestrado), Instituto de Física e Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, 2003.

SANTOS, E. I.; PIASSI, L. P. C.; FERREIRA, N. C. Atividades experimentais de baixo custo como estratégia de construção da autonomia de professores de física: uma experiência em formação continuada. **Anais... IX Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Física**, 2004. Disponível em: <http://www.cienciamao.usp.br/dados/epef/_atividadesexperimentaisd.trabalho.pdf>. Acesso em: 09 jan. 2020.

SANTOS, J. C. F. dos. **Aprendizagem significativa: modalidades de aprendizagem e o papel do professor**. 4. ed. Porto Alegre: Mediação, 2011.

SILVA, C. C.; PIMENTEL, A. C. Uma análise da história da eletricidade presente em livros didáticos: o caso de Benjamin Franklin. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v.25, n.1, p.141-159, abr. 2008.

SILVA, L. C. M.; SANTOS, W. M. S.; DIAS, P. M. C. A carga específica do elétron: um enfoque histórico e experimental. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v.33, n.1, p.1601-1607, 2011.

SOARES, L. L. S.; et al. As contribuições de David Ausubel para o desenvolvimento do processo ensino-aprendizagem: um olhar sobre a psicologia educacional. In: **CONGRESSO NACIONAL DE EDUCAÇÃO**, 4. João Pessoa, 2017.

SOUZA, I. M.; CARVALHO, M. A. Experimentos de Física utilizando materiais de baixo custo e fácil acesso. **Cadernos PDE**, Paraná, v.1, 2014.

TIRONI, C.; et al. A aprendizagem significativa no ensino de física moderna e contemporânea. In: **ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS**, 9. Águas de Lindóia, 2013.

TOSSATO, C. R., MARICONDA, P. R. O método da astronomia segundo Kepler. **Scientiae Studia**, São Paulo, v.8, n.3, set. 2010.

UEKI, M. M.; ZANIN, M. Influência de aditivos na rigidez dielétrica do polietileno de alta densidade. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v.4, n.5, p.42-50, 1997.

UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. **Eletricidade e Magnetismo**. Cap.5 Capacitância e Capacitores, 2003. Disponível em: <<https://www.if.ufrgs.br/tex/fis142/mod05/m.html>>. Acesso em: 19 set. 2019.

VIDAL, L. M. M.; ALVES, M. A. L. As dificuldades encontradas por professores e alunos no processo de ensino e aprendizagem de Ciências. **Anais... V Congresso Nacional de Educação**, 2018. Disponível em: <https://www.editorarealize.com.br/revistas/conedu/trabalhos/TRABALHO_EV117_MD4_SA16_ID7351_17092018160310.pdf>. Acesso em: 09 jan. 2020.

VILLATE, J. E. **Teoria Eletromagnética**. Universidade do Porto, Portugal, ISBN: 9789729939648, 2015. Disponível em: <<https://def.fe.up.pt/eletromagnetismo/index.html>>. Acesso em: 06 jun. 2019.

VYGOTSKY, L. S. **A construção do pensamento e da linguagem**. 1. ed. São Paulo: Martins Fontes, 2001.

VYGOTSKY, L. S. **Psicologia pedagógica**. Porto Alegre: Artmed, 2003.

YOUNG, H. D.; FREEDMAN, R. A. **Física III: Eletromagnetismo**. São Paulo: Pearson, 2009. 452 p. Tradução de: Sonia Midori Yamamoto.

APÊNDICE A

Questionário produto mestrado para os alunos

Sexo: () masculino () feminino () outro

1)A forma como seu professor ministra as aulas (a didática do professor) faz diferença no seu aprendizado?

() sim () não () pouco

2)Como você avalia uma aula sobre eletromagnetismo totalmente teórica?

() boa () ruim

3)Na sua opinião o uso de equipamentos que mostrem fenômenos elétricos facilita no entendimento dos conceitos físicos?

() sim () não () em parte

4)Qual sua maior dificuldade ao estudar eletromagnetismo?

() conceitos de difícil entendimento.

() matemática complexa.

() outros.

5)Qual seu grau de motivação em estudar os conteúdos sobre eletromagnetismo com aulas práticas?

() alto () baixo () não altera a motivação

6)Você acredita que o experimento (tubo de raios catódicos) contribuiu com entendimento de conceitos físicos como por exemplo força magnética, d.d.p., campo magnético, rigidez dielétrica dentre outros?

() sim () não () em parte

7)Qual seu grau de sentimento quanto a segurança durante as aulas utilizando o experimento (tubo de raios catódicos)?

() alto () baixo

8)Qual conceito você atribui a forma que o conteúdo foi trabalhado e ao uso do equipamento (tubo de raios catódicos) durante as aulas sobre eletromagnetismo?

() bom () ruim () não fez diferença

9)Você se sente motivado em estudar a Física quando o professor utiliza experimentos que mostrem na prática os fenômenos?

() sim () não () em parte

10)O que você considera como uma aula de Física ideal?

() quando é trabalhado apenas a teoria.

() quando mistura a teoria e a prática.

APÊNDICE B

Questionário produto mestrado para os professores

1) Durante a sua formação acadêmica teve contato com equipamentos de laboratório que facilitassem a aprendizagem de conceitos sobre eletricidade?

sim não em parte

2) Você acredita que o uso de experimentos contribui com o processo ensino aprendizagem?

sim não em parte

3) Durante sua prática docente você procura desenvolver equipamentos que possam ser utilizadas como ferramenta metodológicas?

sim não em parte

4) Você acredita que o uso do equipamento (tubo de raios catódicos) é uma ferramenta que possa dinamizar a aula e o estudo de alguns conceitos sobre eletricidade?

sim não em parte

5) Na sua opinião durante sua prática como docente o que mais dificulta no ensino de alguns conteúdos de Física?

falta de equipamentos para aulas práticas.

falta de tempo para se elaborar um bom plano de aula.

outros.

6) Do seu ponto de vista o que causa desmotivação por parte dos discentes ao estudar os conteúdos sobre eletricidade?

assunto muito abstrato.

matemática complexa.

outros.

7) Você montaria o equipamento (tubo de raios catódicos) para ser utilizado em suas aulas?

sim não

8) Qual o grau de dificuldade que você atribui ao processo de montagem do equipamento (tubo de raios catódicos)?

de simples montagem

de difícil montagem.

de dificuldade média para montagem.

9) Durante o uso do equipamento (tubo de raios catódicos) qual seu grau de sentimento quanto a segurança?

alto baixo

10) Qual grau de envolvimento você atribui por parte dos alunos durante aulas que misturam a teoria com a prática?

alto baixo indiferente

APÊNDICE C

Plano de aula aplicação do produto educacional

Disciplina: Física

Série: 3ºano

Conteúdo: Campo elétrico, potencial elétrico, rigidez dielétrica e força magnética.

Objetivo geral:

- Contribuir com o processo ensino aprendizagem de uma forma que permita a interpretação dos fenômenos físicos, situando e dimensionando a interação do discente/docente com o experimento tubo de raios catódicos;

Objetivos específicos:

- Levar o aluno a observar e operar em sua realidade, tendo como instrumento o conhecimento e habilidades da Física;
- Compreender e utilizar leis e teorias físicas;
- Dimensionar a capacidade crescente do homem propiciada pelo descobrimento e entendimento de fenômenos físicos.

Materiais e método:

- Dividir os alunos em grupos de 5;
- Laboratório multidisciplinar;
- Aula expositiva com uso de data show, livro didático pincéis e quadro branco;
- Aula prática com uso do equipamento (Tubo de raios catódicos) que será utilizado como ferramenta auxiliadora no processo ensino aprendizagem.

Avaliação: Será feita por meio da análise da participação e exercícios com perguntas teóricas sobre o conteúdo.

Bibliografia:

Brasil. Leis,decretos etc.*Leis de Diretrizes e Bases da Educação Nacional*, n. 9.394/96.

BARRETO, Benigno; XAVIER Claudio. *Física aula por aula*. 2ª Ed. São Paulo: FTD, 2013. V. 1, 2 e 3.

YAMAMOTO, Kazuhito; FUKU, Luiz Felipe. *Física para o Ensino Médio*. 3ª Ed. São Paulo: Editora Saraiva, 2013. V. 1, 2 e 3.

BONJORNIO, José Roberto; RAMOS, Clinton Marcico; PRADO, Eduardo de Pinho; BONJORNIO, Mariza Azzolini; CASEMIRO, Renato; BONJORNIO, Regina de Fátima S. Azenha. *Física*. 3ª Ed. São Paulo: Editora FTD, 2016. V. 1, 2 e 3.

APÊNDICE D



UNIVERSIDADE FEDERAL DO SUL E SUDESTE DO PARÁ
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

Gleybison de Queiroz Nunes

MANUAL DO PRODUTO: TUBO DE RAIOS CATÓDICOS

Marabá - PA

2020

Gleybison de Queiroz Nunes

MANUAL DO PRODUTO: TUBO DE RAIOS CATÓDICOS

Manual apresentado ao Programa de Pós-Graduação do Instituto de Ciências Exatas da Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, ao 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. Fernanda Carla Lima Ferreira

Marabá - PA

2020

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Construção do tubo (a)	4
Figura 2: Sistema por onde será retirado o ar (b)	4
Figura 3: Como colocar a espiral (c)	4
Figura 4: Circuito com reator (d)	4
Figura 5: Circuito com flyback(e)	5
Figura 6: Estrutura montada (f)	5
Figura 7: Bomba de vácuo (g)	6
Figura 8: Foto que mostra a trajetória retilínea do feixe (h)	6
Figura 9: Foto que mostra o desvio da trajetória sofrida pelo feixe (i)	7
Figura 10: Foto que mostra o experimento montado	7
Figura 11: Tubo de raios montado (k)	8
Figura 12: Tubo de raios montado (k)	8
Figura 13: Trajetória retilínea do feixe (l)	8

PRODUTO EDUCACIONAL: TUBO DE RAIOS CATÓDICOS COM MATERIAIS ALTERNATIVOS

Lista dos materiais para confecção do produto

A tabela a seguir traz a lista dos materiais e serviços necessários para a confecção do tubo de raios catódicos caseiro. Importante dizer que os valores citados podem mudar de região para região, portanto, é sempre bom fazer uma pesquisa de preços antes da montagem do equipamento com o intuito de minimizar as despesas.

Tabela 1: Materiais para confecção do produto

Materiais	Preço em reais (R\$)
1 transformador de televisor com tubo de imagem flyback	40
1 reator para lâmpada fluorescente de 20 Watts e 127 volts	23,35
4 garras jacaré médias	13
1 conector macho de tomada	Reaproveitado
2 interruptores de tomada	5
1 garrafa de vidro transparente	Reutilizada
1 conector rosca dupla de 20 mm de metal para tubulação de refrigeração	15
1 porca de 20 mm de metal para tubulação de refrigeradores	5
1 válvula fina para tubulação de gás	13
15 cm de arame de alumínio de 1 mm de secção transversal	Reutilizado
1 fita isolante	3,75
1 cola Epox	12
1 pedaço retangular de madeira (50 cm x 70 cm)	Reutilizado
1 motor de geladeira (usado)	50
2 braçadeiras	5
1 mangueira de borracha	Reutilizado
Serviços de vidraria	10
Serviços de soldagem	10
Serviços de marcenaria	20
Total	222,5

Fonte: Autor

Descrição da confecção do produto

Neste tópico será feita uma descrição detalhada dos procedimentos a serem adotados durante a construção do produto educacional.

a) Após a limpeza da garrafa de vidro deve-se fazer um furo na mesma, como mostra a figura 1, a seguir.

Figura 1: Construção do tubo (a)



Fonte: Autor.

Figura 2: Sistema por onde será retirado o ar (b)



Fonte: Autor.

b) Recomenda-se fazer as soldagens da porca de 20 mm de metal para tubulação de refrigeradores com a válvula fina para tubulação de gás, de forma que seja possível adaptar uma mangueira por onde será retirado o ar do interior da garrafa. Utilizando cola Epox adapta-se a porca de 20 mm na boca da garrafa. (Figura 2)

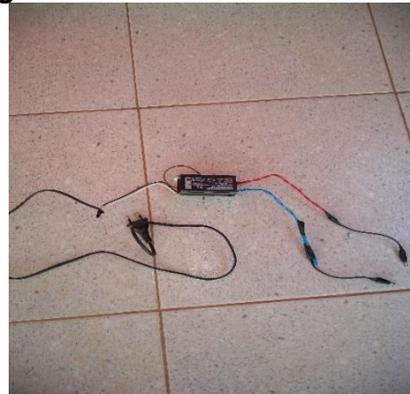
c) Utilizando o pedaço de fio de alumínio, constrói-se uma espira (Figura 3) que será introduzida no interior da garrafa e após esse procedimento veda-se com cola Epox. Obs: o fio de alumínio é recomendado pelo fato de minimizar a oxidação no interior da garrafa. O equipamento só emitirá feixe de elétrons quando gerada uma grande diferença de potencial entre o ânodo e o cátodo (por volta de 20 mil volts) e isso será possível após as adaptações feitas com o reator e o flyback, nos passos descritos a seguir.

Figura 3: Como colocar a espiral (c)



Fonte: Autor.

Figura 4: Circuito com reator (d)



Fonte: Autor.

d) Deve-se observar que as especificações do próprio reator mostram onde ligar os fios, nesse caso utilizou-se os cabos pra 110 volts (preto e branco). Na outra extremidade do reator tem-se cabos vermelhos e azuis, dois de cada, que serão enrolados e conectados aos dois pinos do flyback que possuem menor resistência. (Figura 4)

e) Para utilizar o flyback, inicialmente deve-se verificar quais pinos possuem a menor resistência (normamente são os dois primeiros, quando o flyback é colocado na posição de uma ferradura invertida) e para isso basta utilizar um multímetro. Após feita essa verificação conecta-se os cabos azuis e vermelhos do reator nesses dois pinos de menor resistência, não importa a ordem. (Figura 5)

f) A estrutura do circuito todo conectado será mostrada na Figura 6, abaixo. Uma observação importante a se fazer é que ao conectar os cabos do flyback ao tubo de vidro, deve-se colocar a garra de polo positivo na boca da garrafa e a de polo negativo na espira, pois assim o equipamento mostrará uma maior eficiência na emissão do feixe de elétrons.

Figura 5: Circuito com flyback(e)



Fonte: Autor.

Figura 6: Estrutura montada (f)



Fonte: Autor.

Como este produto é uma adaptação do experimento de Thomson, torna-se necessária a utilização de uma bomba de vácuo para que seja possível a emissão do feixe de elétrons. Tendo em vista que o equipamento original possui um gás nobre dentro da ampola, o que, neste caso, tornou-se inviável devido às dificuldades encontradas durante o processo de colocar o gás dentro da garrafa. Sendo assim, foi

feita uma bomba de vácuo caseira com motor de geladeira (pode ser utilizado motor de bebedouro).

g) A montagem da bomba de vácuo (Figura 7) é bem simples por serem necessárias apenas algumas adaptações. Deve-se conectar um interruptor com intuito de facilitar o procedimento de ligar e desligar. O mais importante quanto a bomba é a questão financeira. Um dos objetivos do projeto é produzir um equipamento de baixo custo, sendo assim, indica-se procurar em lojas de assistência técnica um motor usado que possa ser doado ou adquirido por um preço acessível. Obs: em caso de dúvidas quanto a montagem da bomba, sugere-se uma pesquisa no YouTube, plataforma que possui vários vídeos relacionados com o assunto.

Figura 7: Bomba de vácuo (g)



Fonte: Autor

Figura 8: Foto que mostra a trajetória retilínea do feixe (h)



Fonte: Autor.

h) Depois de montados todos os componentes do experimento, conectam-se em uma extremidade da mangueira de borracha a boca da garrafa e na outra a bomba de vácuo. Liga-se o equipamento em uma tomada e então poderá ser observado o feixe de elétrons. A Figura 8 mostra que o feixe descreve uma trajetória retilínea.

i) A Figura 9, a seguir, mostra que a aproximação do ímã provocará um desvio na trajetória dos elétrons, o que permite perceber a interação do campo magnético com o campo elétrico e a força magnética que atua sobre o feixe.

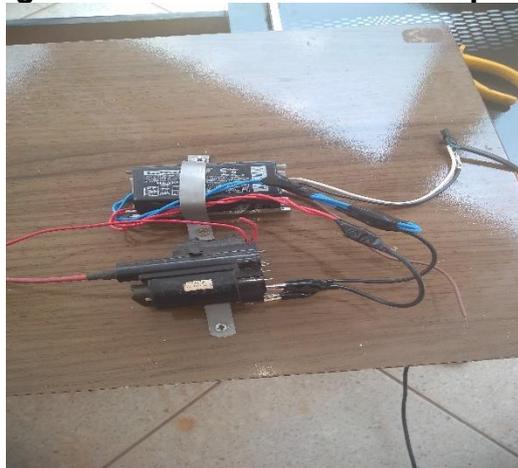
Figura 9: Foto que mostra o desvio da trajetória sofrida pelo feixe



Fonte: O autor.

j) Durante a montagem do equipamento notou-se que os dispositivos responsáveis por criar a diferença de potencial (fonte e fly back) mostrados na figura 10 poderiam representar um perigo aos usuários pelo fato de produzirem uma grande d.d.p., portanto foi utilizado uma caixa de papelão para cobrir os mesmos de forma a minimizar um possível acidente.

Figura 10: Circuito fixado no suporte



Fonte: Autor

k) A seguir as figuras 11 e 12, a seguir, mostram o produto finalizado.

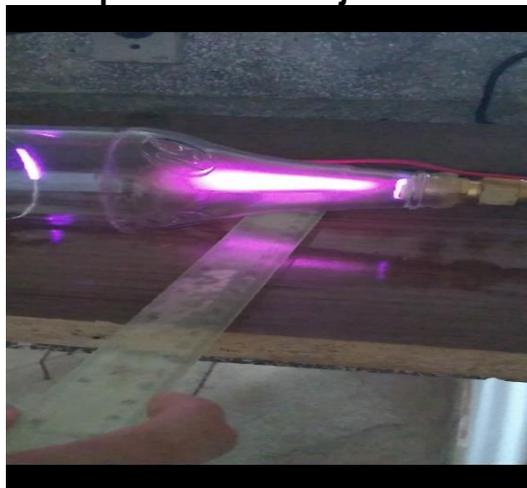
Figura 11: Tubo de raios montado

Fonte: O autor.

Figura 12: Tubo de raios montado

Fonte: O autor.

l) Por fim a figura 13 mostra o protótipo do tubo de raios catódicos em funcionamento no qual observa-se um feixe de elétrons sendo ejetados do polo positivo para o polo negativo.

Figura 13: Foto que mostra a trajetória retilínea do feixe

Fonte: O autor.

APÊNDICE E



Manual do professor para o uso do protótipo: TUBO DE RAIOS CATÓDICOS COM COMPONENTES ALTERNATIVOS

Este manual é apenas uma sugestão de alguns procedimentos aos quais o docente poderá se valer durante a utilização deste experimento nas suas aulas. Entretanto, como já foi citado nesta própria dissertação o processo ensino aprendizagem não é único e o professor pode adaptar o uso deste protótipo à sua realidade.

Sendo assim, o uso deste produto educacional deverá ser feito como ferramenta auxiliadora com o objetivo de despertar o interesse dos alunos em entender os princípios físicos relacionados ao seu funcionamento. Para que isto ocorra será listado a seguir algumas estratégias que poderão ser utilizadas durante a aula:

- Dar preferência em trabalhar com os alunos divididos em grupos;
- Montar previamente um banco de questões discursivas que visem estimular a curiosidade dos discentes;
- Preparar uma aula com slides na qual se tenha animações e vídeos que ilustrem fenômenos relacionados com o experimento;
- Relacionar o experimento de Thomson com os avanços científicos e tecnológicos que sua descoberta viabilizou.

Em complementação aos procedimentos a serem seguidos durante o uso do tubo de raios catódicos aconselha-se adotar a sequência a seguir o que evidenciará em cada caso um fenômeno físico correspondente:

- Ligar o equipamento sem acionar a bomba de vácuo;
Nesse caso não será emitido feixe de elétrons.

- Acionar a bomba de vácuo e depois acionar o protótipo;
Esse procedimento fará com que surja o feixe de elétrons que descreverá uma trajetória retilínea.
- Aproximar os ímãs da parte superior da ampola;
Ao fazer isso será visto um desvio na trajetória do feixe de elétrons.
- Aproximar os ímãs da parte inferior da ampola;
Nesse caso o desvio da trajetória do feixe de elétrons será oposto ao observado anteriormente.
- Desligar o circuito mantendo a bomba de vácuo ligada;
Isso fará com que o ar se torne mais rarefeito no interior da ampola de vidro.
- Após 2 (dois) minutos religar o circuito.
Devido ao aumento do vácuo o feixe se tornará mais espalhado e assim terá maior visibilidade.
- Reaproximar os ímãs da ampola.
Isso mostrará um maior espalhamento do feixe de elétrons.

Ao seguir essas orientações o tubo de raios catódicos mostrará várias situações de funcionamento diferentes o que possibilitará uma maximização dos fenômenos físicos a que se propõe tratar. Isso permitirá que o professor trabalhe a teoria de campo elétrico, diferença de potencial, campo magnético, força magnética, rigidez dielétrica e a relação carga massa demonstrada por Thomson.